

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ і НАУКИ,
МОЛОДІ та СПОРТУ УКРАЇНИ**

**ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК
НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**ДЕРЖАВНОГО ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

СЕРІЯ

«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

ВИПУСК 21

Київ·ДЕТУТ·2012

Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства інфраструктури України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 21. – К.: ДЕТУТ, 2012. – 252 с.

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

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

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

Редакційна колегія:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

І. І. Колбасовська, провідний фахівець Науково-дослідного відділу (*технічний секретар*).

Статті збірника рецензували члени редакційної колегії, друкуються мовою оригіналу.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДЕТУТ (протокол № 3 від 29.11.2012 р.).

Засновник і видавець – Державний економіко-технологічний університет транспорту
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ 13946-2919ПР від 22.04.2008 р.

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

ЗМІСТ

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Агарков О. В.</i> Вплив підвищення осьового навантаження на базову довговічність рейок залізничної колії	5
<i>Бабенко А. І., Курган Д. М., Черняков М. М.</i> Встановлення допустимої швидкості на складних ділянках плану залізниці з урахуванням комфортабельності їзди	9
<i>Білюк І. Ю.</i> Розрахунок рейки на згин та кручення за методом тонкостінних стержнів та як балки на пружинній основі	16
<i>Бондаренко І. О., Курган Д. М.</i> Стосовно питань щодо підвищення стабільності земляного полотна залізничної колії	22
<i>Велінець В. П.</i> Розрахунок рейки на горизонтальний згин та скручування методом С. П. Тимошенка (без врахування сил тертя) і методом О. П. Єршкова (із врахуванням сил тертя)	28
<i>Дмитриев Д. В., Валигура Н. А.</i> Сравнительные стендовые испытания воздухораспределителей: 242, 292 и КЕs.....	36
<i>Донченко А. В., Федосов-Никонов Д. В., Орлов О. В., Соляник М. И.</i> Оценка прочности конструкции транспортера по критерию сопротивления усталости	42
<i>Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М., Возний С. П.</i> Дослідження взаємодії опалубки і цементобетону з метою поліпшення якості і довговічності залізобетонних конструкцій	47
<i>Иванов В. Б., Косенко В. И., Приданников Ю. О.</i> Особенности конструкции автоматических сцепок Scharfenberg	52
<i>Курган М. Б., Хмелевська Н. П., Байдак С. Ю.</i> Визначення раціональних параметрів залізничних кривих для заданого рівня максимальної швидкості	57
<i>Тарасюк В. М.</i> Підвищення надійної роботи якісних обмоток тягових електродвигунів електропоїздів	64
<i>Тарасюк В. М.</i> Контроль та випробовування ізоляції обмоток тягових двигунів електропоїздів під час ремонту	68
<i>Твердомед В. М., Даніленко Е. І.</i> Розрахунок поперечних горизонтальних сил, діючих на колію в кривих від рухомого складу, Графо-аналітичним методом	71
<i>Трихліб О. Д.</i> Аналіз витрат палива тепловозом з обліком фактично виконаної роботи	77
<i>Шелейко Т. В., Водянніков Ю. Я., Свистун С. М.</i> Застосування основних положень невизначеності вимірювань для оцінки гальмівної ефективності рухомого складу	81

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

<i>Белевцова Н. Л.</i> Исследование влияния переменной толщины в окружном направлении на напряженное состояние конической оболочки, находящейся под действием неосесимметричного неравномерного температурного поля	93
---	----

<i>Грисенко М. В., Крижановська Т. В.</i> Ймовірнісна модель автомобільного парку як системи масового обслуговування	99
<i>Кульбовський І. І., Тютін В. М., Левківський С. А., Незліна О. А.</i> Динамічна модель планетарної передачі	106
<u>Лобас Л. Г.</u> , <i>Лобас Людм. Г., Лупіна Т. О.</i> До питання про рух перевернутого подвійного маятника	111

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Білан С. М., Воронко І. О.</i> Підвищення ефективності функціонування інформаційно-діагностичного комплексу «Регіна» на основі ідентифікації аварійних режимів електричних мереж в реальному часі	117
<i>Козак В. С.</i> Автоматизовані комп'ютерні системи управління ресурсами підприємств та проблематика їх впровадження	123
<i>Мараховський Л. Ф.</i> Основа новой информационной технологии	130
<i>Мараховський Л. Ф., Москвин М. В.</i> Цифровая модель искусственного нейрона на элементах автоматной памяти	135

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

<i>Габа В. В.</i> Якість та конкурентоспроможність транспортних послуг на залізничному транспорті.....	143
<i>Іваннікова В. Ю.</i> Моделювання системи зберігання вантажів у вантажному терміналі аеропорту	147
<i>Кацман М. Д., Мироненко В. К., Адаменко М. І., Горбаха М. М.</i> Аналіз рекомендованих дій підрозділів залізниці у разі витоків, розливів та розсипів небезпечних вантажів при їх перевезенні залізничним транспортом	152
<i>Кириченко Г. І., Горецький О. А., Бердниченко Ю. А.</i> Методи практичної формалізації умов взаємодії залізниці з користувачами транспортних послуг	160
<i>Мацюк В. І., Шкурко Г. А.</i> Науково-методичні підходи до визначення меж обслуговування вантажних фронтів промислових зон розвиненими залізничними вузлами	164
<i>Мироненко В. К., Алексійчук Н. М.</i> Моделювання пропускної спроможності системи контейнерних терміналів	168
<i>Мироненко В. К., Висоцька Г. С., Родкевич О. Г., Щербина Р. С.</i> Базова математична модель транзитних вантажопотоків	177
<i>Мироненко В. К., Горецький О. А., Щербина Р. С., Якобчук О. А.</i> Системні чинники впливу на міжнародні транзитні перевезення вантажів залізницями України	183
<i>Пічкур Т. В.</i> Стратегія екологічної діяльності на залізничному транспорті.....	192
<i>Сорочинська О. Л.</i> Вплив втоми і стресу на безпеку праці працівників залізничного транспорту	196
Автори статей випуску	203

Олександр Агарков

ВПЛИВ ПІДВИЩЕННЯ ОСЬОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА БАЗОВУ ДОВГОВІЧНІСТЬ РЕЙОК ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Розглянуто вплив підвищення навантаження на вісь рухомого складу на базову довговічність рейок залізничної колії за критерієм виникнення внутрішніх тріщин у головці рейки. Показано, що за умов, які розглядаються, підвищення навантаження призводить до зменшення довговічності.

Рассмотрено влияние увеличения нагрузки на ось подвижного состава на базовую долговечность рельс железнодорожного пути по критерию возникновения внутренних трещин в головке рельса. Показано, что для рассматриваемых условий повышение нагрузки приводит к уменьшению долговечности.

Influence of axle load increasing on lifetime of the rail by internal fatigue crack criterion are considered. Show that under viewing condition increasing of axle load lead to lifetime decrease.

Ключові слова: рейки, контактна задача, напруження, деформації, довговічність, пошкодження.

Дефекти рейок контактнo-втомлювального походження становлять значну небезпеку як для безпеки руху, так і для залізниць у цілому. Значні економічні затрати на діагностику та усунення дефектів призводять до зниження конкурентоспроможності залізниць, порівняно з іншими видами транспорту. Так, за статистикою на Українських залізницях [1] близько 80 % від загальної кількості складають дефекти контактнo-втомлювального походження та знос. Тому, розглядаючи економічну ефективність упровадження того чи іншого конструктивного рішення, необхідно в першу чергу визначити його вплив на втомну довговічність елементів конструкцій. Для порівняння ефективності збільшення осьового навантаження на вісь рухомого складу було виконано розрахунок базової довговічності рейок залізничної колії за критерієм виникнення внутрішніх тріщин при різних значеннях осьового навантаження рухомого складу.

Для розрахунку напружено-деформованого стану в зоні контакту рейки з колесами рухомого складу використовувався метод скінченних елементів. Задача розв'язувалася в пружнопластичній постановці. Розглядалася взаємодія рейки профілю Р65 відповідно до ДСТУ 4344:2004 та колесо відповідно до ГОСТ 9036-88, для умов осьового навантаження 180 кН, 200 кН, 220 кН та 240 кН. Розрахунок виконувався для умов використання підкладок КПП-5, епюри шпал 1680 шт/км у відповідності з [2].

Методика проведення розрахунків та основні результати для умов осьового навантаження 200 кН подано в роботі [3]. За цією методикою було розраховано об'ємний напружено-деформований стан зони контакту коліс та рейок залізничної колії за умов осьового навантаження 180 кН, 220 кН та 240 кН.

© Агарков О. В., 2012

Відповідно до [3] небезпечною (точка, в якій почне утворюватися тріщина) вважається точка, в якій реалізуються максимальні еквівалентні напруження. В табл. 1 подано основні значення тензорів напружень та деформацій небезпечної точки.

Таблиця 1. Значення складових тензорів напружень і деформацій в небезпечній точці розрахункового перерізу

Осьове навантаження, кН	180	200	220	240
1	2	3	4	5
σ_x , МПа	-191.39	-215.59	-237.08	-256.63
σ_y , МПа	-733.62	-765.64	-794.28	-820.40
σ_z , МПа	-230.91	-258.30	-283.08	-305.81
τ_{xy} , МПа	15.592	16.181	16.704	17.187
τ_{yz} , МПа	-2.8386	-2.8036	-2.7166	-2.6381
τ_{xz} , МПа	0.14707	0.96423E-01	0.11111	0.10925
σ_1 , МПа	-190.94	-215.12	-236.58	-256.10
σ_2 , МПа	-230.89	-258.29	-283.07	-305.80
σ_3 , МПа	-734.08	-766.13	-794.80	-820.94
σ_{eqv} , МПа	524.31	530.74	536.49	541.70
ϵ_x	0.73870E-03	0.78287E-03	0.82412E-03	0.86269E-03
ϵ_y	-0.33972E-02	-0.36086E-02	-0.37976E-02	-0.39693E-02
ϵ_z	0.45673E-03	0.46469E-03	0.46974E-03	0.47263E-03
γ_{xy}	0.22866E-03	0.24835E-03	0.26611E-03	0.28270E-03
γ_{yz}	-0.46659E-04	-0.48240E-04	-0.48933E-04	-0.49477E-04
γ_{xz}	0.21958E-05	0.16552E-05	0.18791E-05	0.19252E-05
ϵ_1	0.74185E-03	0.78638E-03	0.82795E-03	0.86682E-03
ϵ_2	0.45687E-03	0.46484E-03	0.46988E-03	0.47277E-03
ϵ_3	-0.34005E-02	-0.36122E-02	-0.38015E-02	-0.39736E-02
ϵ_{eqv}	0.30054E-02	0.31691E-02	0.33156E-02	0.34487E-02
$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$, МПа	275.505	271.57	279.1	282.42
$\gamma_{max} = \epsilon_1 - \epsilon_3$	4.39859E-03	4.14235E-03	4.62945E-03	4.84042E-03

На основі отриманих даних було визначено базову довговічність. Для визначення довговічності використовувалася кінетична концепція пошкоджуваності матеріалу. В рамках указаної концепції під пошкоджуваністю матеріалу розуміють необоротні зміни в структурі матеріалу, що відбуваються в процесі експлуатації.

За характером вибору аргументу кінетичного рівняння, критерії граничного стану поділяються на кілька категорій: силові критерії [4, 5]; деформаційні критерії [6, 7];

критерії, засновані на концепції критичної площини [8–10]; енергетичні критерії [11–16]; комбіновані [17].

На даний час найбільш перспективними є комбіновані критерії, що поєднують концепцію критичної площини з енергетичним підходом. Такі критерії дозволяють не тільки визначити момент утворення тріщини, а й площину її зародження.

Для визначення довговічності використовувався критерій, що вперше було запропоновано Ringsberg [17]. У відповідності з ним довговічність знаходиться з розв'язання нелінійного рівняння (1)

$$\langle \sigma_{\max} \rangle \frac{\Delta \varepsilon}{2} + J \Delta \tau \Delta \gamma = \frac{(\bar{\sigma}_f)^2}{E} (2N_f)^{2b} + \bar{\sigma}_f \bar{\varepsilon}_f (2N_f)^{b+c}, \quad (1)$$

тут дужки $\langle \dots \rangle$ позначають оператор $\langle x \rangle = \frac{|x| + x}{2}$; σ_{\max} – найбільше напруження, що є нормальним до площини поширення тріщини; $\Delta \varepsilon$ – розмах нормальної деформації в напрямі дії σ_{\max} ; $\Delta \tau$ і $\Delta \gamma$ – розмахи дотичних напружень і зсувних деформацій у площині поширення тріщини; J – параметр матеріалу, що залежить від виду навантаження; b , c , $\bar{\varepsilon}_f$, $\bar{\sigma}_f$, ε_c – константи, що характеризують втомну довговічність матеріалу.

При розрахунках довговічності використовувались механічні характеристики сталі марки BS 11, дані для якої було взято з відкритих джерел [17].

Основні результати проведеного розрахунку подано в табл. 2. На основі отриманих даних побудовано графічну залежність між довговічністю рейок за критерієм утворення внутрішніх тріщин та навантаженням на вісь рухомого складу (рис. 1).

Таблиця 2. Розрахункові дані та значення довговічності рейок

Профіль, навантаження на колесо	$\sigma_1, \text{кН}$	$\sigma_3, \text{кН}$	ε_1	ε_3	FP	$N, \text{циклів}$	$T, \text{млн т. бр.}$
P65 90 кН	-190,94	-734,08	0,00074185	-0,0034005	0,225	$7.047 \cdot 10^6$	126,8
P65 100 кН	-215,12	-766,13	0,00078638	-0,0036122	0,242	$4.695 \cdot 10^6$	99,28
P65 110 кН	-236,58	-794,8	0,00082795	-0,0038015	0,258	$3.314 \cdot 10^6$	72,91
P65 120 кН	-256,1	-820,94	0,00086682	-0,0039736	0,273	$2.444 \cdot 10^6$	58,66

Як видно для заданих умов контактної взаємодії збільшення навантаження на вісь рухомого складу призводить до зменшення довговічності рейок. Так, зменшення навантаження на 10 %, з 100 кН до 90 кН, призвело до збільшення довговічності за критерієм утворення внутрішніх тріщин на 27,7 %. А збільшення навантаження на 20 кН (на 20 %) призвело до зменшення довговічності на 41 %. Враховуючи те, що механічні властивості розглядаємої сталі схожі з вимогами, що пред'являються для матеріалу нетермозміцнених рейок на вітчизняних залізницях, можна зробити висновок, що збільшення навантаження на вісь рухомого складу на ділянках, де укладено нетермозміцнені рейки, негативно вплине на довговічність рейок. Однак, оскільки на даний час в більшій частині залізничної колії укладено термозміцнені рейки, в подальшому вбачається доцільним проведення аналізу для матеріалу, що використовується при виготовленні термозміцнених рейок на вітчизняних підприємствах.

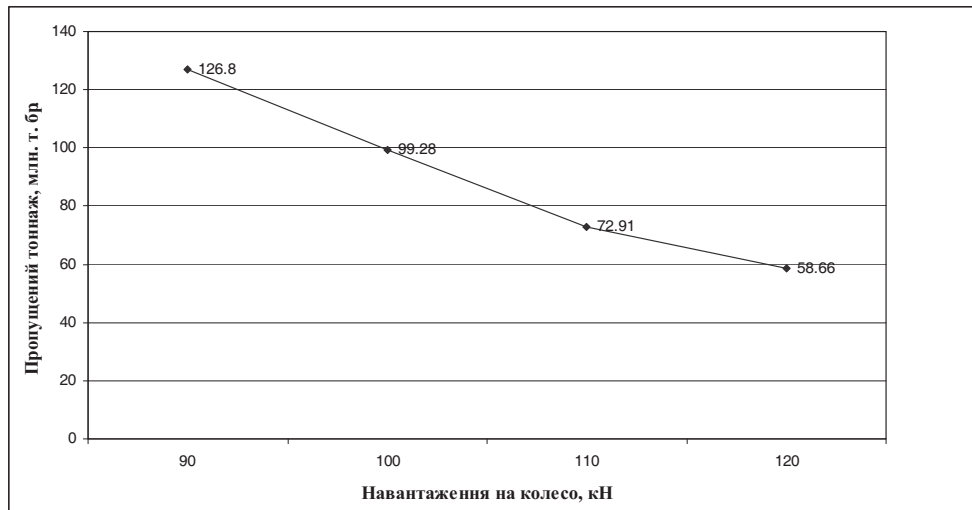


Рис. 1. Графік залежності між навантаженням на колесо та пропущеного тоннажу до моменту утворення тріщини

ЛІТЕРАТУРА

1. Рудюк А.С. Дефектность рельсов на дорогах Украины / Рудюк А.С., Азаркевич А.А., Восковец Ю.А. и др. // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 7. – С. 28–32.
2. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість: Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України. – 2006. – 168 с.
3. Косарчук В.В. Прогнозирование долговечности рельсов по критерию возникновения трещин контактной усталости / Косарчук В.В., Агарков А.В. // 36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2012. – 20. – С. 77 – 89.
4. Писаренко Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г.С. Писаренко, А.А. Лебедев. – К.: Наукова думка, 1976. – 416 с.
5. Коротких Ю.Г. Описание процессов накопления поврежденной материала при неизотермическом вязкопластическом деформировании / Ю.Г. Коротких // Проблемы прочности. – 1985. – № 1. – С. 18 – 22.
6. Мэнсон С. Температурные напряжения и малоцикловая усталость / Мэнсон С. – М.: Машиностроение, 1974. – 344 с.
7. Coffin L.F. A study of cyclic thermal stress in a ductile metal / L.F. Coffin // Trans. ASME. – 1954. – 76. – P. 931 – 950.
8. Brown M.W. A theory for fatigue failure under multiaxial stress-strain conditions / M.W. Brown, K.J. Miller // Proc. Inst. Mech. Engrs. – 1973. – 187. – P. 745 – 755.
9. Fatemi A. A critical plane approach to multiaxial fatigue damage including out-of-phase loading / A. Fatemi, D.F. Socie // Fatig. Fract. Engng Mater. Struct. – 1988. – 11. – P. 149 – 165.
10. Smith R.N. A stress-strain function for the fatigue of metals / R.N. Smith, P. Watson, T.H. Topper // Journal of materials. – 1970. – 5. – P. 767–778.
11. Morroy I.D. Cyclic plastic strain energy and fatigue of metals / I.D. Morroy // ASTM STP. – 1965. – 378. – 11 p.
12. Троценко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении / В. Т. Троценко. – К.: Наукова думка. – 1981. – 343 с.
13. Liu K.C. A method based on virtual strain-energy parameters for multiaxial fatigue life prediction / K.C. Liu // Advances in multiaxial fatigue. – 1993. – ASTM STP 1191. – P. 67–84.
14. Glinka G. A multiaxial fatigue strain energy density parameter related to the critical fracture plane / G. Glinka, G. Shen, A. Plumtree // Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. – 1995. – vol.18, № 1. – P. 3746.
15. Glinka G. Mean stress effects in multiaxial fatigue / G. Glinka, G. Wang, A. Plumtree // Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. – 1995. – vol.18, №7/8. – P.755-764.
16. Jiang Y. A model for rolling contact failure/ Jiang Y, Sehitoglu H. // Wear. – 1999. – 224. – P. 38 –49.
17. Ringsberg J.W. Life prediction of rolling contact fatigue crack initiation / J.W. Ringsberg // Int. J. Fatigue. – 2001. – 23. – P. 575 – 586.

*Андрій Бабенко
Дмитро Курган
Микола Черняков*

ВСТАНОВЛЕННЯ ДОПУСТИМОЇ ШВИДКОСТІ НА СКЛАДНИХ ДІЛЯНКАХ ПЛАНУ ЗАЛІЗНИЦІ З УРАХУВАННЯМ КОМФОРТАБЕЛЬНОСТІ ЇЗДИ

На основі проведеного аналізу плану залізниці на ділянці прискореного руху поїздів встановлено неточності, що мають місце при визначенні максимально допустимої швидкості.

Викладено основні положення методики розрахунку допустимої швидкості руху в багаторадіусних кривих, що враховує критерії безпеки руху, плавності й комфортабельності їзди.

Отримані результати можуть бути використані для вирішення задач підвищення швидкості руху поїздів. Надані рекомендації будуть сприяти проведенню паспортизації кривих із постановкою осі залізничної колії в проектне положення.

На основе проведенного анализа плана железной дороги на участке ускоренного движения поездов установлены неточности, которые имеют место при определении максимально допустимой скорости в сложных кривых.

Изложены основные положения методики расчета допустимой скорости движения в много радиусных кривых по критериям безопасности движения, плавности и комфортабельности езды.

Полученные результаты могут быть использованы для решения задач повышения скорости движения поездов. Предложенные рекомендации будут способствовать проведению паспортизации кривых с постановкой оси железнодорожного пути в проектное положение.

It is executed the analysis of curves of the railroad on a site of the accelerated movement of trains, inaccuracies which take place at determination of the most admissible speed in difficult curves are established.

The method of calculation of speed of movement in multiradial curves by criteria of traffic safety, smoothness and comfortableness of a driving is stated.

The received results can be used for the solution for problems of increase of speeds movement of trains. The offered recommendations are necessary for certification of curves with statement of an axis of a track in design situation.

Ключові слова: швидкість, безпека руху, комфортабельність їзди, параметри кривих, способи зйомки, паспортизація кривих.

Постановка проблеми

При впровадженні швидкісного руху пасажирських поїздів визначальним параметром є максимальна швидкість, реалізація якої потребує реконструкції інфраструктури на ос-

нові нових нормативів і параметрів улаштування й утримання залізничної колії, колійних споруд і пристроїв, що враховують специфіку взаємодії рухомого складу і колії.

Для запобігання проблем експлуатаційного і технічного характеру, пов'язаних з можливістю розладів верхньої будови колії, порушень плавності й комфортабельності їзди при впровадженні швидкісного руху поїздів підвищується відповідальність до обґрунтованості рішень, в тому числі пов'язаних з встановленням максимально допустимих швидкостей руху поїздів у кривих ділянках колії.

Наявність бар'єрних місць, в тому числі за параметрами й станом кривих, призводить до зростання часу руху, підвищеного споживання паливно-енергетичних ресурсів, зносу колії [1–3]. Загальна довжина обмежень швидкості руху поїздів по Укрзалізниці на 01.01.2012 на головних коліях склала близько 600 км.

Метою роботи є аналіз неточностей при встановленні максимально допустимих швидкостей руху на складних ділянках плану лінії з урахуванням спеціалізації пасажирських перевезень і розробка пропозицій щодо їх недопущення.

У діючих з 2011 р. Правилах визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей у кривих ділянках колії (ЦП-0236) [4] розглядається наявність суміщеного руху всіх категорій поїздів і визначається максимальна допустима швидкість в кривих для пасажирського та вантажного і мінімальна – для вантажного руху. При розподіленні напрямків за спеціалізацією для певної категорії поїздів, якій буде надана перевага, доцільно встановити параметри плану і раціональну швидкість, що дасть змогу зменшити непогашені прискорення, підвищити комфорт їзди пасажирів, зменшити знос рейок та коліс рухомого складу, обсяги робіт з поточного утримання колії, скоротити витрати електроенергії або палива на рух поїздів.

Для ділянок з наявністю спеціалізації напрямку відсутність (або незначна кількість) поїздів тієї чи іншої категорії в ряді випадків дає можливість зняття обмеження швидкості руху в кривій шляхом часткового коригування її параметрів (підвищення, радіус, довжина перехідних кривих) при відносно невеликих рихтуваннях.

ЦП-0236 регламентує встановлення допустимих швидкостей руху для геометрично правильних кривих. При утриманні кривих з відхиленнями від нормативів (табл. 9.12 [5]) важко визначити розрахункові параметри – радіуси, довжини перехідних кривих, кількість кругових, підвищення зовнішньої рейки. Неточне визначення розрахункових параметрів кривої призводить до недоцільного обмеження швидкості руху або до великих обсягів рихтувальних робіт.

Методика визначення допустимих швидкостей руху по сполученнях кривих викладена в ЦП-0236 стисло. Тому при наявності складних ділянок плану лінії важко правильно визначити необхідний розрахунковий випадок, відповідні критерії та розрахункові формули й отримати правильний результат. Статистика підтверджує, що велика кількість сполучень кривих на залізницях України у ряді випадків призводить до недоцільного обмеження швидкостей руху або, навпаки, до їх завищення і, як наслідок, до погіршення плавності та комфортабельності руху поїздів, швидкого розладу колії.

Як показали проведені ДНУЗТ розрахунки, обмеження швидкості, що встановлені за наказом начальника залізниці, можуть бути більші розрахункових. Це можна пояснити тим, що розрахунки в дистанціях колії часто виконуються за спрощеною схемою, тобто для складових і сполучених кривих вони виконуються як для одиноких кривих і основна увага приділяється двом параметрам – радіусу й підвищенню зовнішньої рейки. Фактично враховуються тільки два критерії: непогашене прискорення і крутизна відводу підвищення зовнішньої рейки. В той же час, в умовах українських залізниць проблеми швидкості в двох третинах випадків пов'язані не з радіусом, а з довжиною перехідних кривих і прямих вставок між суміжними кривими. Отже, критерії, що впливають на плавність і комфортабельність руху [6] не враховуються в повній мірі. Такий підхід не допустимий особливо при впровадженні на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів.

Оскільки збільшення швидкості ставить підвищені вимоги до якості проведення робіт з виправки й утримання кривих, необхідні нові підходи до розрахунків проектних пара-

метрів плану та встановлення максимально допустимої швидкості руху поїздів. Ті допущення, що були прийняті раніше й слабо впливали на показники руху поїздів при швидкостях 100–120 км/год, потребують або зміни, або відповідного коригування при швидкостях 160 км/год і більше.

Аналіз параметрів кривих із непогашеними прискореннями до $1,0 \text{ м/с}^2$ на ділянках прискореного руху

Встановлення максимально допустимої швидкості за параметрами й станом кривих є комплексна задача, від правильного вирішення якої залежить ефективність впровадження на залізницях України прискореного й швидкісного руху пасажирських поїздів.

Відповідно до Інструкції [7] – допустиме непогашене поперечне прискорення на рівні букси, що виникає при русі по кривим, за узгодженням з Укрзалізницею для швидкісних поїздів може бути збільшене до $0,8\text{--}1,0 \text{ м/с}^2$;

Авторами проведено вибіркового аналізу максимально допустимих швидкостей руху по багаторадіусних кривих на напрямку Гребінка–Полтава, рівень швидкості по яких розраховувався з непогашеними прискореннями до $1,0 \text{ м/с}^2$ і встановлено, що допустима швидкість в кривих (одиноких, складових, сполучених) розраховувалась за формулою (1), що визначає допустиму швидкість тільки в кругових кривих:

$$V = 3,6\sqrt{R([\alpha_{\text{нн}}] + 0,00613h)}. \quad (1)$$

Метою було отримання однакових максимально допустимої швидкості і підвищення зовнішньої рейки упродовж складової кривої за рахунок різних значень непогашених прискорень в кривих. До недоліків такого підходу слід віднести те, що розраховані максимально допустимі швидкості не проконтрольовані за такими параметрами як зміна непогашеного прискорення в часі

$$\psi = \frac{\alpha_{i+1}^{\text{нн}} - \alpha_i^{\text{нн}}}{t} \quad (2)$$

і зміна кривизни

$$k = \frac{1}{R_{i+1}} - \frac{1}{R_i}. \quad (3)$$

Для прикладу в статті наведено складову 4-радіусну криву на ділянці прискореного руху – 148-й кілометр. Встановлена допустима швидкість $V_{\text{дон}} = 110 \text{ км/год}$ для всієї кривої при різних непогашених прискореннях (в м/с^2) відповідно $\alpha_{\text{нн}}^1 = 0,50$, $\alpha_{\text{нн}}^2 = 0,95$, $\alpha_{\text{нн}}^3 = 0,78$ і $\alpha_{\text{нн}}^4 = 0,42$ (рис. 1). Підвищення зовнішньої рейки прийнято однаковим для всіх кривих $h = 100 \text{ мм}$. Інші дані наведено на рис. 2.

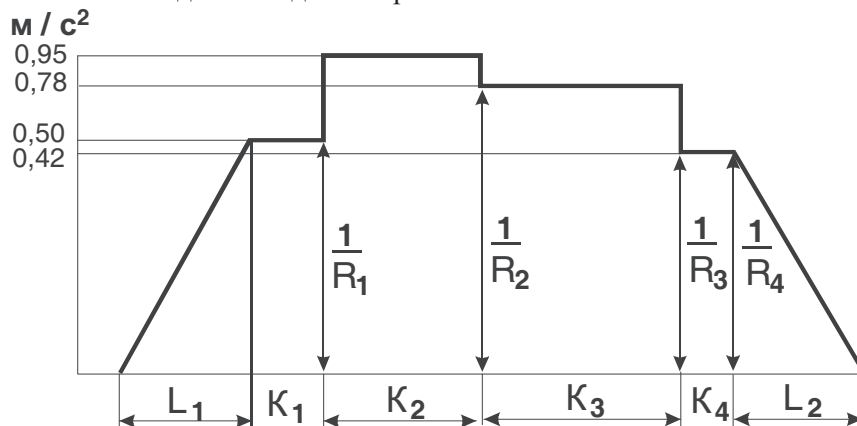


Рис. 1. Графік непогашених прискорень існуючої кривої

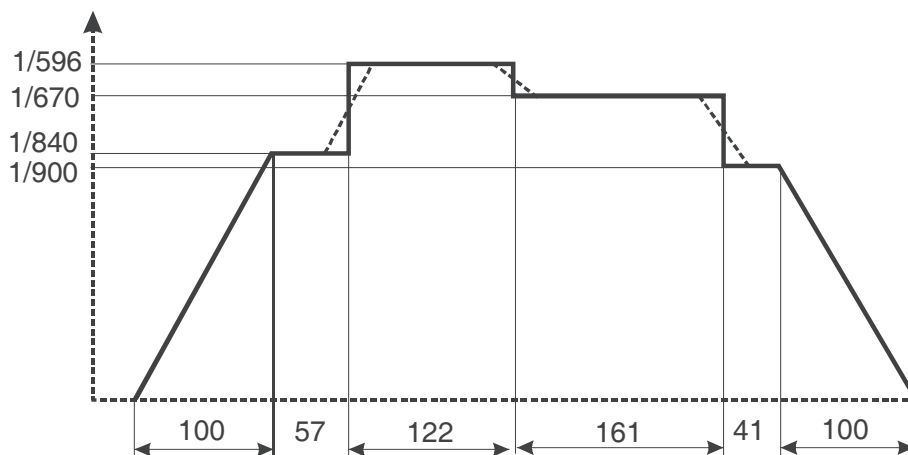


Рис. 2. Графік кривизни існуючої кривої

З рис. 2 видно, як змінюється кривизна на кожній ділянці кривої. Щоб оцінити, чи не порушується плавність руху поїздів, необхідно проаналізувати зміну непогашених прискорень у часі. Для цього розглянемо перехід екіпажу з першої до другої кривої (рис. 3), де кривизна й непогашені прискорення змінюються найбільш суттєво.

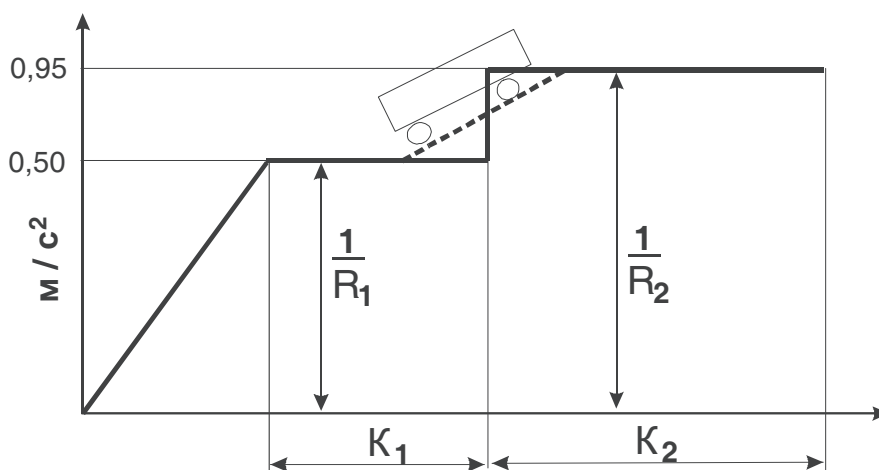


Рис. 3. Графік кривизни на 1-й і 2-й кривих

При русі екіпажу по першій кривій радіусом R_1 виникають непогашені прискорення (в прикладі $\alpha_{nn}^1 = 0,50 \text{ м/с}^2$). В другій кривій радіусом R_2 відповідно $\alpha_{nn}^2 = 0,95 \text{ м/с}^2$. Перехідна крива, що сполучає першу й другу криву, відсутня. Тому зміна непогашених прискорень відбувається за час t , на шляху, що дорівнює довжині екіпажу b , тобто згідно з формулою (2):

$$\psi = \frac{(\alpha_{nn}^2 - \alpha_{nn}^1)V}{b}. \quad (4)$$

Якщо у формулу (4) підставити вирази, за якими визначаються непогашені прискорення, то отримаємо нерівність, з якої й знаходимо допустиму швидкість руху:

$$\psi = \frac{1}{b} \left[V^3 \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) - \frac{gV}{S} (h_2 - h_1) \right] \leq [\psi]. \quad (5)$$

Відповідно до формули (5) визначається різниця кривизни і різниця підвищення у товщі сполучення кривих різних радіусів:

$$1\text{-ша і } 2\text{-га криві: } \left(\frac{1}{840} - \frac{1}{596} \right) = \frac{1}{2052} > \frac{1}{3000}; \quad (h_2 - h_1) = 100 - 100 = 0 \text{ мм.}$$

За графіком на рис. 4 [4] для $[\psi] = 0,3 \text{ м/с}^3$ відповідно до отриманих значень встановлена допустима швидкість $V_{дон}^1 = 79 \text{ км/год}$.

Аналогічно виконані розрахунки для 2-ї і 3-ї, 3-ї і 4-ї кривих і отримано: $V_{дон}^2 = 112 \text{ км/год}$, $V_{дон}^3 = 85 \text{ км/год}$ і $V_{дон}^4 = 120 \text{ км/год}$. Таким чином, за причиною різкої зміни непогашеного прискорення при переході екіпажу з першої на другу криву, тобто за критерієм комфорту пасажирів ψ , допустима швидкість повинна прийматись не 110, як пропонувала залізниця, а 79 км/год.

Оптимізація параметрів кривих

При реконструкції ділянок для впровадження швидкісного руху поїздів необхідно відкоригувати перш за все параметри кривих, які є визначальними для реалізації максимальної швидкості. Тобто, за наявності відповідного техніко-економічного обґрунтування збільшити радіус окремих кривих, привести підвищення зовнішньої рейки у відповідність до швидкості руху, довжину перехідних кривих – у відповідність до величини підвищення й крутизни його відводу. Прийняти такі параметри утримання кривих, які б забезпечили безпеку, плавність і комфортабельність їзди. Якраз на вибір вище названих параметрів кривих впливають і обсяги перевезень, і структура поїздопотуку (кількість, маса й швидкість вантажних, пасажирських і приміських поїздів), і складність плану існуючої лінії, й експлуатаційні умови.

Розрахунки за програмою RWPlan [8] дають можливість підібрати такі параметри кривих, які реально можуть забезпечити реалізацію більш високої швидкості. На рис. 4 представлена крива з дещо зміненими радіусами (від 0,7 до 5,9 %) і введеними проміжними перехідними кривими, що забезпечують плавний перехід від 2-ї до 3-ї і 4-ї кривих. При цьому зміщення осі колії не перевищує 40 мм. Результати розрахунків наведено в табл. 1

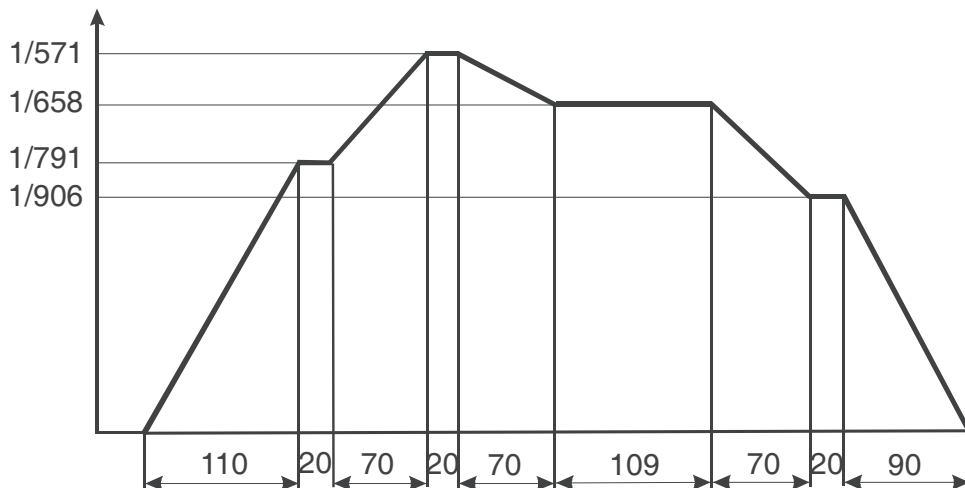


Рис. 4. Графік кривизни проектної кривої

Таблиця 1. Параметри проектної кривої

Довжина перехідної, м	Радіус, м	Довжина кривої, м	Підвищення, мм
110	791	20,50	90
70	571	20,50	150
70	658	109,16	120
70	906	20,00	60
90			

В табл. 2 наведено допустимі швидкості, розраховані Південною залізницею і ДНУЗТ за методикою ЦП-0236 [4].

Таблиця 2. Допустима швидкість упродовж складової кривої, км/год

Параметри кривої	Допустима швидкість				
	Крива 1	Крива 2	Крива 3	Крива 4	Прийнято
Південна залізниця	79	112	85	120	80
ДНУЗТ	126	119	122	127	120

Послідовність проведення паспортизації кривих

Для визначення максимально допустимої швидкості руху по кривій необхідно мати достовірні вихідні дані. Відомо, що різні способи зйомки кривих дають неоднакову похибку вимірювання стріли вигину.

Подамо радіус, що входить до формули (1) у такому вигляді:

$$R = R_0 + \frac{50000}{df}, \quad (6)$$

де R_0 – усереднений радіус кривої, м;

df – похибка у вимірюванні стріли, мм.

Тоді швидкість руху можна виразити як

$$V = V_0 + dV, \quad (7)$$

де V_0 – допустима швидкість руху по круговій кривій радіусом R_0 ;

dV – похибка у розрахунку швидкості при зміні радіуса на величину $50000/df$.

За паспортними даними точність вимірів стріли в кривих ділянках колії колісвимірвальним вагоном типу КВЛ складає 1 мм в місті вимірювання, а точність оцінки пройденого шляху складає не більше 1:500. Це мінімум у півтора рази гірше «ручного» вимірювання стріл і в десять разів гірше «ручного» вимірювання довжини.

На основі проведеного дослідження встановлено, що при зйомці плану лінії колісвимірвальним вагоном на точність впливає два істотних фактори: по-перше, довжина лінії виміряється з низькою точністю; по-друге, зйомка ведеться за схемою з великою асиметрією.

Асиметрична схема вимірювання (17 : 4,1) не дозволяє вірно оцінювати складні ділянки плану, що вносить істотну невизначеність при розрахунках кривизни в точках колії, на графіку кривизни положення перехідних кривих зміщається щодо істинного, а прямі вставки довжиною до 50 м можуть узагалі зникати. Це приводить до необхідності застосування виправки кривих методом «згладжування», який не гарантує постановки кривих у правильне проектне положення. Таким чином, використання результатів заїздів колісвимірвальних вагонів для оцінки параметрів плану лінії є неточним.

Якщо після оцінки стану колії колієвимірювальним вагоном встановлено, що потрібна виправка чи перебудова кривих, то пропонується така послідовність виконання робіт:

1. Проведення натурального обстеження та зйомка фактичних параметрів кривих, наприклад, методом стріл.
2. Розрахунок оптимальних параметрів кривих.
3. Визначення обсягів з перебудови плану лінії і підготовка завдання на виконання виправочних робіт.
4. Виправка (перебудова) кривих при машинізованому поточному утриманні колії й ремонтних роботах на основі затвердженого проекту.
5. Зйомка фактичних характеристик плану лінії після виправки кривих.
6. Оцінка відповідності фактичних характеристик плану паспортним значенням.
7. Затвердження паспорту кривої, якщо відповідність характеристик (п. 7) встановлена, інакше йти до п. 4.

Висновки та рекомендації

1. Проведений аналіз складних ділянок плану залізниці показав, що після оптимізації параметрів кривих (з урахуванням вартості їх перебудови) та виконання розрахунків відповідно до методики [4], можна підвищити швидкість в кривих і скоротити час руху поїздів. Так, для розглянутого прикладу для проектних параметрів кривої (після оптимізації за методикою [6]) максимальна швидкість $V_{дон} = 120$ км/год замість допустимої швидкості 80 км/год, рівень якої встановлено за критерієм плавності й комфортабельності їзди.

2. Аналогічний аналіз бажано провести по всіх кривих на напрямках швидкісного руху за методикою ЦП-0236 [4] в повному обсязі, що дозволить отримати додаткове скорочення часу руху і уникнути неточностей, які виникають при спрощених розрахунках.

3. Для всіх кривих, що обмежують швидкість руху, а також тих, що утримуються з відступами, відповідно вимог інструкції ЦП-0269 [7], необхідно провести натурне обстеження з виконанням повного циклу розрахунків для їх паспортизації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курган М. Б. Вплив обмеження швидкості на енергетичні показники руху поїздів / М. Б. Курган, О. С. Маркова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – С. 29–36.
2. Вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати енергоресурсів / Корженевич І. П., Курган М. Б., Бараш Ю. С., Курган Д. М. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – Вип. 20. – С. 233–239.
3. Корженевич І. П. Вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати пов'язані із зносом колійної інфраструктури / Корженевич І. П., Курган М. Б., Бараш Ю. С. // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – Вип. 21. – С. 285–292.
4. Правила визначення підвищення зовнішньої рейки і встановлення допустимих швидкостей в кривих ділянках колії / М. Б. Курган, А. М. Орловський, О. М. Патласов, В. В. Циганенко, Д. М. Курган: ЦП/0236: Затв. наказом Укрзалізниці від 14.12.2010 №778-Ц. – К., 2010. – 52 с.
5. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269) / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлев та ін. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.
6. Курган Н. Б. Критерии определения допускаемой скорости движения поездов и комфортабельность езды // 36. наук. праць Київського ун-ту економіки і технологій трансп.: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 4. – К.: КУЕТТ, 2003. – С. 22–31.
7. Інструкція з організації прискореного руху пасажирських поїздів на залізницях України щодо вимог до інфраструктури та рухомого складу. Затв. наказом Укрзалізниці від 16.01.2012 № 004-Ц. – К., 2012. – 83 с.
8. Корженевич І. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPlan 1.2 / Залізничний транспорт України, 2010, № 5. – С. 79–82.

Ігор Білюк

РОЗРАХУНОК РЕЙКИ НА ЗГИН ТА КРУЧЕННЯ ЗА МЕТОДОМ ТОНКОСТІННИХ СТЕРЖНІВ ТА ЯК БАЛКИ НА ПРУЖНІЙ ОСНОВІ

Рейка у поперечному перерізі – це складна фігура: під дією вертикальних і горизонтальних сил картина розподілу напружень у перерізі значно змінюється в результаті викривлення перерізу. Тому в даній статті буде розглянуто дві різні методики розрахунку рейки на вигин, а саме: метод тонкостінних стержнів із теорії опору матеріалів і метод, який був запропонований професорами Єршковим О. П. та Шахунянцем Г. М. В якості висновків – можна побачити розбіжність у результатах цих двох методів.

Рельс в поперечном сечении представляет собой сложную фигуру: под действием вертикальных и горизонтальных сил картина распределения напряжений в сечении значительно изменяется в результате искривления сечения. Поэтому в данной статье будет рассмотрено два разных способа расчета рельса на изгиб, а именно: метод тонкостенных стержней из теории сопротивления материалов и метод, который был предложен профессорами Ершовым А. П. и Шахунянцем Г. М. В качестве выводов – можно увидеть расхождение в результатах этих двух методов.

Rail in cross-section is a complex figure, under the vertical and horizontal forces picture of the stress distribution in the cross section varies significantly as a result of section strain. Therefore, in this article will be considered two different methods of calculating the rails on a bend, namely the method of thin rods with the theory of strength of materials and the method which was proposed by Prof. Yershkov O.P. and Shahunyants G.M. As a conclusion – you can see the difference in the results of these two methods.

Ключові слова: метод тонкостінних стержнів, балка на пружній основі, згин та кручення рейки, стиснене кручення, сегментна площа, жорстке защемлення, реактивний опір.

Визначення напружень у брусі з некруглим поперечним перерізом – це досить складна задача, перерізи бруса помітно скривлюються, в результаті чого суттєво змінюється картина розподілу напружень по перерізу. Розрахувати вигин рейки та кручення можна з теорії опору матеріалів методом тонкостінних стержнів [1].

Тонкі профілі поділяються на замкнуті і відкриті, якщо розглядати рейку під колісним навантаженням, то в нашому випадку це буде відкритий профіль, на який діє стиснене кручення. Під стисненням розуміється таке кручення, при якому обмежена депланація перерізу. Наприклад, для затисненого одним кінцем тонкостінного стержня (рис. 1) переміщення ω для всіх точок перерізу в жорсткому защемленні рівні нулю. По мірі віддалення від цього перерізу депланація і питомий кут закручування збільшуються.

Нормальні напруження в перерізі утворюють самозрівноважену систему сил. Згинальні моменти відносно осей x і y і нормальна сила рівні нулю, тобто:

$$\int_F \sigma_y dF = 0, \quad \int_F \sigma_x dF = 0, \quad \int_F \sigma dF = 0 \quad (1)$$

$$\text{або: } \int_F \omega y dF = 0, \quad \int_F \omega x dF = 0 \quad \int_F \omega dF = 0 \quad (2)$$

Сегментна площа ω визначена тут відносно центра кручення. Отже, з двох перших виразів випливає, що при стисненому крученні центр кручення співпадає з центром згину.

При побудові епюри ω початок відліку дуги s потрібно вибирати так, щоб дотримувалася попередня умова. Для симетричного профілю очевидно, що початкова точка має бути на вісі симетрії.

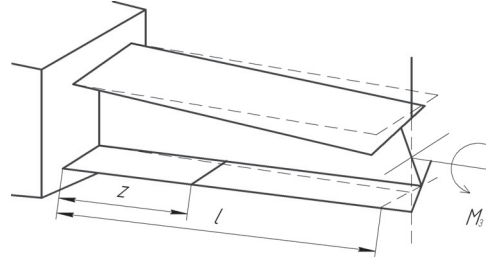


Рис. 1

У загальному випадку потрібно побудувати епюру ω_0 при довільному початку. Тоді: $\omega = \omega_0 + C$ Далі, згідно з вимогами: $\int_F \omega dF = \int_F \omega_0 dF + CF = 0$. Звідки визначається постійна інтегрування:

$$C = -\frac{\int_F \omega_0 dF}{F} \quad (3)$$

Цю величину потрібно додати до значень ω_0 в усіх точках контуру. Тоді отримана епюра буде задовольняти вимогам.

Епюра ω , побудована при центрі згину як при полюсі і задовольняюча вимогам самозрівноваженої системи, має назву епюри *головної сегментної площі*.

Дотичні напруження утворюють у перерізі результативний крутний момент, який можна розглядати як суму двох моментів: $M_\kappa = M_1 + M_2$ (4)

Перше з доданків – рівнодіючий момент основних дотичних напружень τ (рис 2).

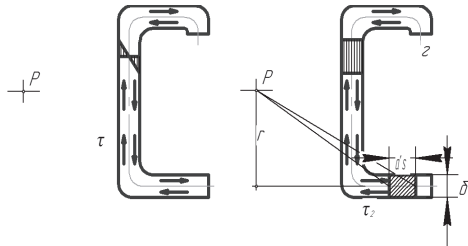


Рис. 2

Величина цих напружень і закон їх розподілу по перерізу відомі нам: $M_1 = GJ_\kappa \theta$, де J_κ – геометрична характеристика перерізу, а саме: момент інерції на кручення;

$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ – модуль зсуву; $G \cdot I_{кр} = C_{кр}$ – жорсткість балки при скручуванні.

Другий доданок – момент другорядних дотичних напружень τ_2 (рис 2):

$$M_2 = \int_s \tau_2 \delta r ds = \int_F \tau_2 \delta d\omega \quad \text{або: } M_2 = E \frac{d^2 \theta}{dz^2} \int \left(\int_{F^*} \omega dF \right) d\omega \quad (5)$$

$$\text{Інтегруючи по частинах, отримуємо: } \int_F \left(\int_{F^*} \omega dF \right) d\omega = \omega \int_F \omega dF \Big|_{s_1}^{s_2} - \int_F \omega^2 dF \quad (6)$$

$$\text{Але для точок контуру 1 і 2 (рис. 2) } \int_F \omega dF = 0. \quad \text{Отже: } M_2 = -EJ_\omega \frac{d^2 \theta}{dz^2} \quad (7)$$

Вираз (4) приводиться до вигляду:

$$M_\kappa = GJ_\kappa \theta - EJ_\omega \frac{d^2 \theta}{dz^2} \quad (8)$$

Позначаючи: $\frac{GJ_{\kappa}}{EJ_{\omega}} = \alpha^2$, отримаємо в кінцевому вигляді диференційне рівняння стисненого кручення:

$$\int \frac{d^2\theta}{dz^2} - \alpha^2\theta = -\alpha^2 \frac{M_{\kappa}}{GJ_{\kappa}}, \quad (9)$$

де $\theta = \frac{d\varphi}{dx}$ – відносний кут закручування; M_{κ} розглядається як відома функція z .

Розв'язуючи рівняння, знаходимо: $\theta = C_1 sh\alpha z + C_2 ch\alpha z + \theta^*$, де θ^* – дане рішення рівняння.

Повернемося до випадку затисненого одним кінцем стержня (рис.1).

Тут: $M_{\kappa} = M_3 = const$, де M_3 – момент зовнішніх сил. Тоді:

$$\frac{d^2\theta}{dz^2} - \alpha^2\theta = -\frac{\alpha^2 M_3}{GJ_{\kappa}}.$$

Приватне рішення цього рівняння буде: $\theta^* = \frac{M_3}{GJ_{\kappa}}$.

Постійні інтегрування C_1 і C_2 визначаються з таких граничних вимог. При $z = 0$ осьове переміщення $\omega = 0$. Отже, при $z = 0$ кут $\theta = 0$. Тоді: $C_2 + \frac{M_3}{GJ_{\kappa}} = 0$.

При $z = l$ напруження $\sigma = 0$, або $\frac{d\theta}{dz} = 0$ і: $C_1\alpha ch\alpha l + C_2\alpha sh\alpha l = 0$.

В підсумку отримуємо:

$$C_2 = -\frac{M_3}{GJ_{\kappa}}, \quad C_1 = \frac{M_3}{GJ_{\kappa}} th\alpha \cdot l,$$

$$\theta = \frac{M_3}{GJ_{\kappa}} [1 + th\alpha l \cdot sh \cdot \alpha z - ch \cdot \alpha z]. \quad (10)$$

Найбільше кутове переміщення при $z = l$:

$$\varphi_{\max} = \int_0^l \theta \cdot dz = \frac{M_3 \cdot l}{GJ_{\kappa}} \left[1 - \frac{1}{\alpha l} th \cdot \alpha l \right] \quad (11)$$

в той час, коли при чистому крученні та сама величина:

$$\varphi = \frac{M_3 \cdot l}{GJ_{\kappa}}. \quad (12)$$

Найбільші нормальні напруження виникають в защемленні:

$$\sigma = -E\omega \frac{d\theta}{dz} \Big|_{z=0} = -\frac{EM_3}{GJ_{\kappa}} \omega \alpha \cdot th \cdot \alpha l. \quad (13)$$

Складові моменти M_1 і M_2 в довільному перерізі будуть:

$$M_1 = GJ_{\kappa} \theta = M_3 (1 + th \cdot \alpha l \cdot sh \cdot \alpha z - ch \cdot \alpha z), \quad (14)$$

$$M_2 = -EJ_{\omega} \frac{d^2\theta}{dz^2} = -M_3 (th \cdot \alpha l \cdot sh \cdot \alpha z - ch \cdot \alpha z). \quad (15)$$

Розглянемо розрахунок рейки на вигин і кручення іншим методом, а саме: методом професорів Єршкова О. П. та Шахунянца Г. М. [2]

Подивимось на рейку під впливом горизонтальної поперечної сили H , діючої водночас із по-
зацинтреним прикладенням вертикального навантаження P , яка лежить на пружній основі
(рис. 3). На рисунку позначено: e_n – ексцентриситет прикладення сили H відносно центру кру-
чення рейки; e_p – ексцентриситет прикладення вертикальної сили P відносно вертикальної осі си-
метрії рейки. Осі в даному випадку прийняті: z – в вертикальному напрямку, y – в горизонталь-
ному, x – в поздовжньому напрямку.

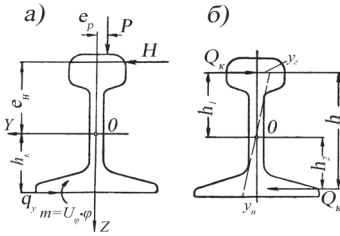


Рис. 3

Від одиночного колісного навантаження, що утворюють
сили H та P , в перетині під вантажем буде діяти крутячий мо-
мент M , що визначається за формулою:

$$M_0 = H \cdot e_n - P \cdot e_p \quad (16)$$

Цей момент створює кручення рейки, вертикальна сила P
створює вигин у вертикальній площині, сила H – вигин в го-
ризонтальній площині.

Задача про вертикальний вигин рейки розглядається в теоремі
практичних інженерних розрахунків колії на міцність. Тому не будемо брати до уваги вертикаль-
ний вигин і розглянемо в даній роботі вигин рейки у поперечній площині і дію крутного моменту.
Диференціальне рівняння поперечного згину рейки в горизонтальній площині можна записати у
вигляді, аналогічному вертикальному згину (рейка розглядається як балка на пружній основі).

$$\frac{M_{згин}^{zop}}{EI_y} = \frac{1}{\rho} = -\frac{d^2 y}{dx^2}.$$

Звідси згинаючий момент від дії бокової сили H визначиться з рівняння:

$$M_{згин}^{zop} = -EI_y \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (17)$$

Значення реактивного опору рейки по підшві в поперечному напрямку при дії лише горизон-
тальної сили буде: $q_y = U_y (y - h_n \varphi)$,

де U_y – модуль пружності в горизонтальній площині для рейкової нитки не завантаженою вер-
тикальною силою; y – бокове зміщення центра кручення рейки; φ – кут закручування; h_n –
відстань від підшви до центра кручення.

А з урахуванням впливу вертикальної сили і тертя, при якому вертикальний опір основи
 $q_z = U_z \cdot Z$ буде перешкоджати переміщенню рейки по підшві, значення реактивного опору
рейки в поперечному напрямку треба знаходити з уточненої формули проф. О. П. Єршкова
 $q_y = U_y (y - h_n \varphi) \pm U_z \cdot Z \cdot f$,

де Z – прогин рейки під дією вертикальної сили; f – коефіцієнт тертя ковзання. Для подаль-
ших розрахунків зручно в правій частині виразу для реактивного опору q_y згрупувати окремо
складові, стосовно до протидії горизонтальної сили, і окремо, стосовно протидії крутячого мо-
менту, тобто:

$$q_y = y \left(U_y \pm f U_z \frac{Z}{y} \right) - U_y \cdot h_n \cdot \varphi.$$

Якщо позначити: $U_{y0} = U_y \pm f U_z \frac{Z}{y}$, то можна записати вираз для реактивного опору в ін-
шому вигляді $q_y = U_{y0} \cdot y - U_y \cdot h_n \cdot \varphi$.

Тут U_{y0} – модуль пружності рейкової нитки в горизонтальній площині з урахуванням дії вер-
тикального навантаження.

Використовуючи раніше прийняте в практичних розрахунках колії на міцність
співвідношення між рівномірно розподіленим вертикальним навантаженням, прикладе-
ним до балки на пружній основі, і осадкою, яка нею викликається, і розглядаючи рейку
при згині в горизонтальній площині, як таку ж балку на пружній основі, для нашого

випадку можемо записати: $q_y = -EI_y \frac{d^4 y}{dx^4}$. Тепер, прирівнявши попередні рівняння, отримаємо в остаточному вигляді диференціальне рівняння бокового згину від дії бокової сили H з урахуванням впливу вертикального навантаження P :

$$EI_y \frac{d^4 y}{dx^4} + U_{y0} \cdot y - U_y \cdot h_n \cdot \varphi = 0. \quad (18)$$

За дослідженнями проф. О. П. Єршкова [3] з достатньою для практичних розрахунків точністю можна брати значення U_{y0} рівним:

$$U_{y0} = \frac{U_y}{1 - 0,9f \frac{P}{H}}.$$

Диференціальне рівняння (1) має два невідомі y і φ і його недостатньо для їх визначення. Тому розглянемо інші види деформації рейки при прикладених сумісно силах P і H . Від означеного спільного впливу на рейку вертикальної і бокової сил, окрім розглянутих, згину в вертикальній і горизонтальній площинах, створюється стисле або згиннальне кручення рейки. При цьому характер деформації поперечних перетинів відрізняється від чистого кручення. При чистому крученні поперечний перетин під вантажем залишається плоским. Призначимо початок координат у точці O (в центрі кручення рейки), ось X направимо (як і раніше при практичних розрахунках колії на міцність) вздовж рейки, ось z – вниз, ось y – ліворуч (рис. 3, а). Позначимо крутячий момент у будь-якому перетині через $M_k = M_1 + M_2$ (19)

Частина його M_1 – викликає чисте кручення, а інша M_2 – викликає згин головки й підшви відносно шийки. З теорії кручення відомо, що:

$$M_1 = -C \cdot \frac{d\varphi}{dx}. \quad (20)$$

де φ - поточний кут закручування; C - жорсткість рейки при крученні. Момент M_2 може бути виражений у вигляді моменту пари сил (рис. 3, б): $M_2 = Qh$, де Q – поперечна сила, що виникає внаслідок згину головки і підшви рейки відносно шийки; h – відстань між центрами тяжіння поперечних перетинів головки і підшви. Поперечна сила Q визначається з виразу:

$$Q = EI_{\Gamma} \frac{d^3 y_{\Gamma}}{dx^3} \text{ або } Q = EI_{\Pi} \frac{d^3 y_{\Pi}}{dx^3}. \quad (21)$$

З урахуванням того, що величину горизонтального переміщення центрів тяжіння головки і підшви можна виразити через кут закручування:

$$y_{\Gamma} = h_1 \cdot \varphi \quad y_{\Pi} = h_2 \cdot \varphi.$$

Далі для поперечної сили переписують у іншому вигляді:

$$Q = EI_{\delta} \cdot h_1 \cdot \frac{d^3 \varphi}{dx^3} = EI_n \frac{d^3 \varphi}{dx^3} \cdot h_2.$$

Після цього підставляючи значення поперечної сили у вираз для M_2 , отримують вираз для моменту, що викликає згин головки і підшви відносно шийки у вигляді:

$$M_2 = Q \cdot h = Eh^2 \frac{I_{\delta} \cdot I_n}{I_{\delta} + I_n} \cdot \frac{d^3 \varphi}{dx^3}. \quad (22)$$

Позначивши далі як жорсткість при згинальному крученні рейки вираз: $D = E \frac{I_{\delta} \cdot I_n}{I_{\delta} + I_n}$, отримують остаточний вигляд диференціального рівняння кручення рейки:

$$M_k = -C \frac{d\varphi}{dx} + Dh^2 \cdot \frac{d^3 \varphi}{dx^3}. \quad (23)$$

Однак у цьому рівнянні не враховано, що рейка по всій довжині зв'язана з суцільною пружною основою, і при крученні в цій основі буде виникати розподілений по довжині реактивний момент опору крученню рейки.

Позначимо одиничний реактивний момент, діючий на одиницю довжини балки від одиничного кута закручування $\varphi = 1$ через U_{φ} , тоді значення розподіленого реактивного моменту бу-

де: $m = U_\varphi \cdot \varphi$. На частині балки, де немає впливу зосереджених сил і крутячих моментів, при-
рїст сумарного крутячого моменту M_k буде складатися як результат дії сил реактивного опору по
підшві рейки і розподіленого реактивного моменту: $\frac{dM_k}{dx} = q_y \cdot h_n - m$.

$$\text{Або } \frac{dM_k}{dx} = U_{y0} \cdot h_n \cdot y - (U_\varphi + U_y h_n^2) \cdot \varphi.$$

Після взяття похідної по X від моменту M_k , отримано в остаточному вигляді диференційне
рівняння кручення рейки з урахуванням сил реактивного опору:

$$Dh^2 \frac{d^4 \varphi}{dx^4} - C \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + (U_\varphi + U_y h_n^2) \cdot \varphi - U_{y0} \cdot h_n \cdot y = 0. \quad (24)$$

Результат системи двох рівнянь, що у повному вигляді описують деформацію бокового згину
і кручення рейки під впливом бокової сили H з урахуванням одночасної дії вертикального наван-
таження P_r , наведено в [4]. При цьому робота рейки в горизонтальній площині розглядається як
балка на пружній основі, і в розрахунку враховані: реактивний опір рейки при крученні, реактний
опір при боковому згині і сили тертя по підшві рейки.

$$\left. \begin{aligned} EI_y \frac{d^4 y}{dx^4} + U_{y0} \cdot y - U_y \cdot h_n \cdot \varphi &= 0, \\ Dh^2 \frac{d^4 \varphi}{dx^4} - C \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + (U_\varphi + U_y h_n^2) \cdot \varphi - U_{y0} \cdot h_n \cdot y &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Із спільного рішення системи рівнянь, що виконується звичайними методами, згідно з мето-
дикою [4] визначаються обидва невідомих φ і y . Залежність кута закручування рейки від діючо-
го крутячого момент визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{M_0}{2D \cdot h^2 (\lambda_2^2 - \lambda_1^2)} \cdot \left(\frac{\exp(-\lambda_1 x)}{\lambda_1} - \frac{\exp(-\lambda_2 x)}{\lambda_2} \right), \quad (26)$$

$$\text{де } \lambda_1, \lambda_2 - \text{постійні інтегрування; } \lambda_{1,2} = \sqrt{\frac{c \pm \sqrt{c^2 + 4D \cdot h^2 \cdot U_\varphi}}{2D \cdot h^2}}.$$

Модуль пружності рейки U_φ з урахуванням сил тертя (при одночасній дії H і P) і
жорсткість рейки при крученні C_φ (при саме таких умовах) згідно з методикою, викладеної в [4]
визначається за формулами: $C_\varphi = 2 \cdot D \cdot h^2 \cdot r_1 \cdot r_2 (r_1 + r_2)$, $U_\varphi = \frac{C_\varphi}{l}$,

$$\text{де } r_1 = \sqrt{\frac{C}{D \cdot h^2}}; r_2 = \sqrt{\frac{C_\varphi}{1 \cdot C}}, \text{ де } l - \text{довжина напівхвилі деформації стиснутого кручення}$$

рейки. Після інтегрувань і визначення невідомих y і φ можна визначити значення M_k і
 $M_{згин}^{гор}$.

При практичних розрахунках за методикою 1 (для стисненого кручення тонкостінних
стержнів) і за методикою 2 (для рейки на пружній основі) порівняння результатів рішення
за формулами (11, 14, 15) і (25, 26) дає розбіжність у межах 10 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сопротивление материалов: учебник для вузов / под. общ. ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко. – 4-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа. Головное издат-во, 1979. – 696 с.
2. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1969. – 536 с.
3. Ериков О.П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити / Труды ВНИИЖТ, 1960 – 192 с.
4. Даніленко Е.І. Залізнична колія. Гулаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим скла-
дом / Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). – К.: Інпрес, 2010.

*Ірина Бондаренко
Дмитро Курган*

СТОСОВНО ПИТАНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

На сьогодні практично відсутня як нормативна база параметрів стану земляного полотна, так і система їх натурального вимірювання. Показники працездатності земляного полотна мають суттєвий вплив на роботу всієї залізничної колії. Умови експлуатації залізниць змінилися порівняно з тими, що закладалися в період будівництва, тому нижня будова колії може не забезпечувати сучасні потреби. Вирішення задачі повинне базуватися на сучасних теоретичних обґрунтуваннях. Різноманітність форм і методів побудови динамічних моделей, що принципово розрізняються між собою, свідчить про те, що вони виходять не з теоретичної суті процесів, а ґрунтуються на емпіричному підході, фіксуючи окремі зовнішні прояви динаміки.

На сегодняшний день практически отсутствует как нормативная база параметров состояния земляного полотна, так и система их натурального измерения. Работоспособность земляного полотна влияет на работу всего железнодорожного пути. Условия эксплуатации изменились в сравнении с закладываемыми в период строительства и нижнее строение пути может не соответствовать требованиям. Решение должно основываться на современных моделях. Разнообразие методов построения динамических моделей, принципиально отличающихся между собой, показывает, что они исходят не с теоретической сути процессов, а основываются на эмпирическом подходе, фиксируя отдельные внешние проявления динамики.

Today practically is absent as regulatory base for parameters of a road bed condition, and system of their natural measurement. Operability of a road bed influences work for all track. Service conditions changed in comparison with put during construction and the bottom structure of a way can not conform to requirements. The decision has to be based on modern models. Methods of creation of dynamic models are various. It shows that they proceed not from a theoretical essence of processes, and are based on empirical approach and fixing separate external manifestations of dynamics.

Ключові слова: земляне полотно, працездатність, пружність, деформації, хвильовий процес.

Термін експлуатації земляного полотна за техніко-економічними розрахунками складає 400 років, що на порядок більше найдовшого терміну експлуатації серед усіх елементів верхньої будови колії – залізобетонної шпали.

На сьогоднішній день експлуатація більшості конструкцій земляного полотна на українських залізницях перевищує півтора століття.

Жодними типовими технологічними процесами або нормативними вимогами (наприклад такими, як «Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних

робіт на залізницях України» [1]) не передбачається проведення ремонту цих конструкцій в межах такого проміжку часу навіть при наявності змін умов експлуатації, виключаючи випадки спливів і латання за рахунок досипки баластного шару та відводу води.

Будь-який норматив стосовно міцності та стійкості колії [2], надійності її роботи в часі, яка на сьогодні виражена в термінах експлуатації елементів та проведення ремонтів, передбачає роботу конструкції земляного полотна у пружній стадії. А для забезпечення тільки пружних деформацій земляного полотна треба, щоб його щільність в будь-яких точках в різні періоди часу роботи була не менше відповідно визначеного мінімуму. Тобто потрібно дотримуватися таких вимог:

1) забезпечення модуля пружності колії на рівні 40–50 МПа (існуючі нормативи розраховані з умови забезпечення цієї величини на рівні 50 МПа влітку, та 80–100 МПа взимку);

2) ущільнення до нормованої щільності ґрунтів у насипах, а також, у певних випадках, під основною площадкою у виїмках і на нульових місцях згідно з встановленими нормативами (додаток Б [3]);

3) забезпечення дренаючих властивостей конструкції земляного полотна або застосування дренаючих ґрунтів (ґрунти, які мають при максимальній щільності за стандартним ущільненням коефіцієнт фільтрації не менше 0,5 м/добу і мають в гранулометричному складі не більше 10% часток, розміром менше 0,1 мм (за [4]. Це такі типи ґрунтів: чистий гравій, чисті піски та суміші чистих пісків та гравію), або за допомогою водовідвідних конструкцій.

Що стосується першої вимоги, то, по-перше, дотепер не існує чітких норм стосовно жорсткості конструкції колії, тому забезпечити їх виконання неможливо. По-друге, взагалі відсутні прилади для визначення та оцінки жорсткості колії в інвентарному парку будь-якого підрозділу залізниці. По-третє, жодна спроба досягти однорідності жорсткості колії на всьому протязі за рахунок використання однорідних елементів верхньої будови колії (одного типу рейок, залізобетонних шпал, скріплень) не призведе до очікуваного результату, оскільки частка земляного полотна в деформаційному процесі всієї конструкції колії, залежно від роду ґрунту та його стану, становить 60–96 %, що, у свою чергу, призводить до певних похибок стосовно рекомендацій щодо використання та термінів служби будь-яких конструкцій верхньої будови колії.

Що стосується другої вимоги, то існує нормативний показник, але відсутність технічного забезпечення його перевірки і безкарність невиконання цієї вимоги також призводить до експлуатації земляного полотна не в пружній стадії.

Що стосується третьої вимоги, то, по-перше, умови експлуатації залізниць як правило, змінилися порівняно з тими, що закладалися в період будівництва, тому співвідношення напружень і водного балансу в тілі насипу можуть не забезпечувати сучасні потреби. А також, деякі водовідвідні споруди за цей період експлуатації або опинились у частково працездатному стані, або взагалі знаходяться в граничному стані, тобто поза терміном їх експлуатації. Згідно з [1] періодичність виконання робіт така:

– 100 % заміни дефектних кам'яних, бетонних, залізобетонних труб становить 100 років;

– 100 % заміни гофрованих металевих труб – 50 років;

– 100 % заміни, улаштування нових дренажних та водовідвідних споруд – 60 років;

– 100 % ремонту дренажних та водовідвідних споруд – 10 років;

– 50 % ремонту поверхонь лотків, селеспусків кожні 20 років. Тобто за 40 років повинно відновитися 100 % всіх поверхонь.

Тому, забезпечення цієї вимоги потребує перевірки дренаючих властивостей земляного полотна з урахуванням рівня промерзання та відбудови водовідвідних споруд. В свою чергу, для перевірки дренаючих властивостей земляного полотна необхідно провести його паспортизацію, оскільки в більшості випадків геобазис не мають даних стосовно навіть інформації про склад земляного полотна.

На сьогодні прийнято оцінювати стабільність земляного полотна його міцністю та стійкістю. Але ж ступінь міцності та стійкості земляного полотна не залишається незмінною в часі.

Збільшення вологості ґрунту, наприклад, внаслідок інфільтрації поверхневої води в ґрунт або підняття рівня ґрунтових вод (що найчастіше відбувається з випадінням опадів, таненням снігу, підйомом води в річках, водоймищах тощо) або внаслідок перерозподілу вологи в ґрунті в результаті зміни його температури і особливо промерзання взимку і т.п. може викликати різкі зміни таких основних характеристик ґрунту, як опору здвигу, об'ємної ваги та компресійних залежностей, від яких головним чином залежать міцність та стійкість ґрунтових масивів. Зміна щільності ґрунту, концентрації електролітів в розчині агресивності підземних вод та інших факторів також впливають на основні характеристики ґрунтів. Вплив цих факторів відрізняється для ґрунтів з різноманітним генезисом, структурою та текстурою, різноманітним мінералогічним та хімічним складом, не дивлячись на збіг за гранулометричним складом. Тому ступінь стабільності ґрунтових масивів взагалі і земляного полотна зокрема не залишається незмінним в часі, та при цьому основним вирішальним фактором є вода.

Якщо мають місце сезонні коливання вологості в ґрунті, то протягом року коефіцієнт стабільності масиву (що визначається як відношення факторів опору до факторів руйнування) змінюється від річного максимуму до річного мінімуму. Якщо, окрім цього, з року в рік йде накопичення вологи в ґрунтовому масиві, тоді середньорічне значення коефіцієнта стабільності буде падати. Якщо поточний коефіцієнт стабільності буде дорівнювати одиниці (при цьому буде мати місце гранична рівновага) і буде падати далі, то система виходить зі стану рівноваги, pojawiaються залишкові деформації ґрунтового масиву, іноді у вигляді дуже серйозних руйнувань. В результаті таких деформацій найчастіше основна маса води, що накопичилась у ґрунті, виходить з нього, ґрунт осушується і ґрунтовий масив приходить до нової системи рівноваги, зазвичай з суттєвим збільшенням коефіцієнта стабільності.

Якщо в подальшому знову відбувається накопичення вологи в ґрунті, то описаний процес на дестабілізованих об'єктах буде відбуватись циклічно. Як, наприклад, відбувається процес руйнування нестійких зсувних косогорів. Періоди циклів на одному і тому самому об'єкті мають різну тривалість залежно від інтенсивності зміни співвідношення між факторами опору та факторами руйнування, що визначається впливом діяльності людини та природи.

В загальному вигляді кожен цикл на дестабілізованому об'єкті складається з таких періодів:

- період відносної стабілізації;
- період місцевих посувань;
- період посувань загального або найбільшого охоплення;
- період місцевих посувань.

При цьому період відносної стабілізації характеризується значенням коефіцієнта стабільності більше одиниці. Якщо поточне значення коефіцієнта стабільності наближається до одиниці, але в цілому для всього об'єкта більше її, в окремих частинах об'єкта можуть відбуватись місцеві посування, що характеризуються появою місць з початковими тріщинами, відривами, здиманням ґрунту і т.п. при збереженні загальної стійкості об'єкта. Якщо, загальне падіння поточного коефіцієнта стабільності для всього об'єкта досягає такого значення, при якому весь об'єкт втрачає рівновагу, відбуваються загальні посування. Тому, знання та розуміння природно-історичних умов та динаміки процесів, що відбуваються на об'єкті, є умовою для правильного та раціонального проектування стабілізуючих заходів. І слід розуміти, що в більшості випадків будови земляного полотна (наприклад, на нестійких, зсувних косогорах, у гірських районах і т.п.) тільки пряма протидія силам природи (у вигляді будови підтримних споруд, перерозподілу мас ґрунту і тощо) є економічно дорогою, а технічно дуже громіздкою. Тому основою заходів що до стабілізації ґрунтових масивів повинно бути орієнтування та нейтралізацію сил природи в ба-

жаному напрямку. Крім цього, недостатньо намітити всі заходи по стабілізації – потрібно їх правильно розташувати та виконувати в потрібний час. Найдоцільніше проведення всіх заходів в період відносної стабілізації. Таким чином, важливішим завданням експлуатації ґрунтових споруд повинно бути вивчення об'єкта і процесів, що відбуваються в ньому, а також безперервне приведення у відповідність факторів, що опираються руйнуванню, факторам, що викликають деформації об'єкта.

Розглядаючи питання щодо підвищення стабільності земляного полотна необхідно проаналізувати його стан в різних країнах.

В нашій країні земляне полотно, зазвичай, це споруда, що відсипана з місцевих або привозних ґрунтів, тобто це комплекс ґрунтових споруд, що отримані в результаті обробки земної поверхні. Якщо розглянути характеристики ґрунтів, що використовуються для зведення земляного полотна, то інтервали модулів пружності колії з використанням таких ґрунтів становить для конструкцій з дерев'яними (чисельник) та залізобетонними (знаменник) шпалами, МПа:

- пилювато-суглинних 13,8/19,7...31,3/35,5;
- супісків, легких суглинків 15,5/23,3...40,7/49,1;
- середніх та важких суглинків 7,5/14,3...26,4/30,6;
- легких глин 7,4/9,6...31,6/35,8;
- середніх та важких глин 12,7/18,9...57,7/69,6.

Тобто, не всі конструкції земляного полотна працюють в пружних стадіях з врахуванням сьогоdnішніх навантажень на колію. Для підвищення стабільності колії можна використовувати захисний шар, конструкції якого запропоновано, наприклад, у [5]. Зазвичай, це однорідний шар товщиною 15...80 см, розташований над існуючими ґрунтами.

Аналіз закордонного досвіду свідчить, що для забезпечення стабільності земляного полотна використовується захисний шар, що є складною конструкцією з різними характеристиками:

- першим є захисний шар, що виконує функцію армування з природних матеріалів з модулем деформації 120 (100) МПа, товщиною 15...75 см;
- другим розташовано захисний від промерзання з модулем деформації 80 МПа, та товщиною 50 см;
- третім розташовано верхній шар земляного полотна з модулем деформації 60 МПа та товщиною 130 см;
- четвертим розташовано нижній шар земляного полотна з модулем деформації 40 МПа та товщиною 50 см;
- п'ятим йде шар з ґрунтів основи товщиною не менш 50 см.

Реалізація цих параметрів для діючих ліній закордоном здійснюється при їх капітальному ремонті або реконструкції колії. Як матеріал захисних шарів використовують штучно підібрані піщано-гравійні суміші. В останні роки почали широко застосовувати геосинтетичні матеріали, які виконують функції армування, розділення, дренажу, фільтрації та запобігання ерозії.

У Росії будівельно-технічними нормами СН Ц-01-95 [6] і СНиП 32-01-95 [7] регламентується посилення баластної конструкції укладанням захисного шару з дренуючого ґрунту, в т. ч. спільно з геотекстилем і плитами пінополістиролу. Товщина цього шару має відповідати розрахунку, але не менше 0,8-1,0 м для суглинків і глин і 0,5-0,7 м для супісків.

Критичною розрахунковою зоною є не тільки «нова» основна площадка, яка є основою для верхньої будови колії і найбільшою мірою сприймає впливи від поїзного навантаження, а й межа розділу дренуючих і глинистих ґрунтів власне земляного полотна. На нових лініях – це нижня межа захисного шару, а на існуючих – положення деформованої первісної основної площадки земляного полотна. Розрахункові методи повинні передбачати як недопущення пластичних деформацій глинистого ґрунту земляного полотна, так і обмеження величини деформацій під впливом морозного здимання. Для земляного полотна швидкісних і високошвидкісних залізниць в Росії сьогодні вважається необхідним виконання таких технічних вимог:

- пружна осадка основної площадки земляного полотна, не повинна перевищувати 1,5 мм під впливом навантаження від рухомого складу, прийнятого для експлуатації на конкретній лінії. Розрахунки свідчать, що ця умова забезпечується при встановлених обрисах поперечного

профілю земляного полотна, відсипаного ґрунтами, які мають в ущільненому стані модуль пружності 45-50 МПа;

– деформація основи баластної призми внаслідок морозного здимання не допускається. Отже, із зони промерзання повинні виводитися ґрунти, в яких спостерігається морозне здимання. До них належать всі різновиди глинистих ґрунтів з вологістю вище межі розкочування і дрібнозернисті піллуваті піски;

– осадки основної площадки земляного полотна, обумовлені сезонними змінами кліматичних факторів (відтавання – промерзання, зволоження – висихання і т.д.), не допускаються;

– осідання, викликані ущільненням ґрунтів земляного полотна і його утворення в період експлуатації залізничної колії, допускаються з інтенсивністю до 5 мм в рік, за умови ущільнення ґрунтів під час будівництва до 90% їх максимальної щільності. Робота земляного полотна за своїм функціональним призначенням безпосередньо пов'язана з коливаннями від динамічного впливу рухомого складу. Однак при проектуванні земляного полотна динамічні процеси не враховують або враховують наближено. Пояснюється це тим, що на даний час немає достатньо адекватної динамічної моделі роботи земляного полотна. Дефекти основної площадки земляного полотна у вигляді баластових корит, лож, мішків завжди тією чи іншою мірою з'являються залежно від зовнішніх умов, особливо якщо насип відсипаний з глинистих ґрунтів. Основною причиною їх появи є багаторазовий динамічний вплив від поїзного навантаження.

З вищевикладеного випливає, що облік динамічного впливу поїзного навантаження в роботі земляного полотна є одним з найважливіших напрямків досліджень у транспортній геомеханіці. Актуальність проблеми підтверджується широким спектром робіт, що проводяться в цьому напрямку безліччю наукових колективів. Дослідження динаміки земляного полотна проводяться у ВНІЖТі, ЛІЖТ, МІТі, СГУПС та інших транспортних закладах Росії. В сукупності дослідження можна поділити на п'ять напрямків.

Перший напрям пов'язаний з установленням динамічних характеристик ґрунтів. У переважній більшості випадків мова йде про характеристики міцності з урахуванням їх нелінійності.

Другим напрямом, який отримав широкий розвиток, є експериментальне моделювання. Причому найбільші практичні результати були досягнуті в відцентровому моделюванні. На початку 60-х років ХХ ст. у колієдослідній лабораторії МІТу під керівництвом д.т.н. Г. М. Шахунянца, Д. І. Івановим та Т. Г. Яковлевою була створена установка для відцентрового моделювання. Доктором технічних наук Т. Г. Яковлевою було проведено багато досліджень, що мають велике теоретичне і практичне значення. Вона розширила загальну теорію відцентрового моделювання і доповнила її розробкою теорії моделювання нестационарних процесів, а також розробкою теорії моделювання поведінки земляного полотна залізниць з урахуванням їх специфічних особливостей. Прикладом практичного застосування відцентрового моделювання є розробка методики визначення інтегрального параметра, що враховує вплив динамічного впливу на насип з обґрунтуванням конкретних значень цього параметра ґрунту. Моделювання динамічних процесів, що відбуваються в насипі, виконано у ВНІЖТі д.т.н. Г. Г. Коншин. Незважаючи на відмінності розмірів моделі і натурних розмірів насипу, а також параметрів джерела коливань (ультразвукові частоти) з коливаннями від поїзного навантаження, все ж таки вдалося на моделі простежити характерні ознаки пошкоджень в природних умовах.

Третім, одним з найважливіших напрямів досліджень, є натурне спостереження.

Четвертим перспективним напрямом розвитку динамічних досліджень транспортних споруд є вібродіагностика. У сучасній техніці широко застосовують вібродіагностичні методи. У дослідженнях насипів земляного полотна поряд з природними джерелами коливань, яким є рухомий склад, також застосовують штучні джерела ударного типу та ультразвукові. Вібродіагностика може фіксувати кордон мерзлих і талих зон ґрунтів, потужність торф'яного шару, а також складні нашарування з прошарками слабких ґрунтів. Якщо говорити про найближчі перспективи вібродіагностики, то слід очікувати, що можливості методу будуть нарощуватися за рахунок автоматизації процесу та отримання більш повної та якісної інформації.

П'ятий напрям – розрахунки земляного полотна з урахуванням динамічних впливів, поряд з натурними спостереженнями займає особливе місце серед згаданих напрямків досліджень. Адекватне розрахункове моделювання роботи земляного полотна є в кінцевому результаті ме-

тою переважної більшості досліджень. Тому всі перераховані напрями тісно пов'язані один з одним, а рівень розрахункового моделювання характеризує рівень розвитку даної галузі науки. У цілому уся безліч динамічних розрахунків насипів земляного полотна підрозділяється в основному на три частини. Це, по-перше, розрахунки стійкості земляного полотна, по-друге, розрахунки пружного осідання, по-третє, розрахунки залишкових деформацій основної площадки. При цьому динамічний вплив враховують декількома способами.

Відповідно до одного з них, при статичній схемі розрахунку слід збільшувати величину статичного навантаження. Т. Г. Яковлева пропонує вводити інтегральний параметр, одержуваний за допомогою відцентрового моделювання. Цей параметр характеризує сумарний вплив на стійкість насипу інерційних і дисипативних сил, що виникають при його коливанні і вібрації, а також зниження опору ґрунтів зрушенню, і згасання динамічного впливу з глибиною.

У статичних схемах розрахунку найбільшого поширення набуло застосування динамічних характеристик міцності. З наведених методик розрахунку стійкості при динамічних впливах видно, що основоположна сутність динаміки – хвильовий процес у цих розрахунках не моделюється, а є «чорним ящиком», прояви якого дуже різноманітні [8].

Інші розрахунки земляного полотна, про які згадувалося вище: визначення пружних осідань і залишкових деформацій основної площадки, також виконують в цілому без урахування хвильового процесу. В утворенні пружних осідань бере участь низькочастотний хвильовий процес, пов'язаний з проходженням колісних пар поїздів. При малих і середніх швидкостях руху поїздів інерційні сили не можуть чинити помітного впливу на накопичення залишкових деформацій, але багаторазовість навантаження змінює характер процесу.

Деформації основної площадки прогнозують напівемпіричними методами. Є спроби створення загальної теорії накопичення деформацій при повторних навантаженнях, але також без прямого розгляду хвильового процесу.

Проведений короткий аналіз робіт по динаміці земляного полотна свідчить:

1. Динамічні процеси, що протікають в земляному полотні, є суттєвим чинником накопичення деформацій і їх необхідно враховувати при проектуванні земляного полотна.

2. У розрахунках та прогнозуванні динамічного впливу на споруди не розглядають власне динамічний процес, а використовують різні прийоми урахування динамічного ефекту. При цьому, як правило, використовують різні статичні розрахункові схеми.

3. Різноманіття форм і методів урахування динаміки, що принципово розрізняються між собою, свідчить про те, що всі вони виходять не з теоретичної суті процесів, а ґрунтуються на емпіричному підході, фіксуючи окремі зовнішні прояви динаміки.

4. Відсутність єдиної концепції динаміки земляного полотна, що витікає з хвильової природи всіх динамічних процесів, гальмує подальший розвиток адекватного моделювання, впевненого прогнозування і проектування надійного в експлуатації земляного полотна в різних природних умовах з урахуванням вантажонапруженості та інтенсивності руху.

ЛІТЕРАТУРА

1. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колієвих робіт на залізницях України. ЦП-0113 від 10.08.2004, №630-ЦЗ – К., 2004. – 32 с.
2. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 від 13.12.2004, № 960-ЦЗ – К., 2004. – 170 с.
3. ДБН В.2.3 -12:2006. Споруди транспорту залізничної колії 1520 мм. – К., 2006 – 151 с.
4. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Ґрунти. Класифікація. Наказ Держкоммістобудування України №189 від 01.11.96. 1997. – 52 с.
5. Правила улаштування основної площадки земляного полотна при виконанні капітального ремонту та модернізації колії. ЦП-0204 від 25.12.2008, №557-ЦЗ – К., 2009. – 44 с.
6. СТН Ц 01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. Утверждено приказом МПС РФ от 25.09.1995 г. № 14 Ц. – М., 1995. – 93 с.
7. СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм. Утверждено постановлением Минстроя России от 18.10.1995 г. № 18-94. – М., 1995. – 46 с.
8. *Бондаренко І. О., Курган Д. М.* Застосування теорії розповсюдження пружних хвиль для вирішення задач напружено-деформаційного стану залізничної колії. // 36. наук. пр. ДЕТУТ «Транспортні системи і технології». Вип. 18. – К., 2011. – С. 14–18.

Віталій Велінець

РОЗРАХУНОК РЕЙОК НА ГОРИЗОНТАЛЬНИЙ ЗГИН ТА СКРУЧУВАННЯ МЕТОДОМ С. П. ТИМОШЕНКА (БЕЗ УРАХУВАННЯ СИЛ ТЕРТЯ) І МЕТОДОМ О. П. ЄРШКОВА (З УРАХУВАННЯМ СИЛ ТЕРТЯ)

Дана стаття розкриває методи розрахунку рейок на горизонтальний згин та скручування. Звертається увага на необхідність розрахунку параметрів рейок для забезпечення безпеки руху. Коротко описані існуючі методи їх розрахунку. Як висновки – рекомендації щодо введення на українських залізницях більш точних методів для розрахунку рейок на горизонтальний згин та скручування.

Данная статья раскрывает методы расчета рельсов на горизонтальный изгиб и скручивание. Обращается внимание на необходимость расчета параметров рельсов для обеспечения безопасности движения. Кратко описаны существующие методы их расчета. В качестве выводов – рекомендации относительно введения на украинских железных дорогах более точных методов для расчета рельсов на горизонтальный изгиб и скручивание.

This article reveals the methods of calculating the rails to horizontal bending and twisting. Attention is drawn to the need to calculate the parameters of the rails to ensure safety. Briefly describes the current methods of calculation. As conclusions - recommendations for input on the Ukrainian railways more accurate methods for calculating the rails to horizontal bending and twisting.

Ключові слова: боковий прогин, скручування рейок, момент інерції, реактивний опір, модуль пружності, згинальне кручення рейки.

Добре відомо, що за певних умов колеса локомотива чинять на рейки не тільки вертикальний, а і значний горизонтальний тиск, тому вивчення бокового прогину рейок за таких умов важливе для практики. Розрахунками, вивченням бокового прогину і скручування рейок займались в свій час відомі науковці – фахівці з опору матеріалів і теорії взаємодії рухомого складу і колії. Розглянемо результати досліджень проф. С. П. Тимошенка [1] і проф. О. П. Єршкова [2]. По-перше, розглянемо роботу рейки на дію тільки бокового навантаження.

Приймемо для початку позначення силових факторів і осей координат так, як це зроблено в роботі проф. С. П. Тимошенка [1]. Відповідно до досліджень проф. С. П. Тимошенка, якщо рейка з вільними кінцями піддається дії двох рівних і протилежно направлених крутних моментів M_T , то кут закручування можна визначити з відомого виразу:

$$\varphi = M_T l / C \quad (1)$$

в якому C – жорсткість рейки на скручування.

Якщо кінці рейки тримати закріпленими, а крутний момент $2M_T$ прикласти в середньому поперечному перерізі (рис. 1), то кручення рейки буде супроводжуватися прогином головки і підшви рейки.

© *Велінець В. П., 2012*

У довільному поперечному перерізі, розташованому на відстані x від середини рейки, крутний момент M_T буде передаватися частково в формі чистого кручення і частково в формі прогину головки і підшви рейки. Нехай M_1 і M_2 являють собою відповідно першу і другу складові, а через φ позначено кут закручування, показаний на рис. 2. Тоді отримаємо:

$$M_1 = -Cd\theta/dx \quad (2)$$

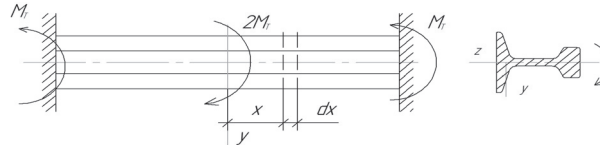


Рис. 1

Величина моменту M_2 визначається моментом пари сил:

$$M_2 = Qh, \quad (3)$$

де через Q позначена поперечна сила, що виникає при вигині головки і підшви рейки, h – відстань між центрами ваги перерізів головки і підшви. Якщо знехтувати вигином шийки, то згідно з дослідженнями проф. С. П. Тимошенка [1], положення центру скручування O буде визначатися відстанями, вираженими таким чином:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= h \cdot I_2 / (I_1 + I_2) \\ h_2 &= h \cdot I_1 / (I_1 + I_2) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де I_1 і I_2 позначають відповідно моменти інерції при скручуванні перерізів головки і підшви рейки.

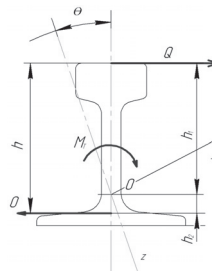


Рис. 2

Поперечну силу Q можна визначити з відомого виразу:

$$Q = EI_2 \cdot h_2 \frac{d^3\varphi}{dx^3} \quad (5)$$

який дає:

$$M_2 = Q \cdot h = Eh^2 \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} \cdot \frac{d^3\varphi}{dx^3} \quad (6)$$

Якщо ввести позначення $EI_1 I_2 / (I_1 + I_2) = D$, то диференціальне рівняння скручування матиме вигляд:

$$M_T = M_1 + M_2 = -C \frac{d\varphi}{dx} + Dh^2 \frac{d^3\varphi}{dx^3} \quad (7)$$

Рішення цього виразу для довгої рейки буде:

$$\frac{d\varphi}{dx} = -\frac{M_T}{C} (1 - e^{-yx}) \quad (8)$$

$$\text{де } y = \sqrt{C/Dh^2}.$$

Для перевірки виразу (7) проф. С. П. Тимошенка [1] були проведені експерименти по скручуванню рейок. Під час експерименту крутящий момент прикладений в поперечному перерізі і розташовується по середині. Кути кручення замірялись оптичним методом. Випробування дали результати, які добре узгоджувались з виразом (8). При цьому проведені випробування довели, що для рейки відома наближена формула Сен-Венана, $C = F^4 G / 40 I_p$ де F – площа поперечного перерізу; G -модуль зсуву; I_p – полярний момент інерції, дає дуже велике значення для C .

Можна зазначити, що із збільшенням відстані x від серединного поперечного перетину рейки другий член, який стоїть у правій частині виразу (8) в круглих дужках, зменшується, і цей вираз починає співпадати з залежністю (2), який відповідає чистому крученню. Згин головки і підшви рейки вносить при крученні рейки тільки локальний ефект. Результати проведених експериментів добре узгоджуються з виразом (8).

Тепер розглянемо спільний вигин і кручення рейки, викликані однією боковою силою H (рис. 3).

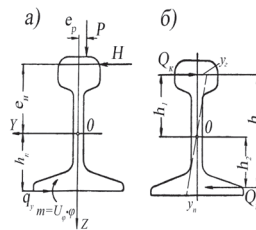


Рис. 3

Цю силу можна замінити силою H , прикладеною в центрі кручення O , і моментом He .

Якщо знову розглядати рейку як стержень, приєднаний до однорідної пружної основи, то при цьому вздовж підшви прогнutoї рейки будуть мати місце безперервно розподілені реактивні сили q і реактивні моменти m . Далі приймається, що, по-перше, кут кручення рейки з довільним поперечним перерізом пропорційний m і, по-друге, боковий прогин підшви рейки пропорційний q . На основі цих припущень маємо вираз:

$$m = K_1 \cdot \varphi; \quad (9)$$

$$q = K_2 (y - f \cdot \varphi) \quad (10)$$

де K_1 – модуль основи, відповідний крученню, або крутний момент на одиницю довжини рейки, необхідний для повороту рейки відносно поздовжньої осі на кут 1 рад ; K_2 – модуль основи, відповідний боковому прогину, або бокове навантаження на одиницю довжини, що необхідне для бокового прогину підшви рейки, рівного одиниці; y – боковий прогин центра кручення рейки.

Інші позначення показані на рис.1.

Розглядаючи окремий елемент рейки довжиною dx (див. рис. 1), можна отримати такі рівняння рівноваги при крученні:

$$\frac{dM_T}{dx} = qfdx - m dx. \quad (11)$$

Інтеграл цього рівняння дає:

$$M_T = \sum (q \cdot f - m). \quad (12)$$

Використовуючи вирази (9), (10) і (11), отримаємо такий вираз:

$$-C \frac{d^2 Q}{dx^2} + Dh^2 \frac{d^4 \varphi}{dx^4} = K_2 (y - f\varphi) f - K_1 \varphi. \quad (13)$$

При розгляданні бокового згину рейки можна записати відоме рівняння кривої прогинів рейки на пружній основі:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -q = -K_2 (y - f\varphi). \quad (14)$$

Ці два рівняння (13) та (14) повністю визначають боковий прогин і скручування рейки під дією сили H .

В перерізі, в якому прикладена сила H , повинні задовольнятися такі умови:

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{x=0} = 0; EI \left(\frac{d^3 y}{dx^3} \right)_{x=0} = \frac{1}{2} H; \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)_{x=0} = 0; -C \left(\frac{d\varphi}{dx} \right)_{x=0} + Dh^2 \left(\frac{d^3 \varphi}{dx^3} \right)_{x=0} = \frac{1}{2} Hf.$$

Величини констант інтегрування потрібно вибрати таким чином, щоб зробити вигин і кручення рівним нулю на нескінченності.

Можна відмітити, що вигин головки рейки має тільки місцевий характер, отже якщо декілька бокових сил, таких як бокові тиски, створювані колесами рухомого складу, діють на рейку, то максимальне напруження в головці рейки, викликане однією з цих сил, не буде істотно залежати від інших сил.

Як відзначалось раніше, в практичних інженерних розрахунках колії на міцність вплив горизонтальних поперечних сил враховується лише побічно, введенням спеціальних коефіцієнтів f , визначених емпірично на основі досліджень взаємодії колії і рухомого складу в різних умовах.

Однак, у ряді випадків виникає потреба вивчити безпосередній вплив на колію горизонтальних поперечних сил і крутного моменту. Наприклад, рішення задач такого типу, як визначення підголовочних напружень у рейках, визначення поперечної пружності колії, визначення необхідної горизонтальної і вертикальної жорсткості скріплень та ін. вимагають знання розрахункового апарату щодо впливу горизонтальних поперечних сил на рейки. Нижче наводяться основи рішення впливу на рейку горизонтальної поперечної сили і крутного моменту. (Докладне рішення вперше дане професором С.П.Тимошенко в 1926 – 1932 рр. [1], подальший розвиток цієї задачі було розроблено в роботах О.П.Єршкова [2], К.П.Корольова, С.А.Степкіна та ін.).

Розглянемо тепер роботу рейки під впливом горизонтальної поперечної сили H , діючої водночас із позacentровим прикладенням вертикального навантаження P (рис. 5).

Якщо вертикальна сила P прикладена з ексцентриситетом e (рис. 4, а), то її можна замінити центрально прикладеною силою P і моментом $P e$ (рис. 4, б).

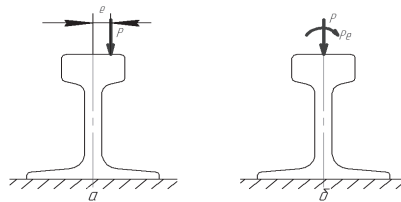


Рис. 4

Центрально прикладена сила викликає вертикальний вигин рейки, а момент викликає скручування рейки.

Задача на скручування рейки, укладеної на пружних опорах під впливом поперечної сили H і вертикального навантаження P з урахуванням сил тертя по підшві рейки на

опорах, вперше була вирішена в дослідженнях проф. О. П. Єршкова в 1950 р. [2]. Приведемо тут коротко основні положення досліджень [2].

На рис. 5 приведена розрахункова схема, де: e_n – ексцентриситет прикладення сили H відносно центру кручення рейки; e_p – ексцентриситет прикладення вертикальної сили P відносно вертикальної осі симетрії рейки.

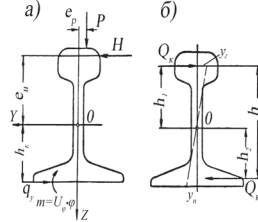


Рис. 5

Від одиночного колісного навантаження, що утворює сили H та P , які діють на рейки, в перетині під вантажем буде діяти крутний момент M_0 . Цей момент визначається за формулою:

$$M_0 = H \cdot e_n - P \cdot e_p \quad (15)$$

Крім того, що момент створює кручення рейки, вертикальна сила P створює згин в вертикальній площині, сила H – згин в горизонтальній площині.

Розглянемо тут згин у поперечній площині і дію крутного моменту. Диференціальне рівняння поперечного згину рейки в горизонтальній площині буде мати вигляд аналогічний вертикальному згину, тому що рейка розглядається як балка на пружній основі.

$$\frac{M_{згин}^{гор}}{EI_y} = \frac{1}{\rho} = -\frac{d^2 y}{dx^2} \quad (16)$$

Звідси згинаючий момент від дії бокової сили H визначиться з рівняння:

$$M_{згин}^{гор} = -EI_y \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (17)$$

Значення реактивного опору рейки по підшві в поперечному напрямку при дії лише горизонтальної сили можна визначити по формулі:

$$q_y = U_y (y - h_n \varphi) \quad (18)$$

де U_y – модуль пружності в горизонтальній площині для рейкової нитки не завантаженою вертикальною силою; y – бокове зміщення центру кручення рейки; φ – кут закручування; h_n – відстань від підшви до центру кручення.

З урахуванням впливу вертикальної сили і тертя, при якому вертикальний опір основи $q_z = U_z \cdot Z$ буде перешкоджати переміщенню рейки по підшві, значення реактивного опору рейки в поперечному напрямку слід знаходити з уточненої формули проф. О. П. Єршкова:

$$q_y = U_y (y - h_n \varphi) \pm U_z \cdot Z \cdot f \quad (19)$$

де Z – прогин рейки під дією вертикальної сили; f – коефіцієнт тертя ковзання.

Для подальших розрахунків зручно в правій частині виразу (19) для реактивного опору q_y згрупувати окремо складові, стосовно до протидії горизонтальної сили, і окремо, стосовно до протидії крутного моменту, тобто:

$$q_y = y \left(U_y \pm f U_z \frac{Z}{y} \right) - U_y \cdot h_n \cdot \varphi \quad (20)$$

Вираз в дужках являє собою модуль пружності рейкової нитки в горизонтальній площині з урахуванням дії вертикального навантаження:

$$U_y^T = U_y \pm f U_z \frac{Z}{y} \quad (21)$$

Тоді можна записати вираз для реактивного опору в іншому вигляді:

$$q_y = U_y^T \cdot y - U_y \cdot h_n \cdot \varphi \quad (22)$$

Використовуючи раніше прийняте в практичних розрахунках колії на міцність співвідношення між рівномірно розподіленим вертикальним навантаженням, прикладеним до балки на пружній основі, і осадкою, яка нею викликається, і розглядаючи рейку при згині в горизонтальній площині, як таку саму балку на пружній основі при розрахунку на вертикальне навантаження, для нашого випадку можемо записати:

$$q_y = -EI_y \frac{d^4 y}{dx^4} \quad (23)$$

Тепер, прирівнявши рівняння (22) до рівняння (23), отримаємо в остаточному вигляді диференціальне рівняння бокового згину від дії бокової сили H з урахуванням впливу вертикального навантаження P .

$$EI_y \frac{d^4 y}{dx^4} + U_y^T \cdot y - U_y \cdot h_n \cdot \varphi = 0 \quad (24)$$

За дослідженнями проф. О. П. Єршкова [2] з достатньою для практичних розрахунків точністю можна брати значення U_y^T рівним:

$$U_y^T = \frac{U_y}{1 - 0,9f \frac{P}{H}} \quad (25)$$

При $f=0,15$ буде:

$$U_y^T = \frac{U_y}{1 - 0,135 \frac{P}{H}} \quad (26)$$

Диференціальне рівняння (24) має два невідомі y і φ і його недостатньо для їх визначення. Тому розглянемо інші види деформації рейки при прикладених спільно силах P і H . Від означеного спільного впливу на рейку вертикальної і бокової сил, окрім розглянутих, згину в вертикальній і горизонтальній площинах, створюється стисле або згинальне кручення рейки. При цьому характер деформації поперечних перетинів відрізняється від чистого кручення. При чистому крученні поперечний перетин під вантажем залишається плоским.

Призначимо початок координат в точці O (в центрі кручення рейки), вісь X направимо (як і раніше при практичних розрахунках колії на міцність) вздовж рейки, вісь z – вниз, вісь y – ліворуч (див. рис. 5, а).

Позначимо крутний момент у будь-якому перетині через M_k . Частина його M_1 – викликає чисте кручення, а інша M_2 – викликає згин головки й підшви відносно шийки:

$$M_k = M_1 + M_2 \quad (27)$$

З теорії кручення [3] відомо, що:

$$M_1 = -C \cdot \frac{d\varphi}{dx}, \quad (28)$$

де φ – поточний кут закручування; C – жорсткість рейки при крученні.

Момент M_2 може бути виражений у вигляді моменту пари сил (див. рис. 5, б):

$$M_2 = Qh, \quad (29)$$

де Q – поперечна сила, що виникає внаслідок згину головки і підшви рейки відносно шийки; h – відстань між центрами тяжіння поперечних перетинів головки і підшви.

Нехтуючи згином шийки рейки, положення центру кручення O , згідно з [1], можна визначити величинами його відстаней від центрів тяжіння головки і підшви:

$$h_1 = \frac{h \cdot I_{II}}{I_I + I_{II}}; \quad h_2 = \frac{h \cdot I_I}{I_I + I_{II}} \quad (30)$$

Тут I_{II}, I_I – моменти інерції при крученні відповідно підшви і головки.

Поперечна сила Q , згідно з [3], визначається з виразу:

$$Q = EI_{\Gamma} \frac{d^3 y_{\Gamma}}{dx^3} \text{ або } Q = EI_{\Pi} \frac{d^3 y_{\Pi}}{dx^3} \quad (31)$$

З урахуванням того, що величину горизонтального переміщення центрів тяжіння головки і підшви можна виразити через кут закручування:

$$y_{\Gamma} = h_1 \cdot \varphi \quad y_{\Pi} = h_2 \cdot \varphi. \quad (32)$$

Вираз для поперечної сили (31) можна переписати у вигляді:

$$Q = EI_{\Gamma} \cdot h_1 \cdot \frac{d^3 \varphi}{dx^3} = EI_{\Pi} \frac{d^3 \varphi}{dx^3} \cdot h_2. \quad (33)$$

Тепер, підставляючи значення поперечної сили (33) в вираз для M_2 (29), отримаємо:

$$M_2 = Q \cdot h = Eh^2 \frac{I_{\Gamma} \cdot I_{\Pi}}{I_{\Gamma} + I_{\Pi}} \cdot \frac{d^3 \varphi}{dx^3} \quad (34)$$

Позначивши, згідно з [1], як жорсткість при згинальному крученні рейки вираз:

$$D = E \frac{I_{\Gamma} \cdot I_{\Pi}}{I_{\Gamma} + I_{\Pi}}, \quad (35)$$

отримаємо остаточний вигляд диференційного рівняння кручення рейки:

$$M_k = -C \frac{d\varphi}{dx} + Dh^2 \cdot \frac{d^3 \varphi}{dx^3}. \quad (36)$$

Одиничний реактивний момент, діючий на одиницю довжини балки від одиничного кута закручування $\varphi=1$ через U_{φ} , тоді значення розподіленого реактивного моменту буде:

$$m = U_{\varphi} \cdot \varphi. \quad (37)$$

На ділянці балки, де немає впливу зосереджених сил і крутних моментів приріст сумарного крутного моменту M_k буде складатися як результат дії сил реактивного опору по підшві рейки і розподіленого реактивного моменту:

$$\frac{dM_k}{dx} = q_y \cdot h_n - m. \quad (38)$$

Тепер підставляючи сюди вирази (22) для q_y і (37) для m , отримаємо:

$$\frac{dM_k}{dx} = U_y^T \cdot h_n \cdot y - (U_{\varphi} + U_y h_n^2) \cdot \varphi \quad (39)$$

Узявши похідну по x від моменту M_k , що відображається рівнянням (36) і прирівнявши її до виразу (39), проф. О. П. Єршковим отримано в остаточному вигляді диференційне рівняння кручення рейки з урахуванням сил реактивного опору:

$$Dh^2 \frac{d^4 \varphi}{dx^4} - C \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + (U_{\varphi} + U_y h_n^2) \cdot \varphi - U_y^T \cdot h_n \cdot y = 0 \quad (40)$$

Таким чином, в результаті проф. О. П. Єршковим [2] отримано систему двох рівнянь (24) і (40), що у повному вигляді описує деформацію бокового згину і кручення рейки під впливом бокової сили H з урахуванням одночасної дії вертикального навантаження P_r . При цьому робота рейки в горизонтальній площині розглядається як балка на пружній основі, і в розрахунку враховані: реактивний опір рейки при крученні, реактивний опір при боковому згині і сили тертя по підшві рейки.

$$\left. \begin{aligned} EI_y \frac{d^4 y}{dx^4} + U_y^T \cdot y - U_y \cdot h_n \cdot \varphi &= 0 \\ Dh^2 \frac{d^4 \varphi}{dx^4} - C \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + (U_{\varphi} + U_y h_n^2) \cdot \varphi - U_y^T \cdot h_n \cdot y &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

Із спільного рішення системи рівнянь (1.50), що виконується звичайними методами, визначаються обидва невідомі φ і y (згідно з методикою, що докладно описана в [4]).

Залежність кута закручування рейки від діючого крутного моменту визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{M_0}{2D \cdot h^2 (\lambda_2^2 - \lambda_1^2)} \cdot \left(\frac{\exp(-\lambda_1 x)}{\lambda_1} - \frac{\exp(-\lambda_2 x)}{\lambda_2} \right) \quad (42)$$

де λ_1, λ_2 – постійні інтегрування;

$$\lambda_{1,2} = \sqrt{\frac{c \pm \sqrt{c^2 + 4D \cdot h^2 \cdot U_\varphi}}{2D \cdot h^2}}, \text{ що знаходяться з таких граничних умов:}$$

1) при $x=0$ буде $\frac{d\varphi}{dx} = 0$; $\varphi_0 = \frac{M_0}{C_\varphi}$; де $k_{y0} = \sqrt[4]{\frac{U_y^T}{4 \cdot EI_z}}$;

U_y^T – визначається за формулою (26)

Після інтегрувань рівнянь (41) і визначення невідомих у і φ можна визначити значення M_K і $M_{згин}^{cop}$.

Висновки. Проаналізувавши деякі методи розрахунку рейок на горизонтальний згин та скручування, можна зробити такі висновки: на даний момент на українських залізницях проведенню розрахунків даних параметрів рейок приділяється недостатня увага. В зв'язку із введенням на українських залізницях швидкісного руху потрібно більш відповідально ставитися до параметрів, що впливають на безпеку руху.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Тимошенко С. П. Напряжения в железнодорожном рельсе. / В кн. «Статистические и динамические проблемы теории упругости». – К.: Наукова думка, 1975 – С. 318–355.
2. Ериков О. П. Характеристики пространственной упругости рельсовой нити/ Труды ВНИИЖТ, 1960. – 192 с.
3. Соппротивление материалов: Учебник для вузов / Под. общ. ред. акад. АН УССР Г. С. Писаренко. – 4-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа. Головное издат-во, 1979. – 696 с.
4. Даніленко Е. І. Залізнична колія./Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом: підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). К.: Інпрес, 2010.

*Дмитрий Дмитриев
Николай Валигура*

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ: 242, 292 и KEs

Представлены основные результаты испытаний, проведенных по единой методике и в одинаковых условиях для трех разнотипных конструкций воздухораспределителей железнодорожного пневмотормоза. При этом воздухораспределитель 242 исследован впервые в Украине. Статья адресована, в первую очередь, специалистам в области ж.-д. тормозостроения, а также всем, причастным к эксплуатации пассажирских ж.-д. автотормозов.

Подано основні результати випробувань, які було проведено за єдиною методикою та в однакових умовах щодо трьох різнотипних конструкцій повітророзподільників залізничного пневмогальма. При цьому повітророзподільник 242 було досліджено вперше в Україні. Стаття адресована, в першу чергу, фахівцям у галузі залізничного гальмобудування, а також усім, хто причетний до експлуатації пасажирських залізничних автогальм.

The main results of the tests based on common methodology and in equal terms are presented, for three different types of air-distributors of railway air-brakes. An air-distributor apparatus type 242 was investigated first in Ukraine. The article is addressed, foremost, to the builders of railway brakes, and also all, who participates in exploitation of passenger railway automatic brakes.

Ключевые слова: железнодорожные тормоза, воздухораспределитель, испытательный стенд, технические измерения.

Постановка проблемы

В связи с разработкой ОАО «МТЗ-Трансмаш» (Российская Федерация) воздухораспределителя (ВР) номер 242 пассажирского типа прекращен выпуск ВР прежней конструкции – номер 292. Таким образом, до момента переоборудования ВР новой конструкции всего пассажирского подвижного состава железных дорог бывшего СССР (что, вероятно, займет несколько десятилетий) в эксплуатации в составе пассажирских поездов одновременно будут находиться и приборы 292, и приборы 242, а в поездах международного сообщения – еще и приборы системы KEs (Knorr Bremse, Германия). На ж. д. бывшего СССР накоплен опыт эксплуатации приборов «клапанно-золотниковой» конструкции (типична для ВР пассажирского и грузового типа разработки МТЗ более полувека тому назад) и «клапанно-диафрагменной» конструкции (характерна для ВР всех типов разработки МТЗ последней четверти XX века, а также – системы KEs). ВР номер 242 относится к конструкциям «клапанно-поршневого» типа. Указанные обстоятельства диктуют необходимость исследований совместной эксплуатации названных тормозных приборов, тем более, что свойства ВР новой конструкции до сих пор мало изучены.

© Дмитриев Д. В., Валигура Н. А., 2012

Анализ публикаций о ВР 242

Из материалов «МТЗ-Трансмаш» известно, что опытная эксплуатация нескольких десятков ВР 242 на сети РЖД началась в 2005 г. Вместе с тем, поиск публикаций о результатах испытаний ВР 242 как в профессиональных журналах, так и в соответствующих сборниках научных трудов за период 2005-2012 годов практически ничего не дал. Были найдены лишь: описание принципа действия ВР 242 в учебном пособии [1]; статья описательного характера [2] и изложение руководства по эксплуатации этого прибора [3].

Цель статьи

Данная статья открывает серию публикаций, посвященных авторским научным исследованиям свойств ВР 242, и имеет своей целью донести до заинтересованных практиков и научной общественности основные результаты, полученные в ходе выполнения стендовых испытаний приборов 242, 292 и КЕс.

Общий порядок испытаний и аппаратура

Испытания выполнены в лаборатории тормозов ГЭТУТ с одинаковыми условиями их проведения для всех исследованных ВР на авторских стендах [4]. В качестве объектов испытаний были приняты: ВР 292 1985 года выпуска (объект № 1); три ВР 242 2011 г. в. (объекты № 2-4) и ВР системы КЕс 1984 г. в. укомплектованный главной частью КЕ0с, реле давления Du2,1/1,7, ускорителем экстренного торможения ЕВЗ и питательным клапаном RF-2 (объект № 5).

Общий ход одного цикла испытаний был таким: полная зарядка тормоза, первая ступень торможения, отпуск, полное служебное торможение, отпуск, экстренное торможение с полной разрядкой тормозной магистрали. Указанные циклы исследованы для двух величин зарядных давлений: 5,4 атм (случай расположения ВР на головном вагоне состава) и 4,8 атм (случай расположения ВР на хвостовом вагоне состава сдвоенного поезда). В опытах с зарядным давлением 5,4 атм ВР разработки МТЗ включались на режим «короткосоставный поезд» («К»), а при 4,8 атм – на режим «длинносоставный поезд» («Д»). ВР системы КЕс в ходе данных испытаний исследовался при зарядном давлении 5,0 атм на режиме «пассажирский». Выходы штоков тормозных цилиндров (ТЦ) на стендах были ограничены контрфорсами и составляли: 160 мм – при испытаниях ВР разработки МТЗ и соответствовали 115 мм для обоих ТЦ диаметром 18 дюймов – при испытаниях ВР системы КЕс (фактически использовался один ТЦ стенда, который был дополнен глухим резервуаром так, чтобы общий их объем составлял 38 л).

Управление каждым задействованным в испытаниях стендом осуществлялось по показаниям образцового манометра класса точности 0,4, устанавливаемого на трубопроводе уравнительного резервуара поездного крана машиниста. Для параллельного измерения и регистрации осциллограмм изменения давлений сжатого воздуха во всех рабочих объемах стендов использовалась портативная 8-канальная аналого-цифровая аппаратура, обладающая разрешающей способностью: для давления – 0,01 атм, для времени 0,1 – мс.

Зарядка тормоза

При зарядном давлении 5,4 атм зарядка ЗР с помощью ВР 292 завершается за 160 с достигая давления 5,28 атм, а с помощью ВР 242, в среднем, – за 170 с и давлением 5,37 атм. То же при зарядном давлении 4,8 атм происходит до достижения практически одинакового давления в ЗР равного 4,65 атм у обоих типов ВР разработки МТЗ за время: для ВР 292 – 157 с; для ВР 242 – 163 с. Таким образом, очевидно, что ВР 242, в отличие от ВР 292, не обладает свойством выравнивания скорости зарядки тормоза по длине состава поезда. Кроме того, ВР 292 несколько лучше «выравнивает» величину зарядного давления в ЗР по длине состава поезда, чем ВР 242.

В ряде опытов по зарядке ЗР под управлением ВР 242 в момент начала подачи сжатого воздуха внутри этого ВР кратковременно возникал достаточно громкий прерывистый звук, напоминающий храп лошади. Указанной особенностью обладали два из трех объектов испытаний. При этом данные объекты испытаний по отношению к третьему одно-

типному отличались в ходе испытаний экстремальными свойствами: один всегда срабатывал быстрее остальных, а другой – медленнее. Слесари-автоматчики вагонных депо ошибочно расценивают этот звук как признак имеющейся неисправности ВР 242. Вероятной причиной возникновения данного звука является конструкция магистрального поршня. В отличие от ВР 292, у которых магистральный поршень представлял собой отдельную деталь, у ВР 242 магистральный поршень соединен со своим хвостовиком пружиной. В результате у ВР 242 возникает механическая колебательная система в виде подпружиненного груза, собственные колебания которой возбуждает импульсное воздействие от подаваемого в прибор сжатого воздуха. Названная пружина (деталь 170.02.17) имеет паспортную жесткость 150 кГ/м. Главный поршень (деталь 242.032), с установленными на нем манжетой (деталь 292М.202) и кольцом (деталь 292М.205), весит 0,361 кг. Значит квадрат круговой частоты собственных колебаний указанного поршня на упомянутой пружине составит $150 \times 9,81 / 0,361 = 4076 \text{ с}^{-2}$, что соответствует линейной частоте около 10 Гц. Люди не воспринимают слухом столь низкую частоту, поэтому слышен не гул, а дребезг. Продолжительность зарядки пневмотормоза под управлением ВР системы КЕs существенно дольше, чем – ВР разработки МТЗ. Длительность полной зарядки типового запасного резервуара (ЗР) объемом 78 л для ВР 242 и 292 составляла до 3-х минут, а для ВР системы КЕs, имеющего основной ЗР объемом 150 л и дополнительный ЗР объемом 250 л, – до 15-ти минут при зарядном давлении 5,0 атм. Таким образом, при одновременном нахождении в составе одного поезда всех исследованных типов ВР прибор системы КЕs является лимитирующим и увеличивает в эксплуатации требуемое время на зарядку автотормоза перед отправлением поезда.

Подзарядка тормоза

При отпуске после выполнения ступени торможения, а также после выполнения полного служебного торможения (ПСТ) ВР 292 во всех выполненных опытах отличался ускоренным восстановлением зарядного давления в ЗР, по сравнению с ВР 242. Большее быстроедействие подзарядки ЗР под управлением ВР 292, чем под управлением ВР 242, характерно для обоих режимов включения этих ВР – и «К», и «Д». При этом полную способность к следующему торможению исследованный экземпляр ВР 292 восстанавливал быстрее, чем все исследованные экземпляры ВР 242 в среднем: на 5 с – после ступени торможения и на 10 с – после ПСТ.

Время восстановления зарядного давления в ЗР для исследованного экземпляра ВР системы КЕs после ступени торможения соответствовало аналогичному времени для ВР 292, а после ПСТ – времени, полученному для ВР 242. Таким образом, ВР системы КЕs по описываемому свойству значительно более близок к ВР разработки МТЗ.

Первая ступень торможения

В ходе испытаний ВР 242 был выявлен один прибор из трех, отличающийся заметно худшими свойствами при первой ступени торможения, чем исследованный экземпляр ВР 292. Так при ступени торможения 0,5 атм давление в тормозном цилиндре (ТЦ) под управлением ВР 292 составляло около 1,5 атм, причем наполнение ТЦ до давления 0,5 атм происходило на режиме «К» в среднем за 2,25 с, а на режиме «Д» – за 2,75 с. В тех же условиях худший экземпляр ВР 242 показывал результаты: давление в ТЦ 1,1 атм, при наполнении ТЦ до 0,5 атм за 3,1 с на режиме включения «К» и за 5,1 с на режиме «Д». Лучший из исследованных экземпляров ВР 242 также проигрывал по данному свойству ВР 292, показывая в тех же условиях результаты в среднем: на режиме «К» – наибольшее давление в ТЦ 1,4 атм при времени наполнения до 0,5 атм за 2,5 с, а на режиме «Д» – наибольшее давление в ТЦ 1,2 атм при времени наполнения до 0,5 атм за 5 с.

ВР системы КЕs отличался наивысшим быстроедействием и давал наполнение ТЦ до 0,5 атм строго за 1 с. Вместе с тем, поскольку первая ступень торможения предназначена в основном для приведения тормоза в действие, без существенного тормозного эффекта, то уровень продольных ускорений в поезде, имеющем в своем составе одновременно все рассматриваемые ВР, не следует ожидать заметно влияющим на комфорт пассажиров даже при выявленной двух-трех кратной разнице в быстроедействии ВР системы КЕs и ВР

разработки МТЗ. На рис. 1 показаны характерные опытные осциллограммы рассматриваемого процесса. Здесь приборы разработки МТЗ исследовались на режиме «К», а ВР системы КЕs – на режиме «П». Степень торможения составляла 0,5 атм.

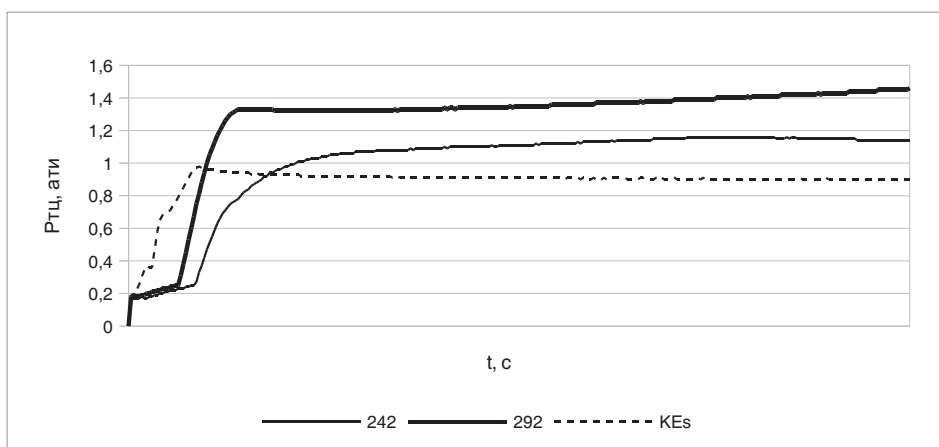


Рис.1. Осциллограммы (длительностью 30 с) давления в ТЦ при первой ступени торможения

Из рис. 1 видно, что в равных условиях исследованный экземпляр ВР 242 повысил давление в ТЦ на величину примерно на 20 % меньшую, чем – ВР 292. При этом и ВР 292, и ВР 242 очень близки по своим свойствам в отношении дополнительной разрядки ТМ в начальный момент торможения. В то же время, на приведенной осциллограмме видно образование пневморезервуара на пути сжатого воздуха внутри ВР 242 при наполнении ТЦ. На начальном участке осциллограммы для ВР системы КЕs хорошо заметно характерное действие клапана дополнительной разрядки (до давления в ТЦ 0,37 атм) и – клапана скачка (в области давления 0,7 атм). Таким образом, исследованные ВР обладают существенными отличиями действия при регулировочном торможении.

Отпуск после первой ступени торможения

Время снижения давления в ТЦ с 0,5 до 0,05 атм после ступени торможения составило для ВР 242 (292) в среднем: на режиме «К» – 17,57 (21,87) с; на режиме «Д» – 17,45 (37,85) с. Время отпуска ВР 242 после первой ступени торможения практически не зависит ни от зарядного давления в тормозной магистрали, ни от режима включения ВР и заметно меньше времени отпуска ВР 292.

В аналогичных условиях исследованный экземпляр ВР системы КЕs также отличался наивысшим быстродействием и давал стабильное время отпуска около 10,8 с. Как и в случае первой ступени торможения, не смотря на существенно большее быстродействие ВР системы КЕs, при рассмотренном режиме отпуска не следует ожидать значительных продольных реакций в поезде, имеющем в своем составе все исследуемые типы ВР одновременно.

Полное служебное торможение в один прием

При ПСТ под управлением ВР 292 (242) было зарегистрировано наполнение ТЦ до давления 3,5 атм в среднем за: 6,77 (7,46) с – на режиме «К» и 12,73 (19,89) с – на режиме «Д».

При ПСТ под управлением ВР системы КЕs максимальное давление в ТЦ устанавливалось в среднем за 7,6 с, что очень близко к аналогичному параметру, полученному для ВР 242 на режиме «К». При необходимости, степень влияния разного быстродействия ВР разработки МТЗ при режиме включения «Д» и ВР системы КЕs на уровень продольных ускорений поезда должна исследоваться в ходе натурных испытаний.

Отпуск после полного служебного торможения

Время снижения давления в ТЦ с 3,5 до 0,05 атм после ПСТ составило для ВР 242 (292) в среднем: на режиме «К» – 29,18 (33,49) с; на режиме «Д» – 37,89 (59,43) с. Таким

образом, ВР новой конструкции разработки МТЗ обладает весьма ценным свойством облегченного отпуска в сравнении с ВР прежней конструкции. Однако, для ВР разработки МТЗ зарегистрированное время отпуска превышает нормативное время отпуска после экстренного торможения, установленного в украинской Инструкции по ремонту тормозного оборудования вагонов (ЦВ-ЦЛ-0013).

Исследованный экземпляр ВР системы КЕс и в рассматриваемом виде испытаний отличался наивысшим быстродействием, показав среднее время отпуска 23,02 с. Таким образом, наименьшие продольные усилия после ПСТ будут иметь место в поезде, вагоны которого оборудованы ВР 242 и системы КЕс. Конкретный уровень этих ускорений может быть установлен в ходе натурных испытаний поезда.

В качестве конкретного примера на рис. 2 показаны опытные осциллограммы рассматриваемого процесса. Здесь данные для ВР разработки МТЗ были получены при зарядном давлении 4,8 атм и режиме включения «Д», а для ВР системы КЕс – при зарядном давлении 5,0 атм и режиме включения «П».

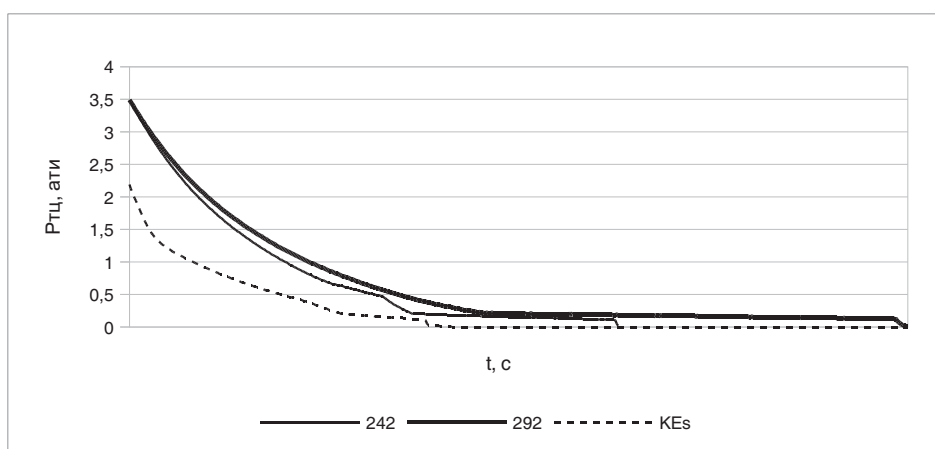


Рис.2. Осциллограммы (длительностью 60 с) давления в ТЦ при отпуске после ПСТ

В опытах, проиллюстрированных осциллограммами рис. 2, полный отпуск тормоза (до остаточного давления в ТЦ 0,05 атм) исследованные экземпляры ВР выполнили за: 242 – 37,8 с; 292 – 59,6 с и системы КЕс – 23,0 с. По рис. 2 видно, что ВР 242 обладает заметно лучшей способностью к отпуску тормоза по сравнению с ВР 292.

Экстренное торможение

Время наполнения ТЦ до давления 3,5 атм при ЭТ для ВР 242 и ВР 292 отличалось незначительно и составляло в среднем соответственно: на режиме «К» – 6,63 и 6,81 с; на режиме «Д» – 20,98 и 19,93 с. Таким образом, исследованные экземпляры ВР разработки МТЗ и новой, и прежней конструкции в части ЭТ обладают практически одинаковым быстродействием. При этом на режиме «Д» они показали быстродействие ниже регламентированного в Инструкции ЦВ-ЦЛ-0013.

При выполнении ЭТ для ВР системы КЕс было получено среднее время наполнения ТЦ до максимального давления за 4,95 с.

Некоторые особенности конструкции ВР 242

Новая разработка МТЗ – ВР 242 состоит из 60-ти деталей (не считая крепежных шпилек в комплекте с гайками и шайбами). ВР 292 состоит из 40 деталей. Таким образом, полная разборка-сборка ВР 242 займет больше времени, чем ВР 292. По сравнению с ВР 292 у ВР 242 конструкция имеет модульный тип, который изобилует болтовыми соединениями, делающими ее уязвимой к вмешательству. Например, у ВР 242 узел переключателя режимов удерживается двумя гайками; ускоритель экстренного торможения – двумя

болтами; крышка магистральной камеры – тремя болтами. Все три перечисленные элемента конструкции могут быть демонтированы без повреждения заводских пломб.

Как потенциальная проблема для назначенного срока эксплуатации 20 лет видится наличие у ВР 242 двух оцинкованных пружин (деталь 242.005), установленных в полостях прибора, постоянно связанных с атмосферой. Эти пружины желательнее было изготовить из материала стойкого к коррозии.

Выводы

1. Наблюдаемые значения параметров рабочих процессов ВР 242 характеризовались изменчивостью для разных объектов испытаний. Разброс опытных данных для величин давления в ТЦ стенда доходил до 15 %. Возможно это связано с малой степенью приработки внутренних деталей исследуемых образцов ВР 242 из-за малого срока их эксплуатации. Важно подчеркнуть, что на всех регулировочных заглушках всех трех опытных ВР 242 были пломбы завода-изготовителя.

2. ВР 242, в отличие от ВР 292, не выполняют «выравнивание» времени зарядки тормоза для головных и хвостовых вагонов состава поезда.

3. У приборов разработки МТЗ восстановление зарядного давления в ЗР после регулировочного и полного служебного торможений происходит, соответственно, быстрее на 5...10 с для прежней конструкции (ВР 292), чем для новой (ВР 242). Эта особенность важна поскольку ВР разработки МТЗ применяются в автотормозе непрямодействующего типа.

4. При первой ступени торможения получены экспериментальные данные, которые свидетельствуют о меньшей эффективности автотормоза вагона, оборудованного ВР 242, по сравнению с ВР 292, что зависит от конкретного экземпляра воздухораспределителя.

5. Быстродействие при полном служебном торможении в один прием практически одинаковое у всех исследованных разновидностей ВР при эксплуатации в режиме короткосоставного поезда. На режиме включения «Д» все исследованные экземпляры ВР 242 примерно в полтора раза проигрывали ВР 292 по времени наполнения ТЦ.

6. Длительность рабочих процессов при экстренном торможении отличается для всех подвергнутых испытаниям приборов незначительно.

7. ВР 242 обладают важным свойством облегченного отпуска. Это позволяет ожидать сокращения в эксплуатации дефектов колесных пар, возникающих из-за неотпуска тормоза, что характерно для вагонов, оборудованных ВР 292.

8. Все исследованные ВР разработки МТЗ (и прежней, и новой конструкции) уступают по быстродействию исследованному экземпляру ВР системы КЕс во всех рабочих процессах за исключением зарядки тормоза. При этом полученное в опытах отличие времени зарядки тормоза хорошо коррелируется с объемами ЗР: около 3-х минут для ВР разработки МТЗ при ЗР 78 л и около 15 минут для ВР системы КЕс при суммарном объеме ЗР 400 л.

9. Совместная эксплуатация трех разновидностей исследованных приборов в составе одного поезда возможна на условиях такой эксплуатации вагонов, оборудованных ВР 292 и ВР системы КЕс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет и проектирование пневматической и механической частей тормозов вагонов : [учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта] / [Анисимов П. С., Юдин В. А., Шамаков А. Н., Коржин С. Н.] ; под ред. П. С. Анисимова. – М.: Маршрут, 2005. – С. 71–76.

2. Козюлин Л. В. Новый пассажирский воздухораспределитель № 242 / Л.В.Козюлин // Локомотив. – 2007. – № 2. – С. 22, 23.

3. Шевченко К. В. Инновации в тормозостроении: воздухораспределитель № 242 / К.В.Шевченко, В.Г.Равлюк // Вагонный парк. – 2010. – № 10. – С. 52–54.

4. Дмитрієв Д. В. Комплект стендів для досліджень залізничних гальмових приладів та систем за допомогою портативної апаратури «АСТК» / Д.В.Дмитрієв, М. Я. Валігура // Зб. наук. праць ДЕГУТ, серія «Транспортні системи і технології». Вип. 16. – 2010. – С. 61–68.

*Анатолий Донченко
Дмитрий Федосов-Никонов
Олег Орлов
Михаил Соляник*

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТЕРА ПО КРИТЕРИЮ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ

Изложены результаты анализа расчетных и экспериментальных данных напряженно-деформированного состояния конструкции транспортера, сделаны выводы о сходимости результатов теоретических и эмпирических исследований.

Викладено результати аналізу розрахункових і експериментальних даних напружено-деформованого стану конструкції транспортера, зроблені висновки щодо збіжності результатів теоретичних та емпіричних досліджень.

Analysis results of experimental and design values for stressed-deformed structure condition of the transporter are presented; conclusions concerning results convergence of theoretical and empiric research were made.

Актуальность темы. Прочность и надежность конструкции является одним из основных факторов безопасной эксплуатации единиц подвижного состава железных дорог. Особую актуальность вопросы прочности приобретают для вагонов, перевозящих опасные и особо опасные грузы. К таким вагонам относится транспортер ТП 6-1, предназначенный для внутриобъектовых перевозок упаковочных комплектов хранения на атомных электростанциях (АЭС).

К основным факторам, влияющим на прочность конструкции, относятся условия эксплуатации и режимы работы. Наиболее полная и достоверная информация о прочности конструкции может быть получена по результатам экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния конструкции вагона, в ходе проведения которых определяется фактическая прочность элементов конструкции вагона в реальных условиях эксплуатации.

Целью исследований является оценка прочности конструкции транспортера ТП 6-1, предназначенного для внутриобъектовых перевозок в вертикальном положении упаковочных комплектов хранения на АЭС.

Цель статьи. Показать результаты сравнительного анализа теоретических и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния конструкции транспортера ТП 6-1. Сделать выводы о сходимости данных теоретических и экспериментальных исследований.

Изложение основного материала. Областью применения транспортера являются:

- подъездные пути и пути железных дорог территории АЭС;
- помещения транспортных коридоров энергоблоков АЭС при размещении, погрузке-выгрузке УКХ с использованием грузоподъемного кранового оборудования.

© Донченко А.В., Федосов-Никонов Д.В., Орлов О.В., Соляник М.И., 2012

Транспортер ТП 6-1 представляет собой восьмиосное транспортное средство, состоящее из ходовой части, несущей балки, упорных балок, тормозного оборудования, специального оборудования, поручней, подножек, площадок для обслуживания, настилов и ограждений.

Ходовая часть представляет собой два четырехосных экипажа в которых на двух концевых балках смонтированы: автосцепное устройство, стояночный тормоз, автотормозное оборудование, поручни и подножки.

Концевая балка представляет собой сварную металлоконструкцию, объединяющую две двухосных тележки модели 18-100 в четырехосный экипаж, т.е. является связующим звеном между несущей балкой и тележками.

Несущая балка объединяет два четырехосных экипажа и представляет собой сварную металлоконструкцию, состоящую из четырех продольных хребтовых балок, имеющих форму кривого бруса, связанных между собой поперечными диафрагмами, ребрами и настилами.

В средней части несущей балки установлен стакан с основанием, в который загружается упаковочный комплект хранения на АЭС.

Основные технические характеристики транспортера ТП 6-1 приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Основные технические характеристики транспортера ТП 6-1

Наименование характеристики	Значение показателей согласно конструкторской документации
1	2
Грузоподъемность, т, не более	105
Масса тары (материалоемкость), т, не более	63
Максимальная расчетная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, кН (тс), не более	205,9 (21,0)
База транспортера, мм	11000±8
Длина транспортера по осям сцепления автосцепок, мм	20070±35
Конструкционная скорость, км/ч, не более:	
- при транспортировании порожнего транспортера по магистральным путям;	90
- при эксплуатации транспортера в порожнем и груженом состояниях по внутриобъектовым путям	5
Максимальная погонная нагрузка, кН/м (т/м), не более	85,3 (8,7)
Количество осей, шт.	8

Предварительная оценка напряженно-деформированного состояния конструкции была выполнена в соответствии с требованиями «Норм для расчета и проектирования новых и модернизируемых железнодорожных транспортеров общего назначения колеи 1520 мм. – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1988. – 136 с.» с использованием вычислительного комплекса, реализующего метод конечных элементов.

Опыт эксплуатации железнодорожных транспортеров показывает, что их срок службы до списания ограничивается долговечностью основных несущих элементов – несущей и концевых балок.

При оценке прочности рассматривались два варианта:

- при следовании порожнего транспортера к месту эксплуатации по магистральным путям (в последней четверти состава поезда);
- при эксплуатации груженого транспортера на внутриобъектовых путях.

Оценка прочностных характеристик транспортера ТП 6-1 по критерию сопротивления усталости производилась по формуле:

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

где $\sigma_{a,N}$ – предел выносливости (по амплитуде) натурной детали при установившемся режиме нагружения на базе испытаний N_0 циклов. Для корпусных несущих деталей вагонов база испытаний принимается равной $N_0 = 10^7$ циклов;

$\sigma_{a,\varepsilon}$ – расчетная величина амплитуды динамического напряжения условного симметричного цикла, приведенная к базе N_0 , эквивалентная по повреждающему действию реальному режиму эксплуатационных случайных напряжений за проектный срок службы детали;

$[n]$ – допускаемый коэффициент запаса сопротивления усталости, $[n] = 1,8$.

Результаты проверки несущей балки на сопротивление усталости приведены на рис. 1 и в табл. 1.

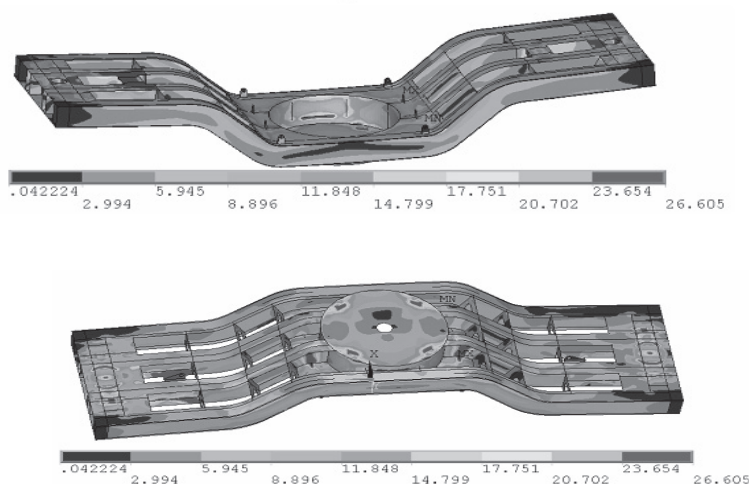


Рис. 1. Расчетная величина амплитуды динамического напряжения условного симметричного цикла

Таблица 1. Показатели усталостной долговечности несущей балки

Элементы балки	$\sigma_{a,\varepsilon}$	$\sigma_{a,N}$	n	$[n]$
Зона пятника	26	50	1,92	1,8
Зона верхнего перегиба	20	50	2,5	1,8
Зона нижнего перегиба	25	50	2,0	1,8
Зона стакана (середина балки)	22	50	2,27	1,8

Результаты проверки концевой балки на сопротивление усталости приведены на рис. 2 и в табл. 2.

Экспериментальные исследования выполнялись методом тензометрирования.

Основной задачей статических испытаний на прочность (от действия вертикальной нагрузки) являлось определение напряженного состояния элементов металлоконструкции транспортера от действия заданных статических нагрузок, имитирующих основные расчетные эксплуатационные нагрузки.

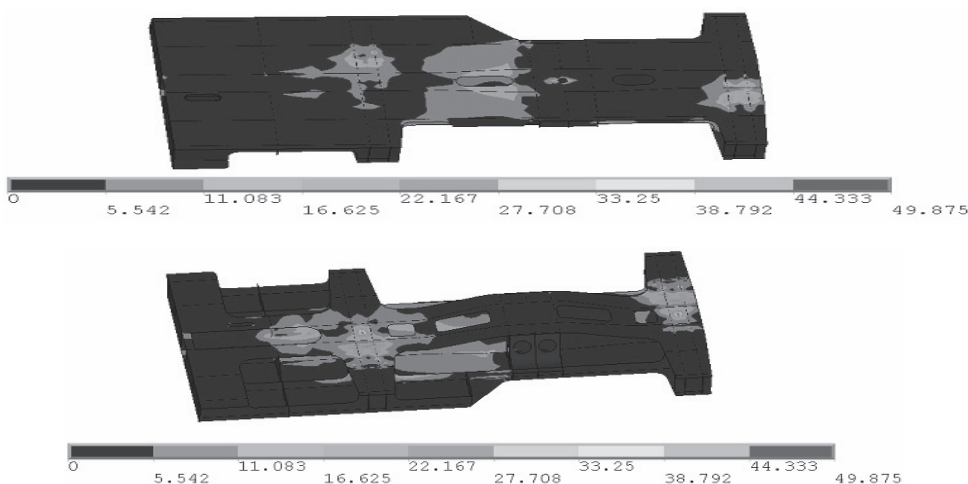


Рис. 2. Расчетная величина амплитуды динамического напряжения условного симметричного цикла.

Таблица 2. Показатели усталостной долговечности концевой балки

Элементы балки	$\sigma_{a,э}$	$\sigma_{a,N}$	n	$[n]$
Верхний лист	22	93	4,2	1,8
Нижний лист	27	50	1,85	1,8

Обработка данных прочностных испытаний выполнялась с использованием автоматизированных комплексов обработки опытных данных с применением статистических методов. Коэффициенты запаса сопротивления усталости элементов конструкции транспортера ТП 6-1 вычислялись из расчета срока службы – 50 лет после изготовления.

Расчет элементов конструкции транспортера ТП 6-1 на усталость выполнялся при действии на нее максимально допустимой нагрузки для сечений с высоким уровнем знакопеременных напряжений на основании экспериментальных данных, полученных в процессе статических испытаний.

При выполнении расчета, проведенного по методике, изложенной в [1], [2] были приняты коэффициенты: показатель степени в уравнении кривой усталости $m = 4,5$ и среднее значение общего коэффициента снижения предела выносливости данной натурной детали по отношению к пределу выносливости гладкого стандартного образца $(\overline{K_\sigma})_к = 4,0$; среднее (медианное) значение предела выносливости гладкого стандартного образца из материала детали при симметричном цикле изгиба на базе $N_0 = 10^7$ циклов $\overline{\sigma_{-1}}$: хребтовой балки – 210 МПа, остальные элементы конструкции – 200 МПа.

Результаты проверки несущей и концевой балок на сопротивление усталости по данным экспериментальных исследований приведены на рис. 3 и в табл. 3.

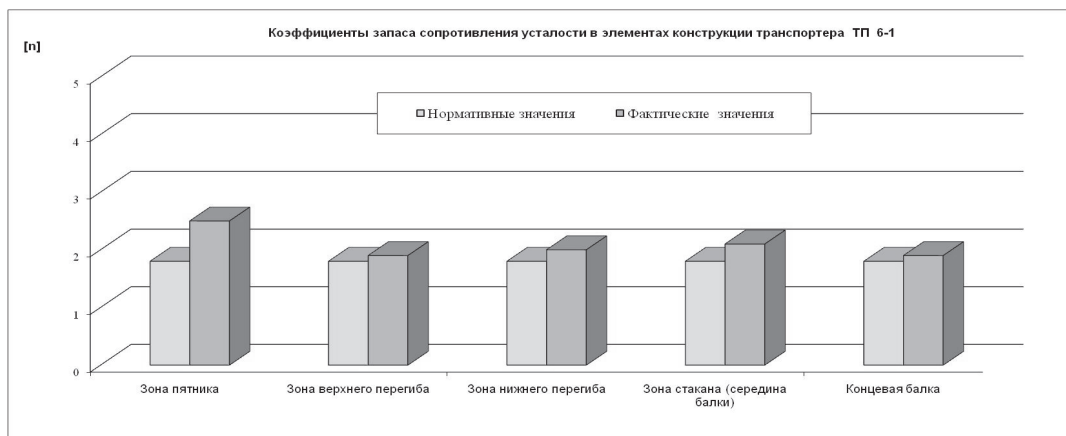


Рис. 3. Коэффициенты запаса сопротивления усталости элементов конструкции транспортера ТП 6-1

Таблица 3

Элементы		n	$[n]$
Несущая балка	Зона пятника	2,5	1,8
	Зона верхнего перегиба	1,9	1,8
	Зона нижнего перегиба	2	1,8
	Зона стакана (середина балки)	2,1	1,8
Концевая балка		1,9	1,8

Выводы. Теоретические исследования на сопротивление усталости конструкции транспортера ТП 6-1, предназначенного для внутриобъектовых перевозок в вертикальном положении упаковочных комплектов хранения на АЭС, показали соответствие полученных значений нормативным при его эксплуатации на протяжении 50 лет после изготовления. Анализ результатов теоретических исследований подтверждается результатами экспериментальных исследований. Значения показателей, полученные в результате проведенных экспериментальных исследований соответствуют приведенным в «Нормах...» допускаемым значениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых железнодорожных транспортеров общего назначения колеи 1520 мм. – М.:ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1988. – 136 с.
2. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996 г., с изменениями и дополнениями (01.02.2000 г. и 01.03.2002 г.). – 319 с.

*Олександра Дорошенко
Юрій Дорошенко
Сергій Возний*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ОПАЛУБКИ І ЦЕМЕНТОБЕТОНУ З МЕТОЮ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

У статті розглядаються питання, що пов'язані з покращенням якості та довговічності залізобетонних конструкцій.

В статье рассматриваются вопросы связанные с улучшением качества и долговечности железобетонных конструкций.

In the article questions are examined that the internalss related to the improvement and to longevity of reinforce-concrete constructions.

Ключові слова: цементний бетон, опалубка, довговічність, надійність.

Монолітні і збірні конструкції з бетону й залізобетону є основними, базовими конструкціями в житловому, промисловому, гідротехнічному, дорожньому й інших областях будівництва.

Щорічно у світі укладаються і монтуються сотні мільйонів кубометрів монолітного і збірного бетону і залізобетону. Аналіз літературних джерел, а також вітчизняної і зарубіжної будівельної практики дає можливість стверджувати, що роль і значення бетону і залізобетону, як основних конструкційних матеріалів, в майбутньому неухильно зростатимуть.

Аналізуючи комплексний технологічний процес зведення монолітних залізобетонних конструкцій, слід зазначити, що найважливішими і трудомісткими технологічними процесами є опалубні роботи. Їх трудомісткість коливається від 40 до 55 % загальної трудомісткості зведення монолітних конструкцій, а вартість оцінюється відповідно в 30-45 %.

У комплексі опалубних робіт важливою технологічною операцією є нанесення мастила на поверхні опалубок з метою полегшення розпалубки, зменшення зносу опалубних щитів і підвищення якості лицьових поверхонь залізобетонних конструкцій, збільшення оборотності опалубки.

Аналіз літературних джерел, обстеження вітчизняних будівництв свідчать, що вживані опалубки і опалубні системи далекі від досконалості; опалубні роботи трудомісткі і мають високу вартість, а монолітні конструкції, особливо їх лицьові поверхні, після розпалубки вимагають багатовитратного післярозпалубочного доведення. Значна кількість вітчизняних опалубок має недосконалі малоефективні формувальні поверхні. Застосування таких опалубок у поєднанні з низькосортними, а тому неефективними мастилами, як часто буває на практиці, призводить до негативних результатів і великих непродуктивних витрат.

© Дорошенко О. Ю., Дорошенко Ю. М., Возний С. П., 2012

Мастила, що є невід'ємним технологічним компонентом, відіграють важливу роль в технології монолітних залізобетонних конструкцій. Ефективні мастила полегшують розпалубку, покращують якість бетонних поверхонь, знижують витрати на їх післярозпалубочне доведення. Значне зчеплення між бетоном і погано змащеною, або зовсім незмащеною опалубкою приблизно на 70–100 % збільшує трудомісткість розпалубки. У зв'язку з використанням малоефективного мастила опалубочні щити обростають цементною кіркою що вимагає їх додаткового очищення. Через міцне зчеплення, значні розпалубочні зусилля і механічну дію на опалубку при її очищенні від налиплого бетону біля 70 % опалубок передчасно виходить з ладу.

В результаті застосування недостатньо ефективних мастил або нераціонального їх використання на поверхні монолітних конструкцій з'являються зайва шорсткість і пористість, масляні плями, тріщини і вириви бетону, що вимагає додаткових витрат на їх виведення і доведення.

Недооцінка важливості такої технологічної операції, як нанесення мастила на опалубку, зарахування її до розряду другорядних, а іноді і необов'язкових, призводить до значних непродуктивних витрат, сприяє передчасному зносу опалубочних щитів, в 1,5–2 рази зменшуючи їх оборотність, знижує якість поверхонь монолітних залізобетонних конструкцій.

Таким чином застосування ефективних антиадгезійних опалубочних мастил забезпечує:

- значне скорочення витрат ручної праці при розпалубці конструкцій з монолітного залізобетону;
- повне усунення трудовитрат на очищення опалубочних щитів від налиплого бетону;
- підвищення довговічності і оборотності опалубок;
- отримання монолітних залізобетонних конструкцій з високою якістю лицьових поверхонь.

Опалубка повинна забезпечувати задані розміри і форму конструкції, що зводиться; бути міцною, жорсткою і незмінною в робочому положенні і при дії усіх виробничих навантажень; мати мінімальну адгезію поверхні з бетоном; бути індустріальною, економічною і технологічною при складанні і розбиранні, а також не створювати утруднень при установці арматури і укладанні бетонної суміші; виготовлятися відповідно до вимог стандартів або технічних умов на опалубку конкретних типів.

Від деформативності опалубки залежать міцність і якість виготовлення монолітних конструкцій, а також трудомісткість опалубочних і обробних робіт, довговічність і вартість опалубки. Окрім викривлень поверхні, порушення геометричних розмірів інших відхилень при недостатньо жорсткій опалубці утворюються раковини на поверхні і повітряні бульбашки при ущільненні бетону.

Усі з'єднання опалубки рекомендується виконувати швидкокорознімними; вони мають бути досить щільними і непроникними. Зварні шви, а також гострі кути і кромки опалубки мають бути оброблені.

Для виготовлення елементів опалубки використовують найрізноманітніші матеріали. Для опалубки використовують деревину хвойних порід (сосна, ялина, модрина), листяних порід (береза і вільха), водостійку фанеру, сталь, пластики, залізобетонні і армоцементні плити, деревно-стружкові (ДСП) і деревно-волокнисті (ДВП) плити, поліпропілен з наповнювачами. Підтримувальні елементи опалубки виконують головним чином із сталі і алюмінієвих сплавів, що дозволяє досягти їх високої оборотності.

Величина зчеплення бетонної суміші з опалубкою досягає декількох кгс/см². Це робить роботи з розпалубкою більш тяжкими, погіршує якість бетонної поверхні і призводить до передчасного зносу опалубочних щитів.

На зчеплення бетону з опалубкою впливає адгезія і когезія бетону, його усадка і пористість поверхні опалубки.

Під адгезією розуміють обумовлений молекулярними силами зв'язок між поверхнями двох різнорідних дотичних тіл. В період контакту бетонної суміші з опалубкою створюються сприятливі умови для прояву адгезії. Склеювальна речовина (адгезив), якою в да-

ному випадку є бетонна суміш, в період укладання знаходиться в пластичному стані. В процесі віброущільнення бетону пластичність його ще більше збільшується, внаслідок чого бетонна суміш зближується з поверхнею опалубки і суцільність контакту між ними ще збільшується.

Бетон налипає до дерев'яних і сталевих поверхонь опалубки сильніше, ніж до пластмасових, у зв'язку зі слабкою змочуваністю останніх. У табл. 1 наведені значення нормального зчеплення бетонів з деякими опалубними матеріалами.

Таблиця 1. Нормальне зчеплення бетонів з деякими опалубними матеріалами

Матеріали	Нормальне зчеплення бетонів за 1 доби, кгс/см ²			
	Важкий бетон		Керамзитобетон	
	В 12,5	В 7,5	В 12,5	В 15
Сталь без обробки і без мастила	1,85	1,31	1,81	2,41
Сталь з мастилом	0,47	0,35	0,39	0,45
Сосна стругана	1,25	1,12	1,17	1,32
Фанера водостійка	1,15	1,08	1,11	1,22
Деревностружкова плита	1,20	1,16	1,18	1,20
Текстоліт	0,29	0,20	0,24	0,26
Гетинакс	0,57	0,42	0,52	0,56
Фторопласт-4	0,19	0,13	0,14	0,15
Склопластик поліефірний	0,31	0,23	0,24	0,26

Зусилля відриву опалубки, кгс, визначають по формулі:

$$P_{от} = Kc \cdot O_n \cdot F_{щ} \quad (1.1)$$

де O_n □ нормальне зчеплення, кгс/см²;

$F_{щ}$ □ площа відривного щита (панелі), м²;

Kc □ коефіцієнт, що враховує жорсткість щитів (панелей).

Дерево, фанера, сталь без обробки і склопластики добре змочуються і зчеплення бетонної суміші з ними досить велике, із слабким змочуванням (гідрофобним) гетинаксом і текстолітом бетонні суміші зчіплюється менше.

Крайовий кут змочування (рис.1) шліфованої сталі більший, ніж у необробленої. Проте зчеплення бетону з шліфованою сталлю знижується. Пояснюється це тим, що на межі бетону і добре оброблених поверхонь суцільність контакту більш висока.

При нанесенні на поверхню плівки мастила вона гідрофобізується, що різко зменшує адгезію.

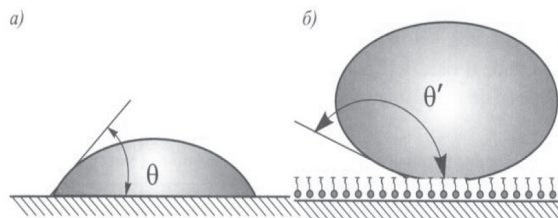


Рис.1. Крайовий кут змочування різних поверхонь:
а – гідрофільне; б – гідрофобне (з мастилом)

Усадка негативно впливає на адгезію та на зчеплення. Чим більше величини усадки в пристикових шарах бетону, тим виригідніша поява в зоні контакту усадкових тріщин, які послаблюють зчеплення.

Під когезією в контактній парі опалубка – бетон слід розуміти міцність на розтягування пристикових шарів бетону.

Шорсткість поверхні опалубки збільшує її зчеплення з бетоном. Це відбувається тому, що шорстка поверхня має велику фактичну площу контакту в порівнянні з гладкою.

Високопористий матеріал опалубки теж збільшує зчеплення, оскільки цементний розчин, проникаючи в пори, при віброушільненні утворює точки надійного з'єднання.

При знятті опалубки може бути три варіанти відриву. При першому варіанті адгезія дуже мала, а когезія досить велика.

В цьому випадку опалубка відривається точно по площині контакту. Другий варіант – адгезія більше, ніж когезія. При цьому опалубка відривається за склеювальним матеріалом (бетон). Третій варіант – адгезія і когезія по своїх величинах приблизно однакові. Опалубка відривається частково по площині контакту бетону з опалубкою, частково по самому бетону (змішаний або комбінований відрив).

При адгезійному відриві опалубка знімається легко, поверхня її залишається чистою, а поверхня бетону має хорошу якість. Внаслідок цього необхідно прагнути до забезпечення адгезійного відриву. Для цього опалубку виконують з гладких погано змочуваних матеріалів або наносять на них мастила і спеціальні антиадгезійні покриття.

Мастило для опалубки застосовується для оброблення різних видів опалубки та металевих форм, з метою полегшення відокремлення бетону від опалубки або форми, а також для захисту металевих форм від корозії.

При використанні мастила полегшується відділення бетону від опалубки, поліпшується якість зовнішньої поверхні за рахунок зменшення кількості дефектів, скорочуються трудовитрати на очищення форм, істотно продовжується термін використання опалубки. До мастила опалубки висуваються певні жорсткі вимоги. Мастило для опалубки та форм не повинне посилювати корозію елементів опалубки, виділяти шкідливих для здоров'я людини випаровувань. Якісне мастило для опалубки не залишає плям на поверхні бетону, які згодом можуть проступати крізь фінішне оздоблення. Для використання у зимовий час необхідно застосовувати мастила, що не замерзають.

Залежно від складу, принципу дії та експлуатаційних властивостей, мастила для опалубки поділяють на чотири групи: водні суспензії; гідрофобізуючі мастила; мастила - сповільнювачі тверднення бетону; комбіновані мастила.

Принцип дії водних суспензій і гідрофобізуючих мастил ґрунтується на тому, що на поверхні опалубки утворюється захисна плівка, яка знижує зчеплення бетону з опалубкою. Комбіновані мастила є сумішшю уповільнювачів тверднення бетону і гідрофобізуючих емульсій.

При виготовленні мастил у них додають сульфітно-дріжджову барду (СДБ), милонафт. Такі мастила пластифікують бетон прилеглої зони, і він не руйнується.

Мастила – уповільнювачі твердіння бетону використовують для отримання хорошої фактури поверхні. До моменту розпалубки міцність цих шарів дещо нижча, ніж основної маси бетону. Відразу ж після розпалубки оголяють структуру бетону промиванням його струменем води. Після такого промивання отримують красиву поверхню з рівномірним оголенням великого заповнювача.

Особливого поширення набули речовини на основі нафтових масел, що належать до типу «емульсолів», внаслідок їх порівняно невисокої вартості. Мастило для опалубки «Емульсол» є біорозкладаним і не залишає темних маслянистих слідів на поверхнях виробів. Тому такі вироби мають привабливий вигляд, їх легко штукатурити, що значно впливає на оцінку якості продукції, яка виробляється.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Баталов А. С., Федоренко Р. И., Горячева М. К.* Опыт применения фанерной опалубки для монолитных железобетонных конструкций // Кн. «Повышение эффективности и качества бетона и железобетона». – Горький, 1977. – С. 63–66.
2. *Воюцкий С. С.* Диффузионная теория адгезии // Кн. «Клеи и технологии склеивания». – М.: Оборонгиз, 1960. – С. 24.
3. *Дерягин Б. В., Кротова Н. А., Смилга В.П.* Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1973. – 273 с.
4. *Евдокимов Н.И., Мацкевич А.Ф., Сытник В.С.* Технология монолитного бетона и железобетона. – М.: Высшая школа, 1980. – 242 с.
5. *Зимон А. Д.* Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1974. – 412 с.
6. *Журавлев В. Ф., Штейерт Н. Н.* Сцепление цементного камня с различными материалами // Цемент. – 1952. – № 1. – С. 24–26.
7. *Корнилович Ю.Е.* Исследование прочности растворов и бетонов. – К.: Госстройиздат, 1960. – 234 с.
8. *Мацкевич А.Ф.* Смазки и защитные покрытия для опалубки монолитного железобетона. – М.: Стройиздат, 1971. – 23 с.
9. *Мацкевич А.Ф.* К вопросу о влиянии адгезии на прочность бетона // Кн. «Повышение эффективности производства и качества сборного железобетона». – Горький, 1974. – С. 109–155.
10. *Мацкевич А.Ф.* Способ определения удерживающей способности смазок, применяемых для опалубочных форм и кассет // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1981. – №3. – С. 96 – 97.
11. *Мацкевич А.Ф., Смирнов В.А.* Эффективные смазки для форм и опалубок // Кн. «Интенсификация строительства». – Горький, 1982. – С. 138–140.
12. *Микульский В. Г., Игонин Л. А.* Сцепление и склеивание бетона в сооружениях. – М.: Стройиздат, 1965. – 126 с.
13. *Микульский В. Г., Козлов В. В.* Склеивание бетона. – М.: Стройиздат, 1975. – 240 с.
14. *Рапинов В. Б., Иванов Ф. М.* Химия в строительстве. – М.: Стройиздат, 1977. – 220 с.
15. *Смилга В. П., Дерягин Б. В.* Электрическая теория адгезии // «Кн. Клеи и технология склеивания». – М.: Оборонгиз, 1970. – С. 7–15.
16. *Совадрв И. Г., Могилевский Я. Г.* Железобетонные работы при возведении многоэтажных зданий. – М.: Стройиздат, 1981. – 167 с.
17. *Фрейдин А. С.* Прочность и долговечность клеевых соединений. Изд. 2-е. – М.: Химия, 1981.
18. *Шмит О. М.* Опалубки для монолитного бетона. Пер. с немецкого. – М.: Стройиздат 1987. – 158 с.

*Вадим Иванов
Виталий Косенко
Юрий Приданников*

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СЦЕПОК SCHARFENBERG

Использование в Украине автоматических сцепок Scharfenberg началось в 2012 г. с введением в эксплуатацию скоростных электропоездов Hyundai Rotem. Внедрение нового для наших железных дорог подвижного состава требует знания конструктивных особенностей всех компонентов, что обеспечивает своевременное и качественное техническое обслуживание и повышение уровня квалификации как работников железнодорожного транспорта, так и научной и образовательной сфер. Акцентируя внимание на конструкции автоматических сцепок, которые используются в поездах Hyundai, одновременно рассмотрены другие типы сцепок, в частности и для использования в трамваях, поездах метро и т.д.

Використання в Україні автоматичних зчіпок Scharfenberg розпочалося в 2012 р. з введенням в експлуатацію швидкісних електропоїздів Hyundai Rotem. Запровадження нового для наших залізниць рухомого складу вимагає знання конструктивних особливостей всіх компонентів, що забезпечує своєчасне та якісне технічне обслуговування та підвищення рівня кваліфікації як працівників залізничного транспорту, так і наукової та освітньої сфер. Акцентуючи увагу на конструкції автоматичних зчіпок, що використовуються в потягах Hyundai, одночасно розглянуті інші типи зчіпок, зокрема і для використання в трамваях, поїздах метро і т.ін.

Use in Ukraine automatic Scharfenberg couplers began in 2012 with the commissioning of high-speed electric trains Hyundai Rotem. The introduction of our new railway rolling stock requires knowledge of all components of the design features that provide timely and quality maintenance and improvement of skills, as the railway workers, as well as scientific and educational spheres. Focusing on the design of automatic couplers, which are used in trains Hyundai, at the same time consider other types of couplings, in particular for use in trams, subway trains, etc.

Ключевые слова: автоматические сцепки, подвижной состав, железнодорожный транспорт, модульне конструкції.

С момента рождения идеи автоматической сцепки прошло более 100 лет. В 2012 г. вместе с началом эксплуатации скоростных электропоездов Hyundai Rotem в Украине появились автоматические сцепные устройства Scharfenberg (Schaku), выпускаемые Voith Turbo Scharffenberger. Предприятие предлагает различные системные решения, начиная от промежуточных сцепок до носовых модулей, обеспечивающих фронтальное поглощение энергии, а также комплексные конструкции головки поезда и систем управления.

© *Иванов В. Б., Косенко В. И., Приданников Ю. О., 2012*

Носовые модули и системы поглощения энергии Scharfenberg отличаются:

- высокая надежность и функциональность;
- удобство монтажа и обслуживания;
- использование стандартных интерфейсов;
- минимальное время на демонтаж и замену.

Модельный ряд сцепных устройств Scharfenberg (Schaku) учитывает особенности работы высокоскоростных поездов, поездов метро, грузовых составов, технологического транспорта и т.д. Он включает:

- сцепки для скоростных поездов;
- сцепки для поездов метро и трамваев;
- промежуточные сцепки;
- поворотные и специальные сцепки;
- электрические сцепки;
- сцепки AAR;
- сцепки Albert;
- сцепки Tomlinson;
- клиновидные сцепки;
- сцепки One4.

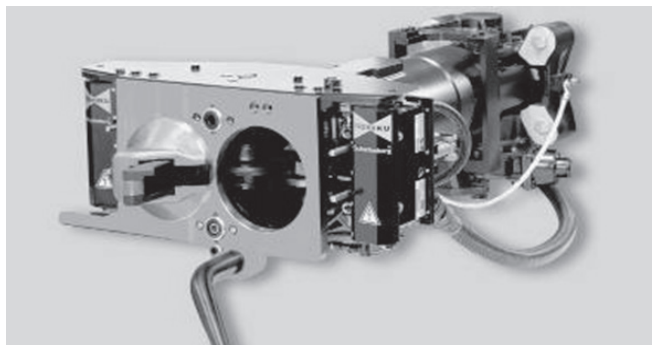


Рис. 1. Сцепка Type 10, предназначенная для высокоскоростных поездов

Сцепка Type 10 – наиболее распространенный в мире тип сцепок для скоростных поездов, который обеспечивает высокую прочность как на сжатие (до 2000 кН), так и на растяжение (до 1000 кН). Высокая безопасность достигается благодаря использованию двухпозиционного замка, широкому диапазону перемещений в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Сцепка соответствует нормам UIC для поездов, эксплуатируемых на железных дорогах широкой колеи. Именно данный тип сцепки установлен на поездах Hyundai Rotem.

Для поездов метро наиболее распространенными являются Type 35 и Type 330, для трамваев Type 430.

Преимущества конструкций промежуточных сцепок состоят в безопасном и надежном соединении промежуточных вагонов поезда, параллельном подключении линий подачи воздуха и электрических разъемов, защите от переворачивания поезда, способности поглощать энергию ударов.

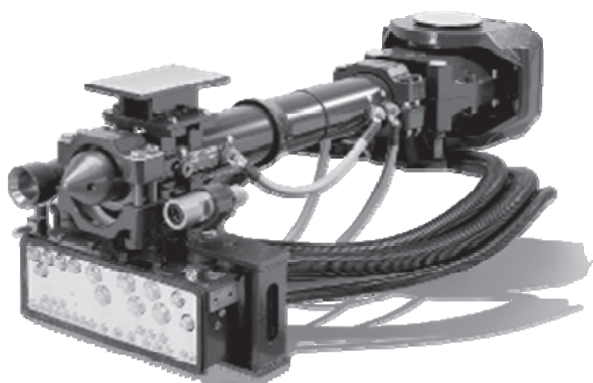


Рис.2. Промежуточная сцепка с воздушными патрубками, электроразъемами, ударопоглощающим элементом и поддерживающими пластинами для межвагонного перехода

Предназначенные для использования в городском рельсовом транспорте сцепки Albert отличает малый вес и простота обслуживания, высокая прочность, надежность и долговечность конструкции.

Используемые преимущественно в вагонах метрополитена клиновидные сцепки отличаются компактностью конструкции, высокой надежностью и минимальными затратами на техническое содержание.

Сцепки Tomlinson с зацеплением в виде крюков отличает эффективное распределение тягового усилия, обеспечение автоматической центровки и выравнивания усилий.

Ядром каждой автосцепки Schaku является замок сцепления. Он состоит из вращающегося сердечника, установленного в подшипниках, петли сцепления и натяжной пружины (рис.3). В процессе сцепления петля захватывает сердечник противосцепления, за счет чего обеспечивается равновесие сил. Простая и легко обслуживаемая конструкция характеризуется высокой износостойкостью, а также обеспечением исключительной безопасности, в том числе и в экстремальных условиях.

Благодаря особой форме торцевых поверхностей создается жесткое соединение с кинематическим замыканием, при котором зазор сцепления уменьшается до минимума. Вся система имеет максимальную область захвата, которая обеспечивается благодаря консоли и захватному устройству конусообразной формы и формы в виде воронки. Это позволяет обеспечить автоматическое сцепление при горизонтальном или вертикальном, а также угловом смещении, например, на поворотах и при преодолении неровностей рельефа.

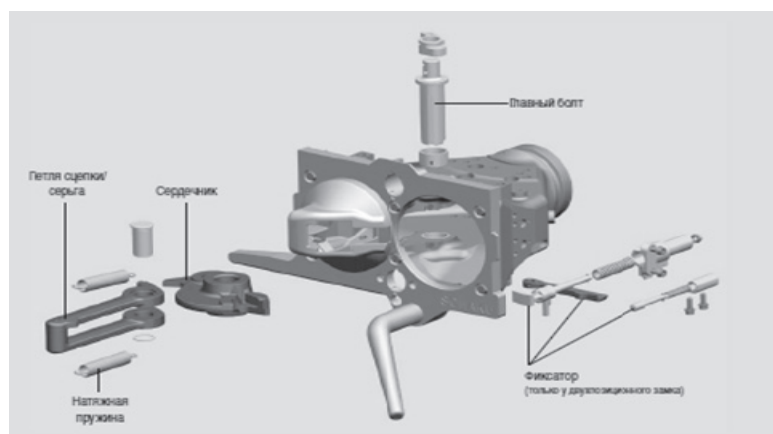


Рис. 3. Сборочный чертеж головки сцепного устройства с замком сцепления

Последнее достижение в области автоматических сцепок: модульная головка сцепки One4. В устройстве головки сцепки One4 последовательно применяется модульный принцип конструкции. Имеет место радикальное упрощение и стандартизация конструкций применявшихся ранее головок сцепного устройства, что обеспечивает значительные преимущества в техническом обслуживании и ремонте.

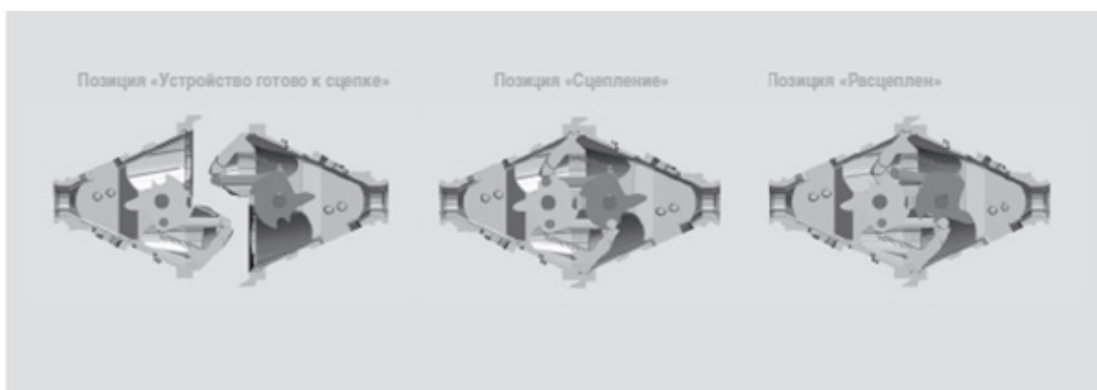


Рис. 4. Взаиморасположение элементов конструкции сцепного устройства One4

До настоящего времени головка сцепки представляла собой одну отдельную литую деталь. В модульной головке сцепки One4 торцевая пластина и корпус сцепления отсоединены друг от друга. Торцевая пластина крепится к стандартному корпусу при помощи винтов. Если ранее требовалась замена всей головки сцепки, то сегодня в большинстве случаев бывает достаточно замены торцевой пластины. Поскольку торцевая пластина крепится на корпусе сцепления только при помощи винтов, она заменяется быстро и просто. С целью облегчения монтажа, замены и подключения электроконтактной сцепки стандартизировано устройство сопряжения между головкой сцепки и механизмом управления. При необходимости электроконтактные сцепки наряду с передачей управляющих служат также и для передачи распределительных и видеосигналов, а также высокоскоростного варианта сети Ethernet. В расцепленном состоянии они защищены откидной крышкой от проникновения грязи и воды. Стандартные корпуса и интерфейсы гарантируют простой монтаж и оптимальное взаимодействие всех компонентов. Стандартизация нагревательных элементов позволяет в любой момент дооснастить сцепку нагревателями, установив их на имеющиеся пазы на торцевой пластине. Дополнительным преимуществом является простота доступа ко всем размещенным внутри компонентам, монтаж которых не требует специального инструмента. Простота доступа и используемых технологических приемов обеспечивают значительную экономию времени и средств при выполнении технических обслуживаний и ремонтов. One4 предлагается для 4 основных типов автосцепки Schaku – 10, 35, 330 и 130.

Взаиморасположение конструктивных элементов сцепного устройства в различных режимах функционирования показаны на рис.4 и в табл.1. Конструкция сцепки отвечает предъявляемым требованиям относительно оперативности, большой адаптивной способности наряду с высокой надежностью, технической готовностью и безопасностью.

Модульная конструкция автосцепок Scharfenberg позволяет значительно расширить модельный ряд и, используя различные типы сцепления, оптимизировать выбор конструкции сцепки согласно разнообразным требованиям и назначению. В соответствии со стандартом каждый модуль – от головки до тягового и буферного устройства – может заказываться в различных вариантах. Выбирая оптимальное сочетание комплектующих элементов обеспечивается надежное сцепление, полностью соответствующее условиям применения.

Таблица 1

Позиция «Готов к сцеплению»	Позиция «Сцепление»	Позиция «Расцепление»
<p>Сцепки еще не подведены друг к другу. Петли сцепления замка находятся спереди у конусов. Благодаря своей форме сердечники при сцеплении поворачиваются против направления усилия натяжных пружин до тех пор, пока петли сцепления не соскользнут в зевы сердечника. После этого натяжные пружины возвращают замок в обратное состояние и остаются в надежном сцепленном состоянии</p>	<p>Сцепки подведены друг к другу, петли сцепления зацепились в зевах сердечника. Соединение представляет собой сбалансированный параллелограмм сил – безопасное и надежное соединение с низкой степенью износа, которое гарантирует высокий комфорт для пассажиров и предотвращает столкновение и наезд вагонов друг на друга</p>	<p>При расцеплении сердечники вращаются против направления усилия натяжных пружин таким образом, что петли сцепления выскальзывают из зевов сердечника. После этого сцепки могут быть отведены друг от друга без большого усилия. Благодаря особой конструкции замка транспортные средства могут расцепляться и при неблагоприятном положении вагона: на поворотах, уклонах, даже в случаях, когда на транспортные средства действует сила растяжения. Для соблюдения техники безопасности новое сцепление возможно только после отсоединения вагонов</p>

Резюмируя преимущества модульной конструкции и принципа сцепления Schaku можно отметить, что они состоят в:

- автоматическом сцеплении и расцеплении с обеспечением высокого уровня безопасности и надежности перевозок;
- параллельном сцеплении механических, пневматических и электрических компонентов;
- высокой износостойкости и минимуме работ по техническому обслуживанию и ремонту;
- обеспечении плавности движения и комфорта перевозок,
- совместимости сцепок с имеющимися системами благодаря использованию специальных адаптеров.

*Микола Курган
Нела Хмелевська
Сергій Байдак*

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ КРИВИХ ДЛЯ ЗАДАНОГО РІВНЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ

Розглянуто проблеми перебудови плану залізничної колії з визначенням раціональних параметрів кривих при підготовці інфраструктури до впровадження прискореного руху. Викладено переваги і недоліки існуючих способів зйомки кривих в сучасних умовах, наведена класифікація та оцінка точності зйомки кривих, що використовуються при поточному утриманні в колійному господарстві та на стадії проектування реконструкції плану лінії. Наведено техніко-економічні показники оцінки проектних рішень і визначення раціональних проектних параметрів плану на прикладі ділянки Львів – Зборів.

Рассмотрены проблемы переустройства плана железнодорожного пути с определением рациональных параметров кривых при подготовке инфраструктуры к введению ускоренного движения. Изложены достоинства и недостатки существующих способов съёмки кривых в современных условиях, приведена классификация и оценка точности съёмки кривых, используемых при текущем содержании в путевом хозяйстве и на стадии проектирования реконструкции плана линии. Приведены технико-экономические показатели оценки проектных решений и определение рациональных проектных параметров плана на примере участка Львов – Зборов.

The problems of restructuring plan of railway were considered. The rational parameters of the curves in the preparation of the infrastructure for the introduction of accelerated motion were found. Set out the advantages and disadvantages of existing methods shooting curves in modern conditions, classification and measurement of precision shooting of curves was given which are used in road maintenance and design stage for reconstruction of plan lines. Are technical and economic parameters to evaluate the design decisions, definition of rational design parameters of the site plan for example Lvov – Zborov.

Ключові слова: план, зйомка кривих, раціональні параметри, тягові розрахунки.

Загальні положення

Велика кількість обмежень швидкості на залізницях України пов'язана з параметрами і станом плану залізничної колії. Щоб збільшити швидкість руху поїзда по кривій необхідно визначити раціональні параметри і поставити криву в правильне положення. Розрахунки свідчать, що при проектуванні ремонтів колії можна досягти суттєвого виграшу в часі руху тільки за рахунок виконання вимог ЦП-113 (п.2.3.2 – 2.3.4 ...виправлення кривих у плані з відновленням проектних радіусів) [1], тобто вкладати колію при капітальному ремонті в проектне положення.

© Курган М. Б., Хмелевська Н. П., Байдак С. Ю., 2012

Роботи з перебудови кривих виконувались на залізницях України при підготовці інфраструктури до впровадження прискореного руху поїздів на напрямках Київ – Полтава – Красноград – Лозова – Донецьк, Київ – Коростень – Здолбунів – Львів [2]. На стратегічному напрямку Полтава – Красноград – Лозова національного пасажирського транспортного коридору були виконані роботи по розширенню земляного полотна з метою збільшення радіусів десяти кривих, які за своїми параметрами стримували встановлену максимальну швидкість 160 км/год [3].

Умови призначення раціональних параметрів кривих

Раціональними є такі параметри кривих, при яких забезпечуються:

- оптимальна взаємодія рухомого складу і колії $F = \sum (N_i, Q_i, \alpha_i) = \min$;
- плавність і комфортабельність їзди $[\alpha_{\text{нп min}}] \leq \alpha_{\text{нп}} \leq [\alpha_{\text{нп max}}]$; $\psi \leq [\psi]$;
 $f_v \leq [f_v]$;
- мінімальні обсяги робіт і витрати на перебудову кривих, які окупаються за нормативний термін.

У вище наведених виразах $[\alpha_{\text{нп}}]_{\text{max}}, [\alpha_{\text{нп}}]_{\text{min}}$ – допустимі непогашені прискорення для вантажних поїздів $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$, для пасажирських – $0,7 \text{ м/с}^2$ (з дозволу Укрзалізниці – до $1,0 \text{ м/с}^2$); ψ, f_v – відповідно швидкість зміни непогашеного прискорення в часі і швидкість підйому колеса по відводу підвищення зовнішньої рейки в кривій; F – сумарний силовий вплив на обидві рейкові нитки від потоку поїздів; N_i, Q_i – кількість і маса поїздів i категорії та середні непогашені прискорення α_i , які виникають під час руху по кривій.

Способи отримання інформації про стан плану колії

Питання виправки і перевлаштування плану залізничної колії давно хвилюють інженерів-колійників. Ще в 60-х роках на сторінках журналу «Путь и путевое хозяйство» широко обговорювалося питання про те, який спосіб зйомки кривих кращий. Висловлювалися різні думки, часом протилежні, про такі способи, як «спосіб стріл» і спосіб Гонікберга. Які дані повинні бути покладені в основу розрахунку кривих – кути повороту чи стріли вигину? На підставі проведеного аналізу І. Я. Туровським зроблено висновок, що заміри фактичного положення колії в плані за допомогою капронової нитки точніші, ніж теодолітом, тому що теодоліт є кутомірним інструментом, а в способі Гонікберга його застосовують для виміру лінійних величин [4].

Однак зазначимо, що обидва названі способи використовують детерміновану інформацію про стан кривих і значення кривизни кривої беруться тільки в точках виміру стріл вигину.

Проблема не була такою гострою, поки не з'явилася необхідність підвищення швидкостей руху та моніторингу технічного стану плану колії.

При визначенні проектних параметрів плану на ділянках прискореного й швидкісного руху поїздів передбачається, що виконана зйомка є точною. Зйомку кривих ведуть по одній з рейок, а визначені розрахунком параметри вважають такими, що належать осі колії. Прямі ділянки колії практично не знімаються і не рихтуються. При побудові математичної моделі існуючого плану використовується неточна модель, при якій вважається, що три сусідні точки кривої лежать на колії. На такому принципі побудована робота ВПР – метод згладжування.

Абсолютна більшість сучасних методів розрахунків виправки кривих базується на визначенні зсувів у окремих точках колії через різницю довжин евольвент для існуючого й проектного варіантів (евольвентна модель). При довгих кривих, великих значеннях зсувів та значних коливаннях кривизни існуючої колії евольвентна модель може давати суттєві похибки. Більш точно зсуви можуть визначатися в системі координат шляхом геометричного представлення проектного варіанта та знаходження відстані від початкової точки до її проектного положення (координатна модель).

Оскільки збільшення швидкості висуває підвищені вимоги до якості проектування, виправки і утримання кривих, необхідні нові підходи до зйомки, розрахунків та виконання робіт. Безумовно, це призведе до підвищення вартості зйомки і проектування таких ділянок, однак це вимушений крок, без якого реалізувати якісне підвищення швидкостей буде практично неможливо. Те, що слабо впливало на показники руху поїздів при швидкостях 100–120 км/год, стає важливим при швидкостях 160 км/год і більше.

Щоб встановити, як впливає вихідна інформація про план лінії на визначення раціональних параметрів кривих і допустимі швидкості руху поїздів, було проведено аналіз способів зйомки (таблиці 1, 2).

Таблиця 1. Класифікація способів зйомки плану лінії, що застосовуються в колійному господарстві

Способи зйомки плану лінії в колійному господарстві		Пояснення
1	Метод стріл	Спосіб дозволяє достатньо точно оцінити кривизну двох сусідніх точок, але дає помилку при визначенні кута повороту, який розраховується через суму стріл. Випадкові помилки вимірів стріл розподіляються за нормальним законом з параметрами: математичне очікування різниці стріл $\Delta \bar{f} = 0$, середньоквадратичне відхилення $\sigma_{\Delta f} = 1,2$ мм
2	Зйомка колієвимірювальними вагонами (КВЛ)	Асиметрія вимірювальної схеми, велика похибка виміру пройденого шляху не дозволяють отримати достовірні параметри плану лінії за результатами заїздів КВЛ
3	Зйомка рихтувальними машинами з системою «Навігатор», «Стріла».	Точна системами виміру пройденого шляху; невелика асиметрія, висока точність виміру стріли вигину

Таблиця 2. Класифікація способів зйомки плану лінії, що використовуються в проектних організаціях

Способи зйомки плану лінії в проектних організаціях		Пояснення
1.	Спосіб Гонікберга	При вимірах способом Гонікберга емпірична крива розподілу помилок була апроксимована кривою нормального розподілу з параметрами $\Delta \bar{f} = 0$, $\sigma_{\Delta f} = 3,3$ мм [5]
2.	Координатна зйомка за допомогою електронних тахеометрів	Дозволяє з високою точністю встановити просторове положення ділянки, але через похибки визначення координат окремих точок (до 20 мм) не дає реального співвідношення кривизни сусідніх точок колії при їх близькому розташуванні
3.	Застосуванням GPS-приймачів	Точність на рівні електронних тахеометрів такі приймачі дають лише при диференціальній схемі і стоянці на кожній точці впродовж досить тривалого проміжку часу, що не дозволяє виконати таку зйомку безпосередньо на колії.

Традиційні технології не дозволяють вирішувати задачу модернізації плану лінії на належному рівні. Якщо зйомка плану для проектування реконструкції може виконуватися координатними методами, то точності такої зйомки буде недостатньо в поточному утриманні й ремонті колії, оскільки похибка визначення координат окремих точок складатиме 10–20 мм. Водночас зйомка кривих симетричним або асиметричним методами стріл будуть давати зростаючу похибку по довжині кривої [6].

При зйомці й рихтуванні поодиноких, не дуже довгих кривих колієрихтувальними машинами точність виявляється достатньою, щоб забезпечити нормативи з утримання, але для по-

будови плану і профілю ділянок результати вимірювань мають високу невизначеність. Це пов'язане з тим, що кут повороту практично визначається підсумовуванням зміряних стріл, а положення колії в просторі – подвійним підсумовуванням. Оскільки вимірювання виконуються з точністю 0,1 мм на відстанях менше метра, невизначеність положення кінця зміряної ділянки після подвійного підсумовування стріл виявляється дуже великою. Без додаткового зрівнювання результатів заїзду із зміряними координатами окремих точок ця інформація також буде недостовірною [6].

Для детальних розрахунків плану лінії з метою підвищення швидкостей необхідні високоточна координатна зйомка існуючого плану двох колій, рихтування плану за наслідками цих розрахунків і перевірка виконаного рихтування відповідно до «Методики аналізу точності знімання, розрахунків та виправлення залізничних кривих машинами різних типів / ЦП-0164». Реалізація такої зйомки і забезпечення в подальшому утримання плану колії на належному рівні можливі тільки при створенні єдиної реперної системи Укрзалізниці.

Техніко-економічні показники оцінки проектних рішень

Ефективність проектних рішень визначає якість проекту в цілому і доцільність його реалізації зокрема. Для вибору найкращого проектного рішення використовується система показників, що характеризують кількісні і якісні властивості об'єкта. Сукупність цих показників дає об'єктивну оцінку доцільності перебудови кривої й економічну ефективність.

Економія часу, що спостерігається при реконструкції плану залізниці, належить до загальніших показників ефективності і широко застосовується в теорії проектування залізниць (час руху поїзда, час обороту локомотива і вагона, час поїздки пасажирів, часові інтервали). Крім того, час входить у розмірність багатьох показників ефективності, наприклад, таких як швидкість, пропускна й провізна спроможність.

Визначення ефективності проектного рішення здійснюється за допомогою показників загальної і порівняльної ефективності інвестиційних витрат [7]. До показників загальної ефективності проектних рішень належать чистий дисконтований дохід, індекс прибутковості, внутрішня норма дисконту, строк окупності інвестицій. До порівняльних показників належать порівняльний інтегральний ефект, приведені будівельно-експлуатаційні витрати і строк окупності додаткових інвестицій.

Як відомо інвестиційні витрати в залізничному будівництві виступають у формі капіталовкладень K . З використанням програми RWPlan і методики, що передбачає врахування відповідних робіт з перебудови кривої [6], була розрахована за формулою (1) вартість по кожному варіанту, що розглядається:

$$K = \sum_{i=1}^{i=4} a_i l_i + \sum_{i=5}^{i=7} a_i l_i + \sum_{i=8}^{i=10} a_i Q_i, \quad (1)$$

де a_1, \dots, a_4 – витрати на зміщення осі існуючої колії відповідно до 60 мм, 61-120 мм, 121-120 мм і більше 250 мм;

l_1, \dots, l_4 – довжина ділянок з відповідним діапазоном зсувів;

a_5, \dots, a_7 – витрати відповідно на перекладання верхньої будови колії, перенесення контактної мережі, пристроїв СЦБ;

l_5, \dots, l_7 – довжина ділянок перекладання колії, перенесення контактної мережі, кабелів СЦБ;

a_8, \dots, a_{10} – вартість 1 м³ баласту, ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсіпання земляного полотна на новій трасі;

Q_8, \dots, Q_{10} – об'єм баласту, ґрунту для розширення існуючого земляного полотна та ґрунту для відсіпання нового земляного полотна.

При рихтуванні колії на відстань більшу за 60 мм будуть виникати додаткові обсяги робіт, які пов'язані з роботами по контактній мережі та досипці баласту. А якщо зсув перевищує

задане значення (наприклад, a_4), то замість витрат на рихтування підраховуються витрати на перекладання колії, перенесення контактної мережі і пристроїв СЦБ.

Визначення проектних параметрів плану на прикладі ділянки залізниці Львів – Зборів

Один із способів зменшення розладу залізничної колії в кривих полягає у визначенні їх раціональних параметрів. З цією метою були розглянуті такі варіанти:

Варіант 0. Розрахунки допустимої швидкості руху для початкового стану колії.

Варіант 1. В цьому варіанті розглядається можливість максимального підняття швидкості руху поїздів на окремих кривих. Допускається зміщення осі колії в межах існуючого земляного полотна. Умовно прийнято, що в цьому випадку рихтування не повинні перевищувати 250-300 мм.

Варіант 2. В цьому варіанті також розглядається можливість максимального підняття швидкості руху поїздів в окремих кривих, але допускається зміщення вісі колії в межах смуги відведення.

Варіант 3. В цьому варіанті розглядається можливість максимального підняття швидкості руху поїздів на ділянках колії, які включають декілька суміжних кривих. Умовно прийнято, що для того, щоб залишити колію в межах існуючої смуги відведення допустимі зміщення осі не перевищують 15 метрів.

На ділянці Львів – Зборів можлива реалізація максимально встановленої швидкості 160 км/год по варіантах коливається від 5 до 42 % (рис. 1).

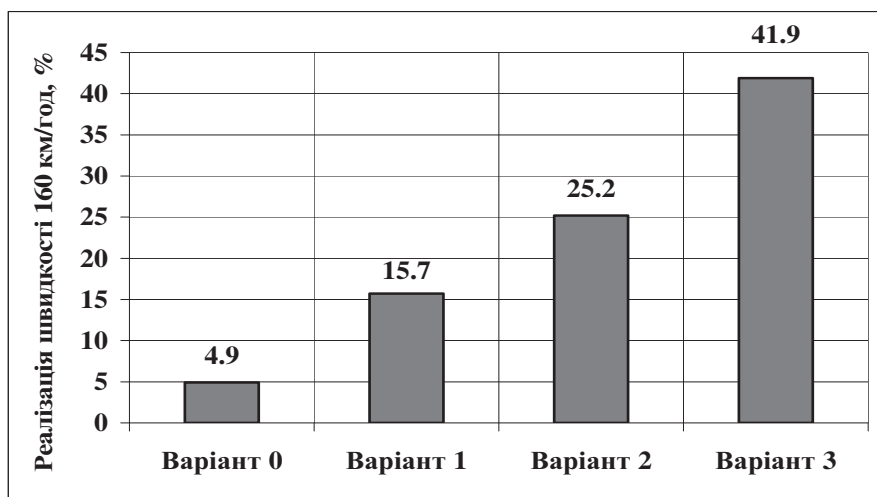


Рис. 1. Реалізація максимальної швидкості 160 км/год на ділянці Львів – Зборів

Об'ємно-вартісні показники по варіантах перебудови плану лінії наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Об'ємно-вартісні показники по варіантах

Показники	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Довжина проектна (м)	77 374	77 359	77 317
Вартість, млн грн.	0,796	72,790	635,456
Довжина (м) рихтувань:			
- до 60 мм	62 733	13 613	1 441
- до 120 мм	9 024	25 800	1 919
- до 250 мм	5 104	11 156	1 312

Закінчення таблиці 3

>250 мм	568	23 706	35 650
Довжина (м) перекладання колії		3 154	37 107
Довжина (м) перебудови СЦБ і контактної мережі		21 498	72 270
Об'єм (м. куб.)			
- щебеневого баласту	1312	26 190	153 049
- ґрунту, що додається		269 155	2 115 426
- нового земляного полотна			1 073 251

З використанням програми MoveRW були виконані варіантні тягові розрахунки для такого рухомого складу: столичні експреси (600 т), пасажирські (1000 т), вантажні (4600/2800 т) і приміські (400 т), табл. 2.

Таблиця 4. Результати тягових розрахунків

Показники	Початковий стан	Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		
		показник	економія відносно початкового	показник	економія відносно початкового	показник	економія відносно початкового	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Столичні експреси								
Час ходу, хв.	Туди	45,2	36,1	9,1	33,9	11,3	32,6	12,6
	Звор.	45,2	36,1	9,1	33,9	11,3	32,6	12,6
Середньоходова швидкість: км/год	Туди	101	126		135		140	
	Звор.	101	126		134		140	
Витрати ел. енергії, кВт-год	Туди	3686	3120	566	2973	713	2573	1113
	Звор.	3720	3196	524	3031	689	2683	1037
Економія на пару поїздів на добу за рік, тис. грн.			211		271		416	
Економія на 2 пари поїздів на добу, грн.			422		542		832	
Пасажирські								
Час ходу, хв.	Туди	52,0	46,7	5,2	44,1	7,8	43,6	8,4
	Звор.	52,0	46,9	5,2	44,3	7,7	43,8	8,3
Середньоходова швидкість: км/год	Туди	88	98		103		105	
	Звор.	88	97		103		104	
Витрати ел. енергії, кВт-год	Туди	3800	3454	346	3091	709	2889	911
	Звор.	3704	3377	327	3038	666	2865	839
Економія на пару поїздів на добу за рік, тис. грн			130		266		339	
Економія на 40 пар поїздів на добу, грн.			5208		10640		13542	
Приміські								
Час ходу, хв.	Туди	52,0	54,1	49,7	4,4	47,6	6,5	47,3
	Звор.	52,0	53,9	49,7	4,2	47,4	6,6	46,9
Середньоходова швидкість: км/год	Туди	84	92		96		96	
	Звор.	85	92		96		97	
Витрати ел. енергії, кВт-год	Туди	665	618	47	577	88	552	113
	Звор.	652	609	43	582	70	563	89
Економія на пару поїздів на добу за рік, тис. грн			17		31		39	
Економія на 8 пар поїздів на добу, грн.			139		245		313	

Вантажні масою 4600 т								
Час ходу, хв.	Туди	78,4	74,7	3,7	73,0	5,4	72,9	5,5
	Звор.	76,8	73,3	3,5	72,1	4,7	71,9	4,8
Середньохорова швидкість: км/год	Туди	58	61		62		63	
	Звор.	59	62		63		63	
Витрати ел. енергії, кВт-год	Туди	6313	6040	273	5874	439	5880	433
	Звор.	5902	5660	242	5414	488	5421	481
Економія на пару поїздів на добу за рік, тис. грн.				100		179		177
Економія на 8 пар поїздів на добу, грн.				797		1435		1415
Вантажні масою 2800 т								
Час ходу, хв.	Туди	73,9	70,3	3,6	69,1	4,8	69,0	4,9
	Звор.	73,3	69,7	3,6	68,7	4,6	68,6	4,7
Середньохорова швидкість: км/год	Туди	62	65		66		66	
	Звор.	62	65		66		66	
Витрати ел. енергії, кВт-год	Туди	4228	3990	238	3826	402	3829	399
	Звор.	3945	3737	208	3553	392	3556	389
Економія на пару поїздів на добу за рік, тис. грн.				86		154		152
Економія на 8 пар поїздів на добу, грн.				690		1229		1220
Очікуваний річний ефект за рахунок економії електроенергії, млн грн				7,26		14,09		17,32
Термін окупності витрат на перевлаштування плану тільки за рахунок економії електроенергії, р.				0,1		5		37

За результатами розрахунків (див. табл. 4) можна вважати, що в умовах обмеженого фінансування найефективнішим є варіант модернізації плану колії (варіант 1) з реалізацією максимальної швидкості 160 км/год близько 16 % від загальної довжини ділянки при рихтуваннях колії в межах основної площадки земляного полотна. Характеристики кривих, що відповідають варіанту 1, забезпечують всі вимоги до плану лінії для встановленої максимальної швидкості 160 км/год. Аналогічні дослідження були проведені й на інших ділянках залізниць.

Висновок. Проведений аналіз плану лінії на складних ділянках транспортних коридорів і розрахунки за вище наведеною методикою підтвердили необхідність урахування обсягів робіт, витрат на перебудову кривих та економію тягово-енергетичних ресурсів для встановлення раціональних параметрів плану відповідно до заданого рівня максимальної швидкості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України. ЦП-0113. – К., 2004. – 32 с.
2. Про підготовку інфраструктури до впровадження прискореного руху поїздів на напрямках Київ – Полтава – Красноград – Лозова – Донецьк, Київ – Коростень – Здолбунів – Львів / Наказ №159-Ц від 22.04.2011 р.
3. Бердута В. Радіус для скоростного // Магістраль. – 2011. – №36 (1619). – С. 6.
4. Туровский И. Я. Каким способом замерять кривые? // Путь и путевое хозяйство. – 1965. – №8. – С. 26–28.
5. Проценко А. И., Фишер В. А. Ошибки измерения кривизны на железнодорожных кривых по способу Гоникберга и влияние этих ошибок на точность определения параметров кривых // Труды НИИЖТа. – 1976. – Вып. 184. – С. 40–50.
6. Корженевич И. П. Нові можливості проектування перебудови плану та виправлення кривих при використанні програми RWPlan 1.2 // Залізничний транспорт України. – № 5. – С. 79–82.
7. Кулаев Ю. Ф. Методы экономической оценки инвестиционных проектов на транспорте: Учеб.-метод. пособие / Сост. Ю. Ф. Кулаев. – К.: Транспорт Украины, 2001. – 182 с.

Василь Тарасюк

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОЇ РОБОТИ ЯКІРНИХ ОБМОТОК ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

В статті розглянуті та обґрунтовані заходи щодо підвищення надійності роботи якірних обмоток тягових електродвигунів електропоїздів шляхом модернізації якірних котушок.

В статье рассмотрены и обоснованы меры к повышению надежности работы якорных обмоток тяговых электродвигателей электропоездов путем модернизации якорных катушек.

In the article the consideration and study measures to improve the reliability of the anchor winding electric traction motors, by upgrading anchor coils.

Ключові слова: тяговий електродвигун, обмотка якоря, лінійне навантаження, обмотувальні проводи, електроізоляційні стрічки.

Останнім часом скоротилась кількість електропоїздів задіяних у приміських перевезеннях пасажирів. Формування приміських поїздів виконується з мінімальним складом моторвагонних секцій (МВС), а кількість пасажирів у приміському сполученні обласних центрів навпаки зростає. Такі чинники зумовлюють занадто інтенсивну експлуатацію електропоїздів, яка супроводжується перенавантаженням усього обладнання рухомого складу, зокрема і тягових електродвигунів (ТЕД). Режими роботи ТЕД відмінні від номінальних призводять до перегрівання обмоток машини понад норми встановлені Правилами ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів ЦТ-0204, як наслідок скорочується ресурс надійної роботи ізоляції обмоток (кожен перегрів скорочує ресурс у 2 рази).

Основне призначення будь-якої електричної ізоляції – це запобігання можливості з'єднання ізолюваної струмоведучої частини з корпусом або з іншими струмоведучими елементами. Система ізоляції якірних котушок складається з міжвиткової, корпусної та покривної ізоляцій. Корпусна ізоляція запобігає електричному з'єднанню активних елементів обмотки з корпусом. Вона повинна витримувати повну номінальну напругу електричної машини із запасом, який встановлюється ГОСТ 2582-81. Міжвиткова ізоляція окремих провідників котушки якоря повинна витримувати лише частину номінальної напруги, яка може бути між цими провідниками.

Для уникнення механічних пошкоджень корпусної ізоляції, якірні котушки додатково ізолюють одним шаром так званої покривної ізоляції. Найтяжче пошкодження ТЕД – це пробій ізоляції обмотки якоря на корпус або міжвиткове замикання. Якщо при несправностях ізоляції магнітної системи остова можливі варіанти ремонту або заміни дефектних котушок чи моноблоків, то при несправності ізоляції обмотки якоря відремонтувати ТЕД у деповських умовах неможливо.

© Тарасюк В. М., 2012

Як свідчить аналіз дефектів ізоляції, що виникають в експлуатації, найчастіше зустрічається пробій ізоляції якірних обмоток електротеплової форми. Тепловим фактором, що визначає нагрівання обмотки якоря, є величина добутку лінійного навантаження якоря струмом (A) та щільності струму (j_a) в обмотці якоря[1]:

$$A \times j_a$$

В першу чергу величини A та j_a обмежуються умовами охолодження, оскільки ТЕД МВС виконані із самовентиляцією.

Зниження перегрівання обмоток якорів можна досягти за рахунок зменшення щільності струму j_a у провідниках обмотки якоря. В свою чергу величина j_a залежить від площі поперечного перерізу провідників якірних катушок:

$$j_a = \frac{I_a}{2a \times q_a},$$

де I_a – струм якоря;

$2a$ – число паралельних гілок;

q_a – площа поперечного перерізу провідників

Для прикладу розглянемо заповнення паза якоря ТЕД РТ-51Д МВС ЕР9П. Розміри паза по ширині і висоті складають (13,8x43,2) мм. Виготовлення якірних катушок передбачене із проводу марки ПЕТВСД з поперечним перерізом провідника 1,7x7,1 мм. Система ізоляції пазової частини якоря зображено на рис. 1.



Рис. 1. Система ізоляції пазової частини катушок якоря РТ-51Д

Коефіцієнт заповнення паза $K_{з1}$ та щільність струму для номінального режиму роботи матимуть наступні значення [2]:

$$K_{з1} = \frac{N_z \times q_{зз}}{b_{п1} \times h_{з1}} = \frac{20 \times 12,07}{13,8 \times 43,2} = \frac{241,4}{596,16} = 0,404,$$

$$j_{a1} = \frac{266}{2 \times 0,2414} = \frac{266}{0,4828} = 550 \text{ А/м}^2.$$

За рахунок впровадження прогресивних електроізоляційних матеріалів, які мають високі характеристики при мінімальній товщині можливе виготовлення секцій із неізольованої мідної проволочки. У наш час виготовляються склянодінітові стрічки з попереднім

просоченням, зокрема марки «Елізтерм-155 Тпл». При товщині від 0,08 мм до 0,13 мм вони мають пробивну напругу 1,8 кВ, проти 0,9 кВ ізоляції прямокутних проводів ПЕТВСД [3,4].

Ширина шліца колекторної пластини для ТЕД РТ-51Д становить $2,08^{+0,12}$ мм (рис. 2). Для секцій якірної обмотки РТ-51Д, враховуючи висоту паза та ширину шліца колекторної пластини, можливо вибрати зі стандартного ряду мідну проволочку перерізом 2x15 мм, а міжвиткову та корпусну ізоляцією виконати зі стрічки марки «Елізтерм-155 Тпл» 0,1x20: один шар для виткової ізоляції і чотири – для корпусної. Як покривну ізоляцію використати стрічку скляну 0,1x25 мм.

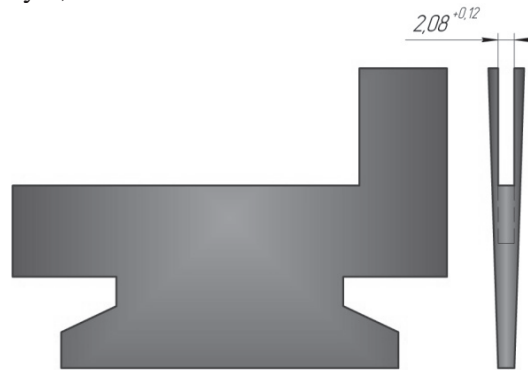


Рис. 2. Заготівка колекторної пластини з прорізанним шліцом

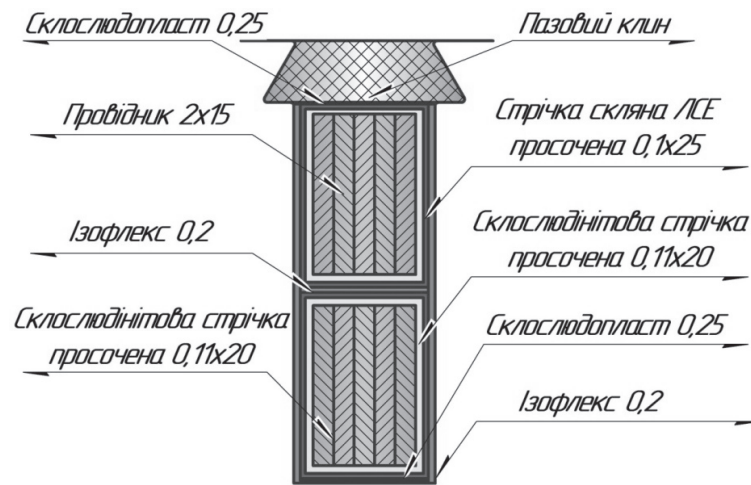


Рис. 2. Система ізоляції пазової частини котушок якоря, виготовлених із мідної проволочки

Для порівняння розрахуємо коефіцієнт заповнення паза $K_{з2}$ для якірних котушок, виготовлених із неізолюваної проволочки, та щільність струму при номінальному режимі роботи:

$$K_{з2} = \frac{N_z \times q_{я}}{b_{п} \times h_z} = \frac{10 \times 30}{13,8 \times 43,2} = \frac{300}{596,16} = 0,503,$$

$$j_{а2} = \frac{266}{2 \times 0,3} = \frac{266}{0,6} = 443 \text{ А/м}^2.$$

Як бачимо, при виготовленні секцій із неізолюваної проволони та системою ізоляції якірних котушок, зображеною на рис. 2 можливе зростання K_3 до 0,5, що зазвичай для машин з ізоляцією на 3000 В становить від 0,3 до 0,45 [2].

Порівнюючи характеристики ізоляційної стрічки марки «Елізтерм-155 Тпл» з ізоляцією проводу ПЕТВСД впливає, що електрична міцність ізоляційної стрічки значно вища від ізоляції обмотувального проводу. Крім того, у будь-якому разі вигідно, щоб корпусна та міжвиткова ізоляції були якомога тонше. З однієї сторони, це дає можливість збільшити поперечний переріз міді провідників обмотки; з іншої сторони – теплопровідність ізоляції тим краща, чим вона тонша [5].

Величина лінійного навантаження якоря струмом A , прямо пропорційна струму якоря:

$$A = \frac{N \times I_a}{\pi \times D}$$

Збільшення поперечного перерізу провідників паза з 241,4 мм² до 300 мм², дозволяє підняти номінальний струм ТЕД РТ-51Д на 20%, і відповідно збільшити допустиме навантаження обмотки якоря струмом.

Отже, завдяки впровадженню прогресивних систем ізоляції можливе збільшення поперечного перерізу провідників обмотки якоря, що дає можливість підвищити номінальну потужність ТЕД та збільшити величини лінійного навантаження і теплового фактора нагрівання обмоток. У свою чергу це зменшить кількість перегрівань ізоляції під час експлуатаційних перенавантажень та підвищить надійність роботи ТЕД.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Находкин М.Д., Василенко Г.В., Бочаров В.И., Козорезов М.А.* Проектирование тяговых электрических машин.: Учебное пособие для вузов ж-д.трансп.: Изд.2-е, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1976.– 624 с.
2. *Безрученко В.М., Варченко В.К., Чумак В.В.* Тягові електричні машини рухомого складу // Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2003.– 252 с.
3. *ТУ У 31.3 - 31806384 - 001 – 2003.* Провода медные обмоточные круглые и прямоугольные с эмалево-стекловолоконистой изоляцией и изоляцией из синтетических электроизоляционных материалов: ПЭТВСД, ПНТСД, ППТСД.
4. *ТУ 3492-120-05758799-2004.* Лента стеклослюдяная Элизтерм®-155-ТПл.
5. *Жерве Г.К.* Обмотки электрических машин. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1989.– 400 с.

Василь Тарасюк

КОНТРОЛЬ ТА ВИПРОБУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ОБМОТОК ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ПІД ЧАС РЕМОНТУ

Проаналізовано методи контролю та випробувань ізоляції обмоток тягових двигунів електропоїздів. Запропоновано впровадження неруйнівного методу, непрямої оцінки стану ізоляції за допомогою визначення коефіцієнта абсорбції під час ремонту обмоток тягових двигунів.

Проанализированы методы контроля и испытаний изоляции обмоток тяговых двигателей электропоездов. Предложено внедрение неразрушающего метода, косвенной оценки состояния изоляции посредством определения коэффициента абсорбции при ремонте обмоток тяговых двигателей.

The methods of inspection and testing winding insulation electric traction motors. An introduction nondestructive method indirect assessment of isolation by defining the coefficient of absorption during the repair of windings of traction motors.

Ключові слова: контроль і випробування, якірні і полюсні обмотки, опір ізоляції, електрична міцність, поляризація.

Довговічність тягових електродвигунів – це показник надійності, який визначає термін придатності машин в експлуатації. Під час ремонту тягових електродвигунів визначальними для довговічності є: властивості і якість матеріалів, що закладаються у відповідальні вузли; технологічні способи і режими обробки; контроль і випробування елементів та вузлів після завершення окремих технологічних операцій, а також прийнятно-здавальні випробування машин в зібраному стані. Контроль і випробування – це невід’ємні складові технологічного процесу ремонту, які визначають відповідність електричних машин технічним вимогам, а також їх подальшу надійність.

Багато в чому справна робота тягових електродвигунів залежить від стану ізоляції обмоток. Саме тому, незважаючи на значні витрати на ремонтних підприємствах впроваджені суцільний операційний контроль стану ізоляції якірних і полюсних обмоток.

Такий підхід дає можливість виключити можливість відправлення споживачеві продукції з дефектами. Зокрема контроль ізоляції якірних обмоток виконується на усіх етапах її виготовлення: починаючи із контролю та випробувань кожної окремо якірної котушки і завершуючи випробуванням ізоляції в зібраній машині після проведення циклу прийнятно-здавальних випробувань. Правилами ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів ЦТ-0204 (далі Правила ЦТ-0204) встановлено такі основні параметри для операційного контролю якості ізоляції обмоток в процесі їх ремонту і виготовлення [1]:

- опір ізоляції;
- електрична міцність корпусної і міжвиткової ізоляції.

Вимірювання опору – це неруйнівний методом випробувань, який належить до непрямого способу оцінки стану ізоляції. Він полягає в тому, що при подачі постійної напруги через ізоляцію протікає струм наскрізної провідності[2]: $I = I_w + I_z$

© Тарасюк В. М., 2012

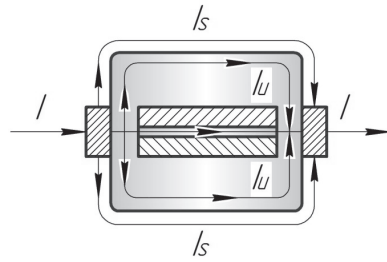


Рис. 1. Види струмів провідності ізоляції обмоток електричних машин

Струм наскрізної провідності ізоляції складається із двох складових: струму об'ємної провідності I_v і струму поверхневої провідності I_s (див. рис. 1). Якщо ізоляція має внутрішні дефекти та поверхневі пошкодження, то струм наскрізної провідності зростає, а опір ізоляції знижується [3]:

$$R_{ix} = \frac{U_{\Sigma}}{I}$$

де, U_{Σ} – постійна напруга при якій визначається опір.

Опір R_{ix} є основним показником стану ізоляції обмоток електричних машин, за допомогою якого визначається наявність дрібних зосереджених дефектів. Для виявлення грубих зосереджених дефектів використовують метод випробування електричної міцності корпусної та міжвиткової ізоляції. Величини випробувальної напруги для ізоляції на усіх етапах ремонту і виготовлення обмоток тягових двигунів електропоїздів нормуються Правилами ЦТ-0204 (див.табл 1), а методика проведення встановлюється за ГОСТ 11828-86.

Таблиця 1. Норми напруг для випробування електричної міцності

Тип машини	U_v ізоляції якірних обмоток, кВ						U_v ізоляції полюсних обмоток, кВ		Машина після випробувань в зборі
	якірна котушка	після укладки та осадки вирівнювачів	після укладки та осадки обмотки	після заклінювання	після зварювання	готовий якір	після виготовлення або ремонту	після встановлення в остов	
УРТ-100	12,5	-	10,8	9,0 10,5	8,5 10,0	7,5 9,5	10,0 12,5	8,0 10,0	7,0 8,8
РТ-51	8,0	-	6,5	5,5 6,2	5,0 6,0	4,5 5,5	8,0 10,0	6,0 7,6	4,0 5,0
1ДТ.003	12,5	10,8	10,5	9,0 10,2	8,5 9,8	7,5 9,5	9,2 11,5	8,4 10,5	7,0 8,8

* значення напруг дробом: чисельник для КР-1, знаменник – КР-2; не дробові для КР-1 і КР-2

Сутність методу полягає в тому, що ізоляція випробується напругою вищою від номінальної, тобто робочої. Якщо ізоляція не містить грубих дефектів, то вона витримує випробувальну напругу протягом нормованого часу. В протилежному випадку при наявності неприпустимих дефектів – ізоляція пробиває. Випробування електричної міцності корпусної та міжвиткової ізоляції – це руйнівний метод контролю, тому що при його використанні можливе виникнення дефектів яких раніше ізоляція не містила. Тому, його використання для обмоток електричних машин необхідно виконувати тільки у випадках передбачених діючими Правилами та Інструкціями, адже надмірне прикладання напруги понад номінальне значення може призвести до передчасного руйнування ізоляції.

Розглянуті вище методи контролю та випробувань ізоляції обмоток ефективні при визначенні дрібних та грубих зосереджених дефектів, тобто тріщин, пор, проколів, надрізів

та інших, які неминуче виникають в експлуатації і можливі під час ремонтних операцій. Однак в ізоляції можливі також і розподілені дефекти по всьому об'єму обмотки, які не є критичними під час випробувань, а їх виявлення контролем опору та випробування високою напругою не завжди дає бажаний результат.

Такими дефектами є: зволоження ізоляції під час роботи електричних машин на рухомому складі або при порушенні технологічних режимів виготовлення (ремонт) обмоток; розшарування системи ізоляції через неякісні ізоляційні матеріали або під дією експлуатаційних чинників (зміна об'єму, динамічні удари); використання просочувальних матеріалів із сторонніми домішками та засміченістю; порушення режимів переробки ізоляційних матеріалів та інше. Тому в системі операційного контролю та випробувань ізоляції обмоток електричних машин необхідно впровадити параметр, який дасть можливість контролювати дефекти розподілені по усьому об'єму ізоляції. Таким параметром може бути використаний коефіцієнт абсорбції $K_{\text{аб}}$.

Як відомо, в ізоляції окрім струму наскрізної провідності існує також струм абсорбції $I_{\text{аб}}$, викликаний релаксаційними видами поляризації і перерозподіленням вільних зарядів в об'ємі обмотки. Залежно від стану ізоляції він проходить за час від декількох секунд до декількох хвилин після прикладання постійної напруги. Якщо ізоляція містить значну кількість дефектів розподілених по всьому об'єму обмотки, то струм поляризації триває впродовж декількох секунд. При вимірюванні опору значення R_{15} лишається незмінним впродовж 60 секунд. В хорошій ізоляції з монолітною структурою і мінімальною кількістю дефектів процес поляризації протікає довше. В цьому випадку значення опору R_{15} виміряні на 15 і 60 секундах матимуть відмінні значення. Відношення значень опору виміряних на 15 і 60 секундах називається коефіцієнтом абсорбції:

$$K_{\text{аб}} = \frac{R_{60}}{R_{15}} .$$

Якщо ізоляція має задовільний стан коефіцієнт $K_{\text{аб}} \geq 1$, в протилежному випадку – $K_{\text{аб}} \leq 1$. Цей метод використовується під час діагностики ізоляції обмоток тягових трансформатор, для яких встановлено, що ізоляція з $K_{\text{аб}} \geq 1,2$ придатна для експлуатації, при $K_{\text{аб}} \leq 1,2 + 1,1$ ізоляція потребує ремонту, а при $K_{\text{аб}} < 1,0$ – потребує заміни. Для систем ізоляції обмоток тягових двигунів електропоїздів визначення величин $K_{\text{аб}}$ не проводились. Для визначення нормованих величин $K_{\text{аб}}$, які можна було б використовувати під час контрольних випробувань в процесі ремонту, треба провести статистичні випробування ізоляції якірних і полюсних обмоток: до проведення ремонту, після ремонту в об'ємі КР-1, після ремонту в об'ємі КР-2.

Розробка методики визначення $K_{\text{аб}}$ з порівнянням із нормованими значеннями для тягових двигунів електропоїздів, а також включення методики до системи операційного контролю дасть можливість забезпечити більш повну оцінку стану ізоляції обмоток. Особливо важливим цей параметр є для обмоток, що були в експлуатації і ремонтуються за об'ємом КР-1 (без зміни ізоляції). Тому що, саме експлуатаційні умови та якість профілактичних заходів (технічне обслуговування і поточні ремонти) мають визначальний вплив на стан ізоляції обмоток і утворення розподілених дефектів по її об'єму.

ЛІТЕРАТУРА

1. 105.86000.94111. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів. ЦТ-0204.
 2. С. Н. Колесов, И. С. Колесов. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2007. – 535 с.
 3. С. В. Власьевский, А. В. Рожнецев, О. А. Малышева. Методика исследования электрических свойств изоляции электрического оборудования подвижного состава, работающего в условиях низких температур. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. – 114 с.
 4. ГОСТ 11828-86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний.
-

*Володимир Твердомед
Едуард Даніленко*

**РОЗРАХУНОК ПОПЕРЕЧНИХ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СИЛ,
ДІЮЧИХ НА КОЛІЮ В КРИВИХ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ,
ГРАФО-АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ**

Проведені деякі доповнення і уточнення в методіку професора О.П. Єршкова, в тому числі відносно змінної величини коефіцієнта тертя при різних схемах вписування екіпажів. На основі запропонованої методики виконані теоретичні розрахунки, побудовані графіки-паспорти та виведені наближені формули визначення поперечних горизонтальних сил.

Проведены некоторые дополнения и уточнения в методіку професора О.П. Єршкова, в том числе относительно изменения величины коэффициента трения при разных схемах вписывания экипажей. На основании предложенной методики выполнены теоретические расчеты, построены графики-паспорта и выведены приближенные формулы определения поперечных горизонтальных сил.

Conducted some additions and refinements of the method of professor O.P. Yershkova, including relatively variable friction coefficient under various schemes incorporating crews. Based on the research results the method performed theoretical calculations based graphics-passports and derived approximate formula for the determination of transverse horizontal forces.

Ключові слова: крива ділянка колії, візок, горизонтальні поперечні сили, коефіцієнт тертя ковзання, горизонтальні непогашені сили.

Дослідження руху залізничного екіпажу в кривих ділянках колії є однією із складних проблем взаємодії колії та рухомого складу. Ці складнощі пов'язані з великою кількістю факторів, які впливають на характер руху екіпажу по кривій, що приводить до необхідності вирішення системи рівнянь з великою кількістю невідомих. Складною задачею є визначення реальної схеми вписування екіпажа в криву і залежно від цього положення усіх коліс в кривій при різних режимах руху; складною є необхідність розгляду різних конструкцій екіпажної частини рухомого складу, в тому числі зчленованими і незчленованими візками; залежність сил та моментів тертя від положення центру повороту візка; зміна коефіцієнтів тертя ковзання в контактні колеса і рейки при різних схемах уписування та ін.

Перші теоретичні дослідження щодо вписування екіпажів рухомого складу в криві були проведені російськими вченими під час підготовки і виконання першої редакції розрахунків колії на міцність. Наприкінці XIX – початку XX ст. професори А.А. Холодецький та К.Ю. Цеглинський сформулювали основні положення теорії вписування екіпажів в криві, яка дозволила знаходити сили поперечного тиску коліс на рейки. Подальший розвиток теорії вписування рухомого складу в криві отримано в роботах професорів К.П. Королева, А.А. Соломянського, В.В. Медея, О.П. Єршкова та ін. у середині XX ст.

© *Твердомед В. М., Даніленко Е. І., 2012*

Найбільш повну та точну оцінку горизонтальних поперечних сил в кривих ділянках колії розроблено в методиці д.т.н., проф. О.П. Ершкова в фундаментальних дослідженнях [1]. Цей метод розроблений на підставі аналізу результатів теоретичних та експериментальних досліджень взаємодії на колію різних типів рухомого екіпажу. Метод дозволяє проводити оцінку величини та характеру зміни горизонтальних поперечних сил в кривих ділянках колії при русі різноманітних та складних в конструктивному відношенні типів рухомого екіпажу. При його застосуванні встановлюється швидкість руху поїздів, перевіряється поперечна стійкість колії, визначаються напруження, що виникають в підшві рейки, відтискання головки рейки, сили тиску рейки на проміжні рейкові скріплення. Заключні результати теоретичних досліджень О.П. Ершкова представлені у вигляді побудови графіків-паспортів для різних типів рухомого складу, по яких виражають залежність горизонтальних поперечних сил, що діють на колію (направляючих, рамних і бокових) від непогашеного відцентрового прискорення a_{nn} , величина якого, у свою чергу, залежить від трьох найважливіших характеристик: радіуса кривої R , підвищення зонішньої рейки h і швидкості руху екіпажу V .

Професором О.П. Ершовим складені наближені формули (при постійному коефіцієнті тертя $\mu = const$), які наведені в таблиці 1, для визначення поперечних сил, що діють на колію від коліс рухомого складу у вигляді:

$$Y = Y_0 + b \cdot a_{nn}, \quad (1)$$

де Y_0 – величина поперечної сили (напрявної, бокової, рамної) при $a_{nn} = 0$;

b – кут нахилу графікової лінії $Y = f(a_{nn})$.

Таблиця 1. Формули для визначення поперечних сил

Тип екіпажа	Сили, кг (приблизно)		
	Напрявна Y_{1-n}	Бокова ² $Y_{1-n} = Y_{1-n} - H_{1-n}$	Рамна $Y_{1-n} = Y_{1-n} - H_{1-n} - H_{1-g}$
Двовісний вагон	4780+1600a	2800+1500a	900+1700a
Двовісна цистерна	5810+1900a	3350+1800a	1060+200a
Чотиривісний вагон на візках ЦНП-ХЗ-О	8200+ +2500	5400+2500a	3150+2600a
Шестивісний вагон без розбігу середньої осі	10120+2900a	6700+2800a	4800+3100a
Шестивісний вагон з розбігом середньої осі УВЗ-9 ^м	7430+3500a	4500+3000a	2200+3500a
Пасажирський вагон ЦМВ	5490+1950a	3400+1750a	1600+1950a
Пасажирський вагон на візках КВЗ-ЦНП	5540+1700a	3650+1450a	2100+1700a
Електровоз ВЛ80:			
без зчленування візків ³	8150+2500a	5100+2250a	2500+2500a
із зчленуванням візків ³ $R=1000$ м	6250+2100a	3400+2000a	7500+2200a
Електровоз ВЛ60 (з розбігом середньої осі) $R=1000$ м	7900+2800a	4800+2600a	2200+2800a
Тепловоз ТЕП60 (з розбігом середньої осі) $R=1000$ м	6800+3500a	4250+3500a	1700+3500a
Тепловоз ТЕ7 (без розбігів осей)	10500+3500a	5200+3500a	1700+3500a
Електропоїзд ЕР22	8700+2400a	5800+2200a	3500+2400a
Електропоїзд ЕР1	6700+2100a	4300+1900a	2350+2000a

¹Всі формули отримані з розрахунків при коефіцієнті тертя коліс по рейках $f=0,25$.

²Бокові сили визначені з урахування перевантаження рамних сил.

³Формули для локомотива із зчленованими візками можуть бути застосовані в кривих радіусом 1000 м (від 750 до 1250 м); для незчленованих візків формули не залежать від радіуса.

*У розрахунках був прийнятий момент відповідно до положення візків відносно кузова.

Графіки-паспорти побудовані професором О.П. Ершковым в 60-70-х роках минулого століття для тих типів рухомого складу, які в ті роки експлуатувалися.

На теперішній час українськими вченими внесені деякі доповнення і уточнення в методику проф. О.П. Єршкова, в тому числі щодо змінної величини коефіцієнта тертя при різних схемах вписування екіпажів. Крім того з'явилась необхідність визначення поперечних сил від нових типів рухомого складу [2].

У методі, який ми пропонуємо, при розрахунках поперечних горизонтальних сил за основу був прийнятий аналітичний метод О.П. Єршкова. Розроблена методика відрізняється від означеного методу проф. О.П. Єршкова в тому, що при розрахунках поперечних горизонтальних сил для нових та старих екіпажів, значення коефіцієнта тертя приймалось не рівне постійній величині $\mu \neq const$, а визначалось залежно від відносного проковзування коліс по рейці u/v . При цьому відносно проковзування розрізняється при різних умовах вписування і залежить від радіуса кривої і кута набігання коліс на рейку ($R \neq const, \alpha \neq const$). Де R – радіус кривої; α – кут набігання колеса на рейку, який визначається відношенням x/R ; x – відстань від напрямної першої осі до центра повороту візка.

Розрахункова схема вписування екіпажу в криву наведена на рис. 1.

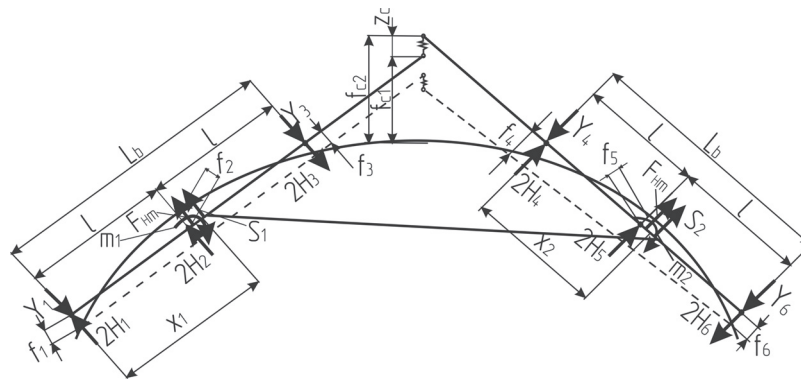


Рис. 1. Розрахункова схема вписування екіпажу в криву із зчленованими візками

Y_i – напрямні сили, H_i – поперечні складові сил тертя, l – відстані між осями колісних пар у візку, f_i – відстані точок гребенів коліс від зовнішньої рейкової нитки, L_b – довжина жорсткої бази візка, m_i – діючі моменти між кузовом та візком, S_i – діючі сили між кузовом та візком, f_{ci} величини стріл між рейковою ниткою та рамою візка у місці зчленування

Рівняння рівноваги сил в поперечній горизонтальній площині під час руху екіпажа по кривій згідно з методикою д.т.н. проф. О.П. Єршкова та розрахунковою схемою вписування (рис. 1) має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_1, Y_3) \\ F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_4, Y_6) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При відсутності зчленування візків система рівнянь (2) має два невідомих x_1, x_2 чи Y_3, Y_6 . Для екіпажів зі зчленованими візками порядок розрахунку повинен забезпечувати при даній установці екіпажа швидке знаходження величини внутрішньої сили K в зчленуванні або переміщення кінців рами в зчленуванні z_c . Для цього складається система необхідних функцій:

$$\left. \begin{aligned} F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_4, Y_3), \\ F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, f_4, Y_6), \\ F_{нк} &= f(x_1, x_2, K, Y_4, Y_6), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$K = f(x_1, x_2, f_4), \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} f_4 &= f(x_1, x_2, f_1), \\ f_3 &= f(x_1, f_1), \\ f_6 &= f(x_2, f_4). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

На рис. 2 наведено приклад побудови графік-паспорта для локомотива ДС-3. Із аналізу побудованого графік-паспорта видно, що для екіпажів, які не мають зчленованих візків, графіки залежності поперечних сил від непогашених поперечних прискорень являють собою пряму лінію чи слабо вигнуту криву опуклістю вверх, в сторону збільшення поперечних сил (рис. 2). Проведені розрахунки підтверджують справедливості залежностей (1).

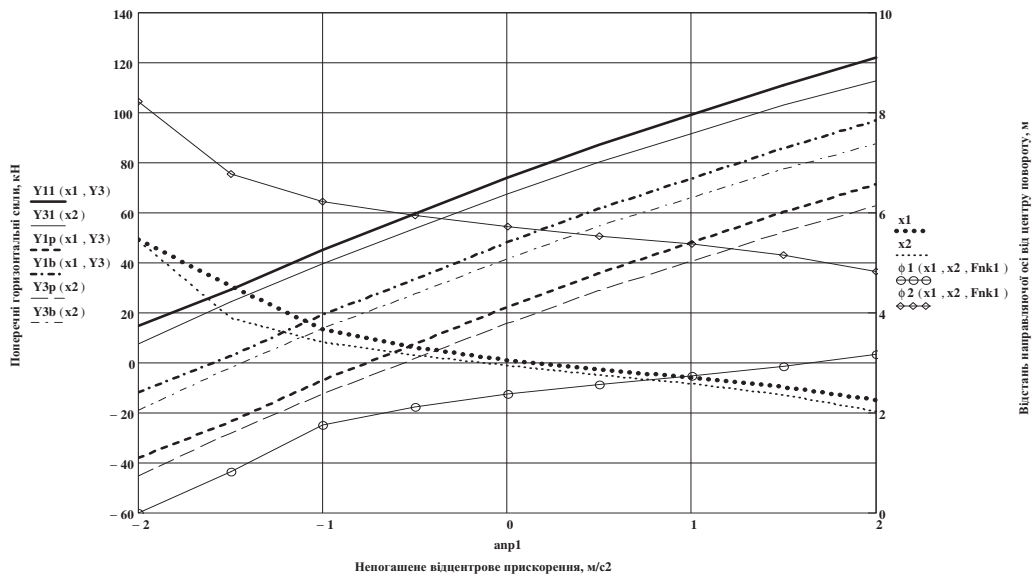


Рис. 2. Графік-паспорт локомотива ДС-3 для кривої радіусом 300 м

x_1 – відстань від напрямної першої осі візка до центра повороту першого візка;
 x_2 – відстань від напрямної першої осі візка до центра повороту другого візка;
 ϕ_1 – кут повороту першого візка; ϕ_2 – кут повороту другого візка; Y_{11} – напрямна сила першого візка; Y_{31} – напрямна сила другого візка; Y_{1p} – рамна сила першого візка; Y_{1b} – бокова сила першого візка; Y_{3p} – рамна сила другого візка; Y_{3b} – бокова сила другого візка

Для екіпажів із зчленованими візками дана залежність залишається справедливою в межах одного етапу вписування. Тому для точного визначення діючої поперечної сили необхідно користуватися графік-паспортами наведеними у [3].

Виконані розрахунки підтвердили в цілому запропоновану О.П. Ершковим [1] методику розрахунків вписування екіпажів в криві ділянки колії для екіпажів із складною системою зв'язку кузова та візків.

На основі прийнятої методики [1] проведені перевіірочні розрахунки для побудови графік-паспортів для екіпажів, які є типовими для вітчизняних залізниць і вже тривалий

час експлуатуються: вантажного вагона на 4-х вісних візках ЦНІІ-ХЗ, пасажирського вагона на візках КВЗ- ЦНІІ, локомотивів ЧС 2, ЧС 4, ВЛ 80, ТЕП 60.

Також за використанням нової запропонованої методики виконані розрахунки і побудовані графік-паспорти для нових екіпажів: пасажирського вагона на візках моделі 68-7012, локомотивів сучасного виробництва ДС-3 та ЧС 8. Розрахунки виконані для кривих радіусів 300 м, 600 м, 1000 м. Нижче в табл. 2 наведені результати даних рохрахунків.

Таблиця 2. Формули для визначення поперечних сил залежно від непогашеного поперечного прискорення

Екіпаж	Напрям. сила Y_1 , кН	Бокова сила Y_6 , кН	Рамна сила Y_p , кН
1	2	3	4
Візок ЦНІІІ-ХЗ, R=300 м	$83,44+13,73 \cdot a_{\text{нп}}$	$59,34+13,97 \cdot a_{\text{нп}}$	$35,23+14,2 \cdot a_{\text{нп}}$
Візок ЦНІІІ-ХЗ, R=600 м	$74,45+13,28 \cdot a_{\text{нп}}$	$53,32+13,51 \cdot a_{\text{нп}}$	$32,2+13,74 \cdot a_{\text{нп}}$
Візок ЦНІІІ-ХЗ, R=1000 м	$64,74+13,14 \cdot a_{\text{нп}}$	$46,69+13,37 \cdot a_{\text{нп}}$	$28,64+13,31 \cdot a_{\text{нп}}$
Візок КВЗ- ЦНІІІ, R=300 м	$53,85+20,45 \cdot a_{\text{нп}}$	$37,16+18,69 \cdot a_{\text{нп}}$	$20,54+20,91 \cdot a_{\text{нп}}$
Візок КВЗ- ЦНІІІ, R=600 м	$47,86+20,77 \cdot a_{\text{нп}}$	$32,05+17,01 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,65+20,23 \cdot a_{\text{нп}}$
Візок КВЗ- ЦНІІІ, R=1000 м	$41,89+20,53 \cdot a_{\text{нп}}$	$29,41+21,05 \cdot a_{\text{нп}}$	$16,92+21,39 \cdot a_{\text{нп}}$
Візок моделі 68-7013, R=300 м	$44,33+27,72 \cdot a_{\text{нп}}$	$25,25+23,98 \cdot a_{\text{нп}}$	$11,17+28,24 \cdot a_{\text{нп}}$
Візок моделі 68-7013, R=600 м	$39,31+19,35 \cdot a_{\text{нп}}$	$27,1+19,49 \cdot a_{\text{нп}}$	$10,88+19,64 \cdot a_{\text{нп}}$
Візок моделі 68-7013, R=1000 м	$35,03+16,52 \cdot a_{\text{нп}}$	$24,74+16,65 \cdot a_{\text{нп}}$	$9,46+16,77 \cdot a_{\text{нп}}$
ВЛ 80 без зчленування, R=300 м	$79,87+25,43 \cdot a_{\text{нп}}$	$52,77+25,6 \cdot a_{\text{нп}}$	$25,67+25,78 \cdot a_{\text{нп}}$
ВЛ 80 без зчленування, R=600 м	$71,17+25,27 \cdot a_{\text{нп}}$	$47,42+25,45 \cdot a_{\text{нп}}$	$23,68+25,62 \cdot a_{\text{нп}}$
ВЛ 80 без зчленування, R=1000 м	$64,05+25,05 \cdot a_{\text{нп}}$	$42,64+25,32 \cdot a_{\text{нп}}$	$21,24+25,42 \cdot a_{\text{нп}}$
ВЛ 80 із зчленованими візками, R=300 м	По графік- паспорту	По графік- паспорту	По графік- паспорту
ВЛ 80 із зчленованими візками, R=600 м	По графік- паспорту	По графік- паспорту	По графік- паспорту
ВЛ 80 із зчленованими візками, R=1000 м	По графік- паспорту	По графік- паспорту	По графік- паспорту
ЧС 2 при відсутності зчленування візків, R=300 м	$85,37+29,4 \cdot a_{\text{нп}}$	$60,31+29,46 \cdot a_{\text{нп}}$	$35,25+29,51 \cdot a_{\text{нп}}$
ЧС 2 при відсутності зчленування візків, R=600 м	$78,18+25,76 \cdot a_{\text{нп}}$	$56,22+25,81 \cdot a_{\text{нп}}$	$34,27+25,85 \cdot a_{\text{нп}}$

1	2	3	4
ЧС 2 при відсутності зчленування візків, R=1000 м	$54,93+41,08 \cdot a_{\text{нп}}$	$36,61+41,16 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,29+41,24 \cdot a_{\text{нп}}$
ЧС 4 при відсутності зчленування візків, R=300 м	$65,93+36,63 \cdot a_{\text{нп}}$	$40,87+35,69 \cdot a_{\text{нп}}$	$15,81+36,74 \cdot a_{\text{нп}}$
ЧС 4 при відсутності зчленування візків, R=600 м	$63,43+31,1 \cdot a_{\text{нп}}$	$41,45+31,18 \cdot a_{\text{нп}}$	$19,47+31,26 \cdot a_{\text{нп}}$
ЧС 4 при відсутності зчленування візків, R=1000 м	$55,87+34,5 \cdot a_{\text{нп}}$	$37,1+34,59 \cdot a_{\text{нп}}$	$18,34+34,2 \cdot a_{\text{нп}}$
ЧС 8, ЧС 7; R=300 м	По графік-паспорту	По графік-паспорту	По графік-паспорту
ЧС 8, ЧС 7; R=600 м	По графік-паспорту	По графік-паспорту	По графік-паспорту
ЧС 8, ЧС 7; R=1000 м	По графік-паспорту	По графік-паспорту	По графік-паспорту
ДС 3; R=300 м	$74,12+25,26 \cdot a_{\text{нп}}$	$43,25+25,49 \cdot a_{\text{нп}}$	$22,38+25,72 \cdot a_{\text{нп}}$
ДС 3; R=600 м	$65,28+25,06 \cdot a_{\text{нп}}$	$42,61+25,3 \cdot a_{\text{нп}}$	$19,94+25,53 \cdot a_{\text{нп}}$
ДС 3; R=1000 м	$55,85+24,9 \cdot a_{\text{нп}}$	$36,49+25,12 \cdot a_{\text{нп}}$	$17,13+25,43 \cdot a_{\text{нп}}$

Висновки

1. Розроблено і запроєктовано удосконалену методику визначення горизонтальних поперечних сил, що діють на колію від коліс рухомого складу. Нова методика дозволяє проводити облік впливу на поперечні сили параметрів та характеристик конструкції рухомого складу, стану екіпажу та колії без врахування сил інерції, які виникають за рахунок коливання підресорених та непідресорених частин екіпажа.

2. Розроблений метод вписування дозволяє в широкому діапазоні швидкостей, радіусів кривих і підвищення зовнішньої рейки визначати вплив на рівень поперечних сил: змінної величини коефіцієнта тертя колеса по рейці при різних схемах вписування, демпфіруючого моменту, зчленування візків (вплив попереднього натискання та жорсткості пружин в зчленуванні), поворотальних пристроїв в опорах кузова з різними характеристиками жорсткості, розбігів в осях.

3. Побудова графік-паспортів дозволяє отримати поперечні сили від швидкості руху, радіуса кривої та підвищення зовнішньої рейки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Построение графиков удельных характеристик и графиков-паспортов вписывания железнодорожных экипажей в кривые (теоретические основы): [сбор. науч. труд. ЦНИИ МПС]. – 1963. – Вып. 268. – С. 64–125.
2. Даніленко Е. І. Залізнична колія / Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом / : [монографія] (у 2-х томах). – К.: Інпрес, 2010. – С. 984.
3. Твердомед В. М. Вплив поперечних та поздовжніх горизонтальних сил на роботу безпідкладкової та підкладкової конструкції рейкової колії: [дис. кандидата технічних наук: 05.22.06] / Твердомед Володимир Миколайович. – К., 2010. – 241 с.

Олексій Трихліб

АНАЛІЗ ВИТРАТ ПАЛИВА ТЕПЛОВОЗОМ З ОБЛІКОМ ФАКТИЧНО ВИКОНАНОЇ РОБОТИ

В статті проведено аналіз умов експлуатаційної роботи тепловозів та чинників, що впливають на енергетичні витрати. Викладені принципи скорочення витрати дизельного палива за рахунок удосконалення обліку фактично виконаної поїзної та маневрової роботи.

В статье проведен анализ условий эксплуатационной работы тепловозов и факторов, влияющих на энергетические затраты. Изложены принципы сокращения расхода дизельного топлива за счет совершенствования учета фактически выполненной поездной и маневровой работы.

The analysis of the operational conditions of the locomotive and the factors affecting energy consumption. The principles of reducing diesel consumption by improving accounting actually performed train and shunting.

Економія дизельного палива завжди була пріоритетним напрямом енергетичної стратегії залізничного транспорту. Сьогодні при постійному збільшенні вартості дизельного палива, зростанні його дефіциту і частки витрат на паливо в загальних витратах на перевезення, значення заходів, що направлені на скорочення витрат дизельного палива, збільшується.

Постановка проблеми, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Серед заходів, направлених на скорочення витрати палива при експлуатації тепловозів особливе місце займають дії із забезпечення детального, достовірного обліку і контролю за використанням дизельного палива при безпосередньому здійсненні перевізного процесу або маневрових переміщеннях.

Аналізуючи існуючі і запропоновані методи оцінки витрати палива тепловозами на поїзду і маневрову роботу треба зазначити, що величина годинної витрати палива визначена за даними ТХО-5 з урахуванням сумарної витрати палива і загального бюджету часу тепловоза за даний період є достатньо достовірною:

$$V_{\text{год}} = \frac{B_{\text{рух}} + B_{\text{ден}}}{t},$$

де $B_{\text{рух}}$ – фактична витрата палива у русі, кг;

$B_{\text{ден}}$ – фактична витрата палива у депо, кг;

t – бюджет часу роботи локомотива за розглянутий період, год.

У цьому випадку витрата палива конкретним локомотивом за зміну складе, кг/зміна

$$V_{\text{зм}} = 11,5 \cdot V_{\text{год}},$$

де – 11,5 – час роботи дизель-генераторної установки тепловоза за зміну, год.

Немає особливих складнощів у статистичному визначенні низки інших параметрів, що характеризують роботу і технічний стан тепловоза, наприклад,

© *Трихліб О. Д., 2012*

– питома витрата палива локомотивом на одиницю лінійного і загального пробігу, кг/км:

$$q_{л} = \frac{B_{пyx} + B_{ден}}{S_{л}},$$
$$q_{о} = \frac{B_{пyx} + B_{ден}}{S}$$

де $S_{л}$ – лінійний пробіг локомотива, км;
 S – загальний пробіг локомотива, км.

– середньоексплуатаційна економічність дизель-генератора тепловоза з номінальною потужністю N_{ei}

$$q_{еср} = \frac{B_{пyx} + B_{ден}}{N_{ei} \cdot t},$$

Проте отримані дані не дозволяють забезпечити абсолютну повноту і об'єктивність показників через невраховані можливі непродуктивні втрати дизельного палива. Більш точні результати можна отримати аналізуючи витрати палива тепловозом з урахуванням фактично виконаної роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання достовірного обліку, контролю і аналізу витрати палива тепловозами в процесі експлуатації є достатньо актуальними і на різних етапах вивчення і розв'язання даної проблеми великий внесок у розвиток науково-практичних досліджень внесли відомі вчені: Третяків А.П., Мугинштейн Л.А., Коссов Е.Е., Балабін В.Н., Гріщенко А.В., Фофанов Г.А., Какоткин В.З., Молчанов А.І., Головаш А.Н., Грачев В.В. і багато інших.

Разом з оглядовими статтями, що аналізують можливі методи дослідження і узагальнюють отримані результати [1,2], характеризувалася ефективність використання вже вживаних на практиці розробок [3,4]. У зв'язку з інтенсивним розвитком електроніки, елементної бази, зниженням вартості на апаратуру транспортного виконання, останніми роками створені і знаходять застосування на тепловозах, що експлуатуються на залізницях України й інших країн, системи контролю БІС-Р, РПРТ, БОРТ, АСК-ВІС і ін. [5–8]. Проте наявність бортової системи контролю на тепловозі не забезпечує повної автоматизації обліку палива і не виключає впливу «людського фактора».

Ціль дослідження полягає в пошуку шляхів визначення цілком доступних і достатньо повних і достовірних показників, що характеризують витрату дизельного палива тепловозами з урахуванням фактично виконаної ними перевізної роботи, отримання яких не потребує кардинального перетворення існуючих вимірювальних систем.

Основна частина. Попри появу різних контролюючих систем, витрати палива та непродуктивні його втрати продовжують залишатися деколи неврахованими. До непродуктивних втрат дизельного палива в процесі експлуатації тепловозів можна віднести розкрадання дизельного палива шляхом порушення цілісності з'єднань елементів паливної системи, забирання з паливного бака за допомогою шланга, штучне завищення фактичної витрати дизельного палива за зміну при заповненні маршруту машиніста і бортового журналу, підігрів палива в баку в літній період і інші «хитро-мудрі» дії, на які йдуть деякі несумлінні машиністи.

Якщо орієнтуватися тільки на початкові показники рівня палива в баку і показники рівня в кінці зміни, то багато з вище наведених хитрувань можуть бути не виявлені.

Для достовірного зрівняння фактичної витрати з теоретично обґрунтованою (розрахунковою) необхідно знати кількість виконаної тепловозом роботи. Навіть для тепло-

возів, задіяних у вантажному і пасажирському русі, виконана робота характеризується особливостями, залежними від маси поїзда і його середнього осьового навантаження, довжиною пройденого шляху та його профілем, режимами руху й ін. Для маневрових тепловозів різноманітність видів навантаження значно розширюється.

Крім безпосередньо маневрових операцій (витяг, надвиг, розпуск, перестановка, рух сполучними коліями з відносно крутими підйомами та ін.) присутня господарська робота (в ПЧ, КМС, ШЧ, з відбудовними і пожежними поїздами, із снігоприбиральною технікою та ін.), вантажна (вивіз)на робота на ділянках малої довжини, пасажирська (приміська) робота.

Такий широкий спектр роботи використовують для визначення її об'єму, як можливості використання ухвалених для магістральних тепловозів вимірювачів роботи (тонно-км брутто, 100 км лінійного пробігу), так і наявності інших оцінних характеристик, оскільки ухвалені вимірювачі для характеристики завантаження маневрових локомотивів (1 година роботи, 100 кілометрів пробігу) є недостатньо адекватними.

В процесі перетворення енергії, використаної тепловозом для реалізації свого виробничого призначення, задіяний не тільки дизель, а й тяговий генератор, тягові електродвигуни, різні допоміжні агрегати і системи. Тому для точної розрахункової оцінки витрати первинного джерела енергії (дизельного палива) необхідно враховувати низку інших показників.

Сучасні системи автоматичного обліку і контролю дозволяють виявити і проаналізувати практично весь перелік необхідних параметрів. При цьому більшість із них, як правило, обов'язково фіксують показники найважливіших елементів енергетичного ланцюга локомотива (струм і напруга ТГ), тобто кількість електричної енергії, виробленої тяговим генератором, яка дозволяє безперервно відстежувати реалізовану потужність локомотива і відповідно необхідні для цього витрати енергії.

Маючи дані за даний період роботи тепловоза (зміну) про реалізовану потужність на режимах навантажень і часі роботи тепловоза на холостому русі (з урахуванням позицій контролера, що застосовувалися), можна, використовуючи витратні характеристики, наведені на рис. 1 і 2, підрахувати розрахункові значення витрати палива.

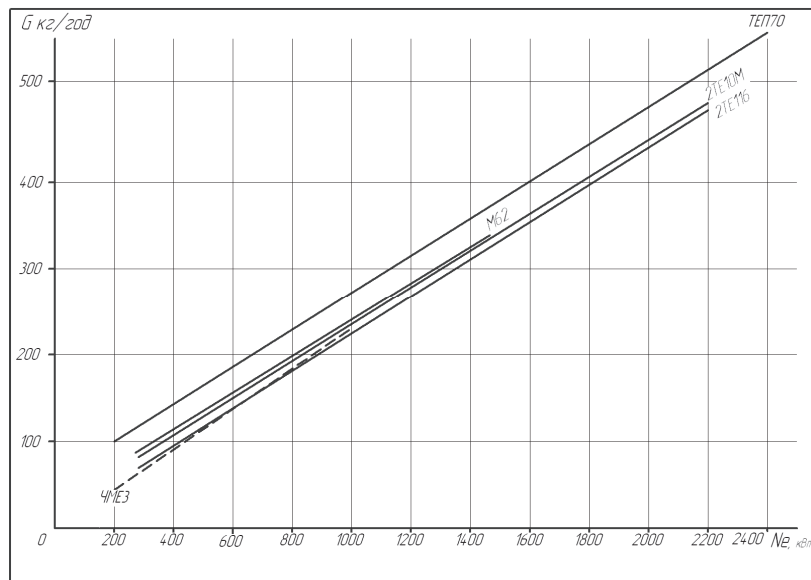


Рис. 1. Залежність годинної витрати палива тепловозних дизелів від потужності, яку вони реалізують

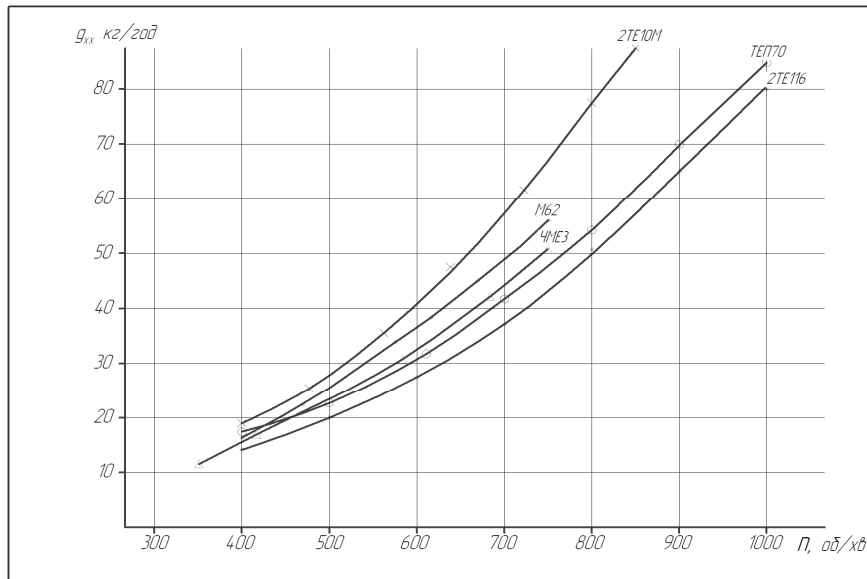


Рис. 2. Залежність годинної витрат палива тепловозних дизелів при роботі на холостому русі від частоти обертання колінчатого валу

Порівнюючи цю величину з фактичною витратою палива можна фіксувати технічні неполадки тепловоза, що виявляються, а також необґрунтовані витрати дизельного палива. Треба зазначити, що на рис. 1 і 2 подані, «стендові» значення годинної витрат дизелів тепловозів без урахування втрат на привід допоміжних механізмів. Для повного обліку енергії дизеля потрібна фіксація режимів роботи цих агрегатів або деяке завищення годинної витрат за рахунок введення обґрунтованих коефіцієнтів впливу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грищенко А.В. Учет топлива и масла – современные средства измерений / А.В.Грищенко, В.В.Грачев, Ф.Ю.Базилевский, М.А.Грищенко // Локомотив. – 2009. – № 2. – С. 33–36.
2. Балабин В.Н. Существующие системы измерения расхода топлива / В.Н.Балабин, В.В. Домогацкий // Локомотив. – 2003. – № 2, № 3.
3. Молчанов В.В. Системы комплексного контроля XXI века // Локомотив. – 2009. – № 7. – С. 14–15.
4. Лукаш В.Н. Метрштоки уходят в прошлое // Локомотив-информ. – 2007. – № 10. – С. 22–23.
5. Дробаха В.І. Результати практичного впровадження систем «БІС-Р» / В.І.Дробаха, О.Д.Трихліб, А.М.Каплун // Локомотив-информ. – 2007. – № 9. – С. 24–25.
6. Мугинштейн Л.А. Совершенствование системы учета и контроля расхода топлива маневровых тепловозов / Л.А.Мугинштейн, А.И.Молчанов, К.М.Попов // Вестник ВНИИЖТ. – 2010. – № 1. – С. 8–18.
7. Головаш А.Н. Опыт использования бортовых систем / А.Н.Головаш, В.М.Бочаров, С.М.Кузнецов // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 2. – С. 38–40.
8. Грачев В.В. Оценка точности измерения количества топлива в баке тепловоза гидростатическим измерителем / В.В.Грачев, Ф.Ю.Базилевский, П.А.Черемисинов, А.В.Попов // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 5. – С. 29–32.

*Тетяна Шелейко
Юрій Водянніков
Сергій Свистун*

ЗАСТОСУВАННЯ ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ ГАЛЬМІВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ

Наведені розрахункові залежності і алгоритм оцінювання розкидів значень визначуваних величин гальмівних характеристик одиниць рухомого складу для заданої довірчої імовірності.

Предложены расчетные зависимости и алгоритм оценивания разбросов значений определяемых величин тормозной эффективности единиц подвижного состава при заданной доверительной вероятности.

There are the calculated dependence and estimation algorithm dispersion defined of braking efficiency unit of a rolling stock by value at specified confidence probability.

Ключові слова: невизначеність вимірювань, рухомий склад, метод кидання, гальмівна ефективність.

Актуальність теми. Подальше удосконалення гальмівного обладнання, з урахуванням прийнятого напрямку українських залізниць на створення вантажних і пасажирських вагонів нового покоління з покращеними техніко-економічними показниками [1-4]. Однією з найактуальніших задач є розроблення більш досконалих методів дослідження гальмівної ефективності одиниць рухомого складу та інтерпретації отриманих результатів.

Найбільш повну і достовірну інформацію стосовно властивостей гальмівної системи та її характеристик можна отримати лише за результатами випробувань на натурних зразках в реальних умовах експлуатації [5-8]. Тому одним з важливіших етапів дослідження гальмівної ефективності є проведення поїзних гальмівних випробувань досліджуваного вагона. Методика експериментального дослідження гальмівної ефективності вагона базується на вимірюваннях гальмівного шляху вагона за різних швидкостей руху на початку гальмування і має низку специфічних особливостей, до основних з яких належить розгін вагона до початкової швидкості гальмування з наступним гальмуванням і вимірюванням гальмівного шляху лише досліджуваного об'єкта. Це потребує формування дослідного поїзда, до складу якого, крім дослідного вагона, мають входити локомотив і вагон-лабораторія з вимірювальною апаратурою. У практиці експериментальних досліджень метод «кидання» (рис. 1) є найбільш точним і достовірним з існуючих на сьогодні методів експериментального визначення гальмівного шляху [5-8], хоча його застосування має високий ступінь ризику з погляду безпеки руху і тому вимагає обов'язкового огороження всієї ділянки колії, де проводяться випробування, оскільки «кинутий» вагон до повної зупинки рухається самостійно, без керування, під дією тільки своєї гальмівної сили.

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

За отриманими шляхами гальмування дослідного вагона визначають розрахункові коефіцієнти сили натиснення гальмівних колодок. При цьому важливого значення набувають питання аналізу і оцінки результатів гальмівних випробувань та ухвалення рішення про їх відповідність або невідповідність нормативним вимогам [9-14] саме зараз, коли традиційний підхід в оцінюванні точності вимірювань, базований на понятті «похибка вимірювань», що є кількісною характеристикою відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини, не достатньо відповідає сучасним вимогам і все більшого розповсюдження знаходять імовірнісні методи оцінювання результатів випробувань, базованих на понятті «невизначеність вимірювань» (або просто «невизначеність») – параметрі, що характеризує розсіяння значень, які обґрунтовано могли б бути приписані вимірюваній величині – новому підходу в оцінюванні якості вимірювань [15], розробленого з ініціативи Міжнародного комітету мір і ваг та введеного в дію в Україні у 2006 році як ДСТУ-Н РМГ 43-2006 [16].

Мета статті. Запропонувати розрахункові залежності і алгоритм оцінювання розкидів значень визначуваних величин гальмівних характеристик одиниць рухомого складу для заданої довірчої імовірності.

Викладення основного матеріалу. Базовий алгоритм розрахунку невизначеності вимірювань складається з таких операцій [14, 16]:

- складання модельного рівняння;
- оцінювання вхідних величин, внесення виправлень на відомі систематичні ефекти;
- оцінювання результатів вимірювань;
- визначення стандартних невизначеностей вхідних величин як стандартних середньоквадратичних відхилень;
- визначення коефіцієнтів чутливості;
- обчислення внеску невизначеності кожної вхідної величини у невизначеність величини, яку вимірюють;
- визначення попарної кореляції вхідних величин (за необхідності);
- обчислення сумарної стандартної невизначеності величини, яку вимірюють;
- обчислення коефіцієнта покриття;
- обчислення розширеної невизначеності величини – інтервалу навколо результату вимірювання, у межах якого, як можна очікувати, знаходиться більша частина розподілу значень, котрі достатньо обґрунтовано могли б бути приписані вимірюваній величині.

Невизначеність вимірювання гальмівного шляху S

У разі гальмівних поїзних випробувань одиночного вагона методом кидання модельне рівняння для визначення гальмівного шляху має вид:

$$S = S^{обч} + \sum \Delta_S, \tag{1}$$

де $S^{обч}$ – значення величини гальмівного шляху, м, обчислене за формулою:

$$S^{обч}(V_0) = N \cdot l_k, \tag{2}$$

N – кількість обертів колеса від початку гальмування до повної зупинки вагона або дослідного поїзда, об.;

l_k – довжина поверхні кочення колеса, на якому встановлені датчики обертів, м/об.;

$\sum \Delta_S$ – сумарна похибка вимірювання гальмівного шляху, м:

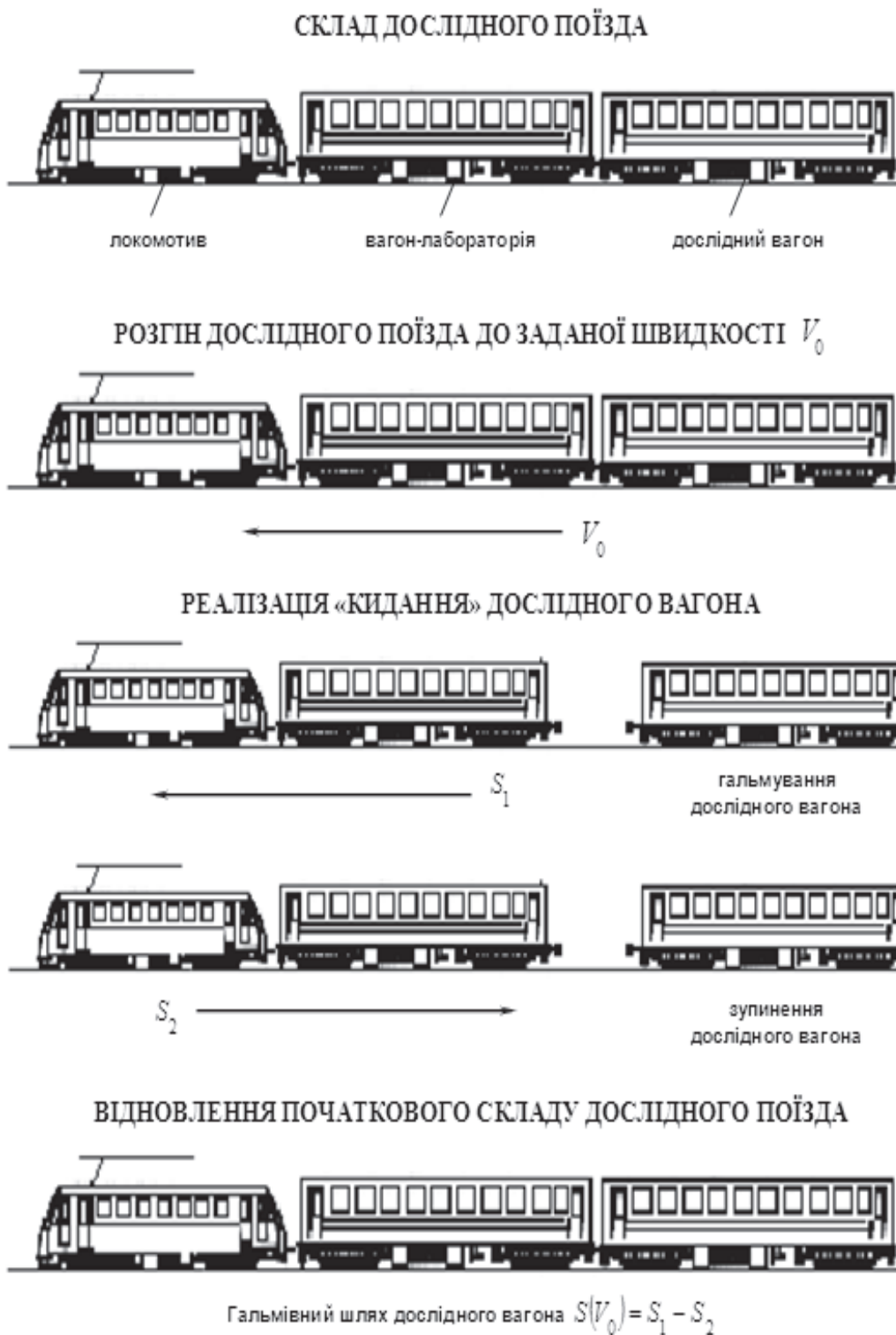


Рис. 1. Реалізація методу кидання

$$\sum \Delta_S = f\left(\sum \Delta_N, \sum \Delta_{l_k}, \Delta_{S_{V_0}}, \sum \Delta_{V_0}\right), \quad (3)$$

де $\sum \Delta_N$ – сумарна похибка вимірювання кількості обертів колеса, об.;

$\sum \Delta_{l_k}$ – сумарна похибка вимірювання довжини поверхні кочення колеса, м;

$\Delta_{S_{V_0}}$ – похибка, зумовлена апроксимацією результатів вимірювань гальмівного шляху і швидкості руху на початку гальмування вагона аналітичною залежністю, м;

$\sum \Delta_{V_0}$ – сумарна похибка визначення швидкості руху на початку гальмування, м/с.

Невизначеність вимірювань кількості обертів колеса N

Модельне рівняння:

$$N = N_{вим} + \sum \Delta_N, \quad (4)$$

де $N_{вим}$ – значення величини кількості обертів колеса, визначене однократним вимірюванням, об.

Сумарна похибка вимірювання кількості обертів колеса $\sum \Delta_N$ визначається лише похибкою Δ_{n_δ} , яка залежить від кількості імпульсів, що генеруються встановленими на осі колісної пари датчиками обертів колеса за один оберт колеса, n_δ . У разі проведення випробувань методом «кидання», враховується як рух зчепу від точки розчеплення до його зупинки S_1 , так і його зворотній рух до випробовуваного вагона S_2 (див. рис. 1):

$$\sum \Delta_N = \Delta_{n_\delta} = \frac{1}{2 \cdot n_\delta}. \quad (5)$$

Стандартна невизначеність вимірювання кількості обертів колеса визначається з урахуванням формули (5) і рівномірного закону розподілу НСП:

$$u_{\Delta_N} = \frac{\Delta_{n_\delta}}{\sqrt{3}} = \frac{1}{2 \cdot n_\delta \cdot \sqrt{3}}. \quad (6)$$

Сумарна стандартна невизначеність вимірювання кількості обертів визначиться з урахуванням того, що вимірювання пряме, тобто коефіцієнт чутливості дорівнює 1:

$$u(N) = \sqrt{u_{\Delta_N}^2} = u_{\Delta_N} = \frac{1}{2 \cdot n_\delta \cdot \sqrt{3}}. \quad (7)$$

Невизначеність вимірювань довжини поверхні катання колеса l_k

Для визначення довжини поверхні катання колеса вимірюють відстань, пройдену колесом за фіксоване число обертів. Довжина кола визначається діленням заміряної відстані на кількість обертів колеса.

Модельне рівняння для визначення довжини кола колеса має вигляд:

$$l_k = l_k^{обч} + \sum \Delta_{l_k}, \quad (8)$$

де $l_k^{обч}$ – значення величини довжини кола колеса, м, обчислене за формулою:

$$l_k^{обч} = \frac{L}{m_{об}}, \quad (9)$$

$m_{об}$ – фіксована кількість обертів колеса;

L – шлях, що проходить колесо за $m_{об}$ обертів колеса, м.

Сумарна похибка вимірювання довжини кола колеса $\Sigma \Delta_{l_k}$, таким чином, визначається сумарною похибкою вимірювання L :

$$\Sigma \Delta_{l_k} = \Sigma \Delta_L = \Delta_L + \Delta_k + \Delta, \quad (10)$$

де Δ_L – основна похибка, зумовлена неточністю відмітки початку і кінця відліку,

$$\Delta_L = 10 \text{ мм};$$

Δ_k – похибка квантування, зумовлена ціною ділення шкали засобу вимірювання α_L , мм:

$$\Delta_k = \frac{\alpha_L}{2}; \quad (11)$$

Δ – систематична похибка, зумовлена засобом вимірювання. У разі вимірювання рулеткою завдовжки від 1 м до 10 м [17], мм:

$$\Delta = 0,30 + 0,15 \cdot (L - 1). \quad (12)$$

Сумарна стандартна невизначеність вимірювання довжини шляху L , що проходить колесо за $m_{об}$ обертів колеса, для рівномірного закону розподілу визначиться як:

$$\begin{aligned} u(L) &= \sqrt{\left(\frac{\Delta_L \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_k \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \\ &= \frac{10^{-3}}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\Delta_L^2 + \Delta_k^2 + \Delta^2} \end{aligned} \quad (13)$$

Сумарна стандартна невизначеність обчислення довжини кола колеса для рівномірного закону розподілу визначиться як:

$$u(l_k) = \sqrt{\left(\frac{\partial l_k}{\partial L} \cdot u(L)\right)^2} = \frac{10^{-3}}{m_{об} \cdot \sqrt{3}} \cdot \sqrt{\Delta_L^2 + \Delta_k^2 + \Delta^2}. \quad (14)$$

Невизначеність апроксимації результатів вимірювань гальмівного шляху і швидкості руху на початку гальмування вагона аналітичною залежністю S_{V_0}

Як апроксимуюча функція результатів вимірювань гальмівного шляху і швидкості на початку гальмування вагона приймається поліном другого ступеня:

$$S(V_0) = a \cdot V_0^2 + b \cdot V_0. \quad (15)$$

Вирівнювання експериментальних даних за рівнянням (15) проводилося методом найменших квадратів:

$$Y = \sum_{j=1}^q (S_j - (a \cdot V_{0j}^2 + b \cdot V_{0j}))^2, \quad (16)$$

де S_j – значення гальмівного шляху, визначені за результатами гальмівних випробувань, м;

$(a \cdot V_{0j}^2 + b \cdot V_{0j})$ – значення гальмівного шляху, визначене за формулою (15), м;

q – кількість j -х інтервалів, а саме завдання зводиться до визначення таких значень коефіцієнтів a і b , які мінімізують суму відхилень емпіричних значень і значень, обчислених за формулою. Для цього частинні похідні функції (16) з коефіцієнтами a і b прирівнюються нулю і система рівнянь для визначення невідомих коефіцієнтів має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial a} = \sum_{j=1}^q (S_j - (a \cdot V_{0j}^2 + b \cdot V_{0j})) \cdot V_{0j}^2 = 0; \\ \frac{\partial Y}{\partial b} = \sum_{j=1}^q (S_j - (a \cdot V_{0j}^2 + b \cdot V_{0j})) \cdot V_{0j} = 0, \end{cases} \quad (17)$$

Систему рівнянь (17) приводять до вигляду

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^q S_j V_{0j}^2 = a \sum_{j=1}^q V_{0j}^4 + b \sum_{j=1}^q V_{0j}^3; \\ \sum_{j=1}^q S_j V_{0j} = a \sum_{j=1}^q V_{0j}^3 + b \sum_{j=1}^q V_{0j}^2, \end{cases} \quad (18)$$

вирішуючи яку, знаходять:

$$a = \frac{\sum_{j=1}^q S_j V_{0j}^2 \sum_{j=1}^q V_{0j}^2 - \sum_{j=1}^q S_j V_{0j} \sum_{j=1}^q V_{0j}^3}{\sum_{j=1}^q V_{0j}^4 \sum_{j=1}^q V_{0j}^2 - (\sum_{j=1}^q V_{0j}^3)^2}, \quad (19)$$

$$b = \frac{\sum_{j=1}^q S_j V_{0j} \sum_{j=1}^q V_{0j}^4 - \sum_{j=1}^q S_j V_{0j}^2 \sum_{j=1}^q V_{0j}^3}{\sum_{j=1}^q V_{0j}^4 \sum_{j=1}^q V_{0j}^2 - (\sum_{j=1}^q V_{0j}^3)^2}. \quad (20)$$

Похибка, зумовлена апроксимацією результатів вимірювань гальмівного шляху і швидкості на початку гальмування вагона аналітичною залежністю, визначається за формулою:

$$\Delta_{S_{V_0}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^q (S_j - (a \cdot V_{0j}^2 + b \cdot V_{0j}))^2}{q-1}}, \quad (21)$$

а стандартна невизначеність визначення гальмівного шляху, зумовлена апроксимацією результатів його вимірювань, визначається за формулою:

$$u_{\Delta_{S_{V_0}}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^q (S_j - (a \cdot V_{0j}^2 + b \cdot V_{0j}))^2}{q \cdot (q-1)}}. \quad (22)$$

Невизначеність вимірювання швидкості руху на початку гальмування V_0 .

Моделне рівняння має вигляд:

$$V_0 = V_0^{обч} + \sum \Delta_{V_0}, \quad (23)$$

де $V_0^{обч}$ – значення швидкості руху на початку гальмування, м/с, обчислене за формулою:

$$V_0^{обч} = \frac{l_k \cdot N}{t}, \quad (24)$$

$\frac{N}{t}$ – кількість обертів, здійснених колесом за одну секунду, s^{-1} . Зазвичай підраховується кількість обертів за дві секунди і ділиться на 2;

$\Sigma \Delta_{V_0}$ – сумарна похибка визначення швидкості руху на початку гальмування, що складається з сумарної похибки визначення довжини поверхні качення колеса, на якому встановлені датчики обертів, сумарної похибки визначення кількості обертів колеса і сумарної похибки вимірювання часу $\Sigma \Delta_t$:

$$\Sigma \Delta_{V_0} = \Sigma \Delta_{l_k} + \Sigma \Delta_N + \Sigma \Delta_t. \quad (25)$$

$\Sigma \Delta_t$ залежить від рівня дискретизації приладу (частота опитування аналого-цифрового перетворювача задається від 10 кГц до 50 кГц), є малою величиною і в подальшому не враховується, тому сумарна стандартна невизначеність швидкості руху на початку гальмування визначається як:

$$\begin{aligned} u(V_0) &= \sqrt{\left(\frac{\partial V_0}{\partial l_k} \cdot u(l_k)\right)^2 + \left(\frac{\partial V_0}{\partial N} \cdot u(N)\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{N}{t} \cdot u(l_k)\right)^2 + \left(\frac{l_k}{t} \cdot u(N)\right)^2}, \end{aligned} \quad (26)$$

де $\frac{\partial V_0}{\partial l_k}$ і $\frac{\partial V_0}{\partial N}$ – коефіцієнти чутливості як частинні похідні вихідної величини:

$$\frac{\partial V_0}{\partial l_k} = \frac{N}{t}, \quad (27)$$

$$\frac{\partial V_0}{\partial N} = \frac{l_k}{t}. \quad (28)$$

Сумарна стандартна невизначеність гальмівного шляху визначиться як:

$$\begin{aligned} u(S) &= \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial N} \cdot u(N)\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial l_k} \cdot u(l_k)\right)^2 + u_{\Delta_{S_{V_0}}}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial V_0} \cdot u(V_0)\right)^2} = \\ &= \sqrt{(l_k \cdot u(N))^2 + (N \cdot u(l_k))^2 + u_{\Delta_{S_{V_0}}}^2 + ((2 \cdot a \cdot V_0 + b) \cdot u(V_0))^2}, \end{aligned} \quad (29)$$

де $\frac{\partial S}{\partial N}$, $\frac{\partial S}{\partial l_k}$ і $\frac{\partial S}{\partial V_0}$ – коефіцієнти чутливості як частинні похідні вихідної величини:

$$\frac{\partial S}{\partial N} = l_k, \quad (30)$$

$$\frac{\partial S}{\partial l_k} = N, \quad (31)$$

$$\frac{\partial S}{\partial V_0} = 2 \cdot a \cdot V_0 + b. \quad (32)$$

Коефіцієнт покриття визначається для ефективного числа ступенів свободи v_{eff}^S :

$$v_{eff}^S = \infty, \quad (33)$$

$$k = t_p(v_{eff}^S) = t_p(\infty) = 1,96. \quad (34)$$

Розширена невизначеність вимірювання гальмівного шляху визначається для кожної швидкості руху на початку гальмування як:

$$U(S) = k \cdot u(S) = 1,96 \cdot \sqrt{\left(l_k \cdot u(N)\right)^2 + \left(N \cdot u(l_k)\right)^2 + u_{\Delta S}^2 + \left((2 \cdot a \cdot V_0 + b) \cdot u(V_0)\right)^2}, \quad (35)$$

а запис повного результату вимірювання має вигляд:

$$S^{обч} \pm U(S), \quad p = 0,95. \quad (36)$$

Невизначеність вимірювання розрахункового коефіцієнта сили натиснення гальмівних колодок δ_p

Невизначеність виміру розрахункового коефіцієнта сили натиснення гальмівних колодок δ_p , у разі застосування метода «кидання», визначається функціональною залежністю розрахункового коефіцієнта від швидкості руху на початку гальмування V_0 і відповідній їй величини гальмівного шляху S вантажного поїзда [18], описуваного математичним виразом (рис. 2). Модельне рівняння при цьому має вигляд:

$$\delta_p = \delta_p^{обч} + \sum \Delta_{\delta_p}, \quad (37)$$

де $\delta_p^{обч}$ – значення розрахункового коефіцієнта сили натиснення гальмівних колодок, обчислене за формулою:

$$\delta_p^{обч}(V_0) = c(V_0) \cdot S(V_0)^d(V_0), \quad (38)$$

$c(V_0)$ і $d(V_0)$ – коефіцієнти рівняння (табл. 1) залежно від швидкості руху на початку гальмування;

$\sum \Delta_{\delta_p}$ – сумарна похибка обчислення розрахункового коефіцієнта сили натиснення гальмівних колодок:

$$\sum \Delta_{\delta_p} = \sum \Delta_S + \Delta_{cd}, \quad (39)$$

Δ_{cd} – похибка визначення коефіцієнтів c і d .

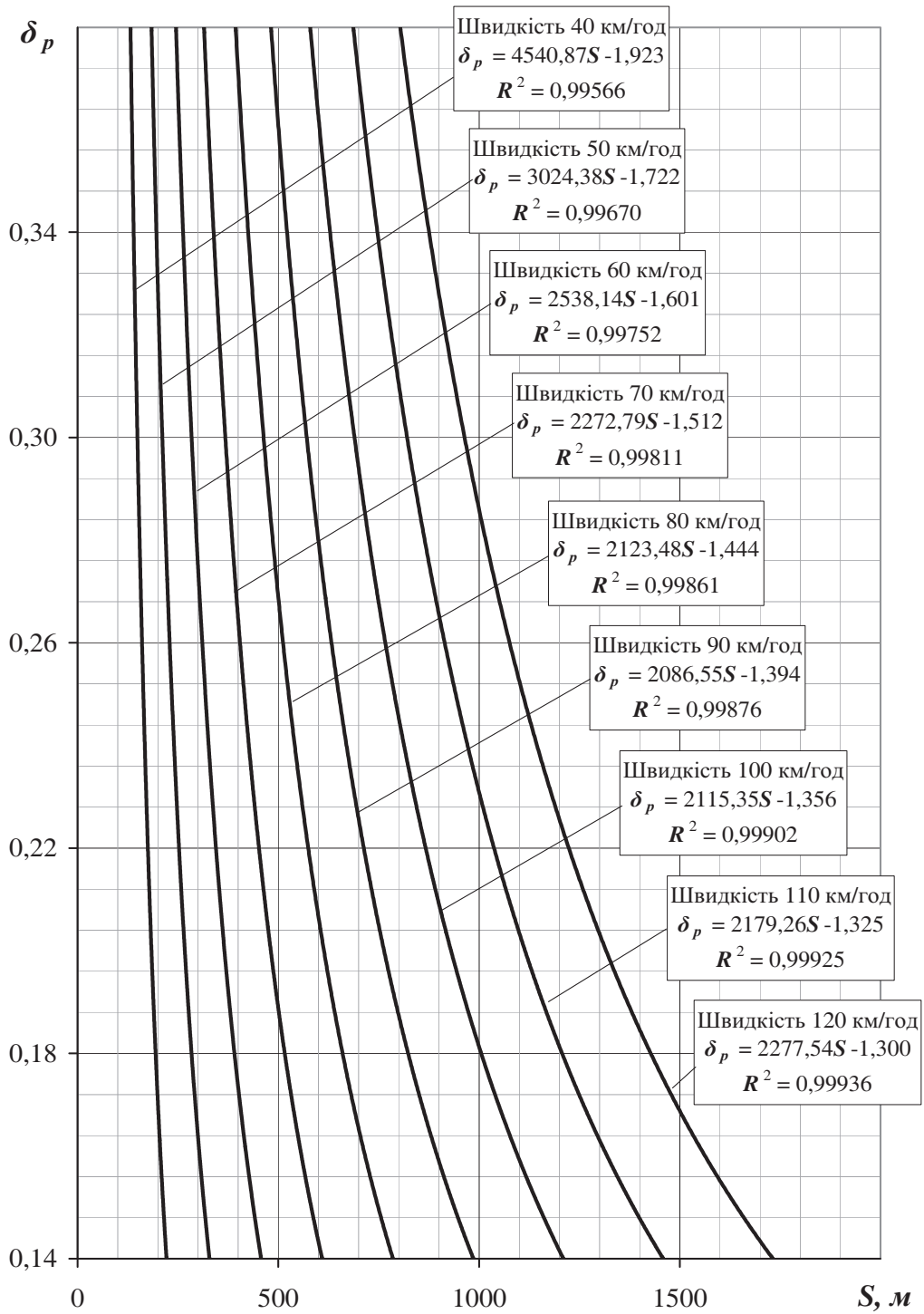


Рис. 2. Номограма визначення розрахункового коефіцієнта сили натиснення композиційних гальмівних колодок за величиною гальмівного шляху

Таблиця 1. Аналітичні залежності розрахункового коефіцієнта сили натиснення композиційних гальмівних колодок від величини гальмівного шляху вантажного поїзда

Швидкість руху на початку гальмування, км/год	Математичні залежності розрахункового коефіцієнта сили натиснення від величини гальмівного шляху вантажного поїзда
40	$\delta_p^{40} = 4540,87 \cdot S^{-1,923}$
50	$\delta_p^{50} = 3024,38 \cdot S^{-1,722}$
60	$\delta_p^{60} = 2538,14 \cdot S^{-1,601}$
70	$\delta_p^{70} = 2272,79 \cdot S^{-1,512}$
80	$\delta_p^{80} = 2123,48 \cdot S^{-1,444}$
90	$\delta_p^{90} = 2086,55 \cdot S^{-1,394}$
100	$\delta_p^{100} = 2115,35 \cdot S^{-1,356}$
110	$\delta_p^{110} = 2179,26 \cdot S^{-1,325}$
120	$\delta_p^{120} = 2277,54 \cdot S^{-1,300}$

Як апроксимуюча функція для визначення коефіцієнтів c і d приймалася формула (38), яка шляхом логарифмування правої і лівої частин, приводилася до вигляду:

$$y = a + b \cdot z,$$

де $y = \ln(\delta_p(V_0))$, $a = \ln(c(V_0))$, $b = d(V_0)$, $z = \ln(S(V_0))$.

Вирівнювання експериментальних даних за рівнянням (40) проводилося методом найменших квадратів:

$$Y = \sum_{j=1}^q (y_j - (a + b \cdot z_j))^2, \quad (41)$$

де q – кількість j -х опорних значень, а саме завдання зводилося до визначення таких значень коефіцієнтів a і b , які мінімізували суму відхилень емпіричних значень і значень, обчислених за формулою (40). Для цього частинні похідні функції (41) з коефіцієнтами a і b прирівнювалися нулю і система рівнянь для визначення невідомих коефіцієнтів мала вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial a} = \sum_{j=1}^q (y_j - (a + b \cdot z_j)) = 0; \\ \frac{\partial Y}{\partial b} = \sum_{j=1}^q (y_j - (a + b \cdot z_j)) \cdot z_j = 0, \end{cases} \quad (42)$$

Систему рівнянь (42) приводили до вигляду

$$\begin{cases} aq + \sum_{j=1}^q z_j = \sum_{j=1}^q y_j; \\ a \sum_{j=1}^q z_j + b \sum_{j=1}^q z_j^2 = \sum_{j=1}^q z_j y_j, \end{cases} \quad (43)$$

вирішуючи яку, знаходили:

$$c = e^a = e^{\left(\frac{\sum_{j=1}^q y_j \sum_{j=1}^q z_j^2 - \sum_{j=1}^q z_j y_j \sum_{j=1}^q z_j}{q \sum_{j=1}^q z_j^2 - (\sum_{j=1}^q z_j)^2} \right)}, \quad (44)$$

$$d = b = \frac{q \sum_{j=1}^q z_j y_j - \sum_{j=1}^q z_j \sum_{j=1}^q y_j}{q \sum_{j=1}^q z_j^2 - (\sum_{j=1}^q z_j)^2}. \quad (45)$$

Похибка, зумовлена визначенням коефіцієнтів c і d , визначається за формулою:

$$\Delta_{cd} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^q \left(\left(\delta_p^{табл}(V_0) \right)_j - \left(\delta_p^{форм}(V_0) \right)_j \right)^2}{q-1}}, \quad (46)$$

де $\delta_p^{табл}(V_0)$ – значення розрахункового коефіцієнта сили натиснення гальмівних колодок, визначене за [18];

$\delta_p^{форм}(V_0)$ – значення розрахункового коефіцієнта сили натиснення гальмівних колодок, визначене за формулою (табл. 1),

а стандартна невизначеність визначення розрахункового коефіцієнта сили натиснення гальмівних колодок, зумовлена визначенням коефіцієнтів c і d , визначається за формулою:

$$u_{\Delta_{cd}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^q \left(\left(\delta_p^{табл}(V_0) \right)_j - \left(\delta_p^{форм}(V_0) \right)_j \right)^2}{q \cdot (q-1)}}. \quad (47)$$

Сумарна стандартна невизначеність розрахункового коефіцієнта сили натиснення гальмівних колодок:

$$u(\delta_p) = \sqrt{\left(\frac{\partial \delta_p}{\partial S} \cdot u(S) \right)^2 + u_{\Delta_{cd}}^2} = \sqrt{\left(d \cdot c \cdot S^{d-1} \cdot u(S) \right)^2 + u_{\Delta_{cd}}^2}, \quad (48)$$

де $\frac{\partial \delta_p}{\partial S}$ – коефіцієнт чутливості як частинна похідна вихідної величини:

$$\frac{\partial \delta_p}{\partial S} = d \cdot c \cdot S^{d-1}. \quad (49)$$

Розширена невизначеність вимірювання гальмівного шляху визначиться як:

$$U(\delta_p) = k \cdot u(\delta_p) = 1,96 \cdot \sqrt{\left(d \cdot c \cdot S^{d-1} \cdot u(S) \right)^2 + u_{\Delta_{cd}}^2}, \quad (50)$$

а запис повного результату вимірювання матиме вигляд:

$$\delta_p^{обч} \pm U(\delta_p), p = 0,95. \quad (51)$$

Висновки. Розроблений алгоритм дозволяє визначати невизначеність гальмівних характеристик за результатами поїзних випробувань за методом кидання. Це дає можливість отримувати більш повну і достовірну інформацію стосовно властивостей гальмівних систем рухомого складу та їх відповідності нормативним вимогам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 р. № 1555-р Про схвалення Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua/kabinet-ministriv-ukrayini-org012148.html>.
2. Цыган Б. Г. Тенденции развития современного вагоностроения: глобализация производства и интернационализация рынка / Б. Г. Цыган, А. Б. Цыган // Вагонный парк. – 2009. – № 7-8. – С. 28-31.
3. Можейко Е. Р. Грузовые вагоны нового поколения / Е.Р. Можейко, А. А. Кудиярова // Вагонный парк. – 2011. – № 6. – С. 44-47.
4. Современное тормозное оборудование / Modern Railways, 2002, № 641, р. 54, 56 // Железные дороги мира. – 2003. – № 5. – С. 44-48.
5. Кузьмина Е. И. Методика экспериментального определения тормозных характеристик вагонов / Е. И. Кузьмина, А. М. Морозов. – Вестник ВНИИЖТ. – 1975. – № 3. – с. 17-23.
6. Водяников Ю. Я. Экспериментальная оценка тормозной эффективности единиц подвижного состава железных дорог / Ю. Я. Водяников, А. П. Киницкая, А. И. Шведов, Е. Г. Макеева // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології» – К.: ДЕГУТ, 2008. – Вип. 13. – С. 85-92.
7. Грищенко С.Г. Методика гальмових випробувань залізничного немоторного рухомого складу / С. Г. Грищенко, В. І. Кашуба, П. Ю. Крамаренко, В. П. Степанова // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 1. – С. 12-14.
8. Водяников Ю. Я. Методика экспериментального исследования тормозной эффективности и тормозных характеристик единиц подвижного состава / Ю. Я. Водяников, А. М. Сафронов, К. Л. Жихарцев // Вагонный парк. – 2008. – № 3. – С. 14-17.
9. Шелейко Т. В. Оцінка результатів гальмівних випробувань на їх відповідність міжнародним стандартам / Т.В. Шелейко, Ю.Я. Водяніков, А. В. Гречко // Тезиси 3 Міжнародної научно-практичної конференції «Інтеграція України в міжнародну транспортну систему» (17.11-18.11.2011). – Д.: ДНУЖТ, 2011. – с. 82-83.
10. Донченко А.В. Оцінка гальмівної ефективності вантажного вагона з урахуванням похибки вимірювань / А. В. Донченко, Ю. Я. Водяніков, Т. В. Шелейко // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків, 2011. – Вип. 122. – с. 152-160.
11. Захаров И. П. Оценивание неопределенности измерений при проведении калибровок / И. П. Захаров. – Метрологія та прилади. – 2007. – № 1. – с. 31-42.
12. Чуновкина А. Г. К вопросу внедрения неопределенности измерения в методиках калибровки (поверки) средств измерений / А. Г. Чуновкина // Измерительная техника. – 2008. – № 3. – с. 70-72.
13. Малецька О. Є. Державна метрологічна система. Розвиток нормативної бази / О. Є. Малецька // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2008. – № 2. – с. 29-31.
14. СТУ-Р УкрАО 913.15:2007 Рекомендації з метрологічного забезпечення випробувальних і калібрувальних лабораторій / Стандарт Асоціації «Українські акредитовані органи з оцінки відповідності» (УкрАО). – К.: Виконавчий орган УкрАО, 2007. – 101 с.
15. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First Edition. – ISO, Switzerland, 1993. – 101 p.
16. ДСТУ-Н РМГ 43-2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001, IDT). – [Чинний від 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 27 с. – (Національний стандарт України)
17. ДСТУ 4170-2003 Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови. – [Чинний від 2003-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 17 с. – (Національний стандарт України).
18. Р 549/3 Методика расчета тормозов грузовых вагонов колеи 1520 мм. – Варна, Республика Болгария: Организация сотрудничества железных дорог, 2005. – 12 с.

Наталя Белевцова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННОСТИ ТОЛЩИНЫ
В ОКРУЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
НЕОСЕСИММЕТРИЧНОГО НЕРАВНОМЕРНОГО
ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ**

В статье исследуется влияние переменности толщины в окружном направлении на напряженное состояние конической оболочки, которая находится под действием неізотермического нагрева.

У статті досліджується вплив змін товщини в окружному напрямку на напружений стан конічної оболонки, яка перебуває під дією неізотермічного нагріву.

This article examines the influence of variable thickness in the circumferential direction on the stress state conical shell, which is under the influence of non-isothermal heating.

Ключевые слова: коническая оболочка, переменность толщины в окружном направлении, неізотермические процессы нагружения.

Настоящая работа является продолжением работ [1, 2]. В ней исследуется влияние переменности толщины в окружном направлении оболочек вращения (в частности, конической оболочки) на напряженное состояние этих оболочек. Задача решается на основе теории тонких оболочек В. В. Новожилова [6] в квазистатической и геометрически линейной постановке, на основе теории простых процессов нагружения с учетом истории их протекания [5, 7]. Физические соотношения линеаризируются методом последовательных приближений в форме переменных параметров упругости [3, 7]. Механические характеристики материала зависят от температуры, деформации ползучести не учитываем. Численно задача решается методом Рунге-Кутты с дискретной ортогонализацией по С.К. Годунову [4].

Разрешающая система уравнений для данного класса задач полученная в [1] имеет следующий вид:

$$\frac{\partial \bar{N}}{\partial S} = \Phi \left(\bar{N}; \frac{\partial \bar{N}}{\partial \theta}; \frac{\partial^2 \bar{N}}{\partial \theta^2}; \frac{\partial^3 \bar{N}}{\partial \theta^3}; \frac{\partial^4 \bar{N}}{\partial \theta^4} \right), \quad (1)$$

где \bar{N} – вектор разрешающих функций $\{N_r; N_z; \hat{S}; M_S; U_r; U_z; v; v_S\}$ (2)

Переменность толщины в окружном направлении учитывается коэффициентами в (1) вида:

$$C_1 = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{2G^*}{1-\nu^*} d\xi; \quad C_2 = \int_{-h/2}^{h/2} \frac{2G^*}{1-\nu^*} \nu^* d\xi \quad \text{и т.д.}, \quad (3)$$

© Белевцова Н. Л., 2012

здесь h – толщина оболочки в рассматриваемой точке;

$G^*; \nu^*$ – переменные параметры упругости, которые определяются из предыдущего приближения [3, 7].

Исследуем влияние изменения толщины оболочки в окружном направлении на распределение напряжений в оболочке, находящейся в упруго-пластическом напряженном состоянии без учета истории нагружения. С этой целью рассмотрим напряженное состояние конической оболочки рис. 1, шарнирно закрепленной при $S=0$ и $S=L$, находящейся в первоначально ненапряженном состоянии при температуре $T = 20^\circ\text{C}$. Затем предполагается, что оболочка медленно нагрета до температуры, изменяющейся согласно закону:

$$T = [50 + 25 \cos\theta] \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

При этом считаем, что процесс нагрева не сопровождается разгрузкой и элементы оболочки деформируются по прямолинейным траекториям. Такой нагрев можно осуществить медленным повышением температуры окружающей среды с тем, чтобы градиенты температур, возникающие в оболочке, возрастали постепенно.

Геометрические характеристики оболочки (рис. 1) определяются следующими данными:

$$L = 2r, \quad \varphi = 30, \quad r = 10 \text{ см}; \quad (5)$$

$$h = h_0(\alpha_1 + \alpha \cos\theta),$$

где $h_0 = 0,01r$ см, а параметры α и α_1 принимают значения:

- 1 – $\alpha_1 = 1; \alpha = 0$, т.е. толщина оболочки постоянная $h = 0,1$ см;
- 2 – $\alpha_1 = 2; \alpha = 1$. Толщина оболочки изменяется от $h = 0,3$ см, ($\theta = 0$) до $h = 0,1$ см, ($\theta = \pi$);
- 3 – $\alpha_1 = 3; \alpha = 2$. Толщина оболочки изменяется от $h = 0,5$ см, ($\theta = 0$) до $h = 0,1$ см, ($\theta = \pi$).

Оболочка выполнена из стали ЭИ-395. Расчет оболочки проводился при различных вариантах разбиения:

- 1 – $K_s = 61, K_\theta = 19, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 3$;
- 2 – $K_s = 61, K_\theta = 37, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 3$;
- 3 – $K_s = 61, K_\theta = 19, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 5$;
- 4 – $K_s = 81, K_\theta = 19, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 5$;
- 5 – $K_s = 121, K_\theta = 19, (0 \leq \theta \leq \pi), K_z = 3$;

для изменения толщины оболочки в пределах (6). Решение искомых функций (2) представлялось первыми двумя, четырьмя и пятью гармониками по косинусам. Результаты вычислений по первому варианту разбиения показали, что для оболочки постоянной толщины в решении можно ограничиться первыми двумя гармониками, т.к. учет еще двух гармоник ведет к незначительному (до 2 %) уточнению напряжений и деформаций. Для оболочек с переменной толщиной, изменяющейся по второму и третьему вариантам (6), учет третьей гармоники приводит к увеличению напряжений до 12 % по сравнению с результатами, полученными при представлении искомых функций первыми двумя гармониками, учет четвертой гармоники изменяет напряжения на 7 % по сравнению с предыдущими результатами. А учет уже пятой гармоники незначительно влияет на окончательные результаты вычислений и отличается от них не более чем на 2 %. Результаты

вычислений, полученные по первому и третьему вариантам разбиения (7), отличаются между собой не более 1,5 %, а по первому и всеми остальными вариантами разбиения различаются не более 3,8 %. Поэтому в дальнейшем исследовании напряженно-деформированного состояния оболочек проводилось для первого варианта разбиения с представлением решения четырьмя первыми гармониками по косинусам.

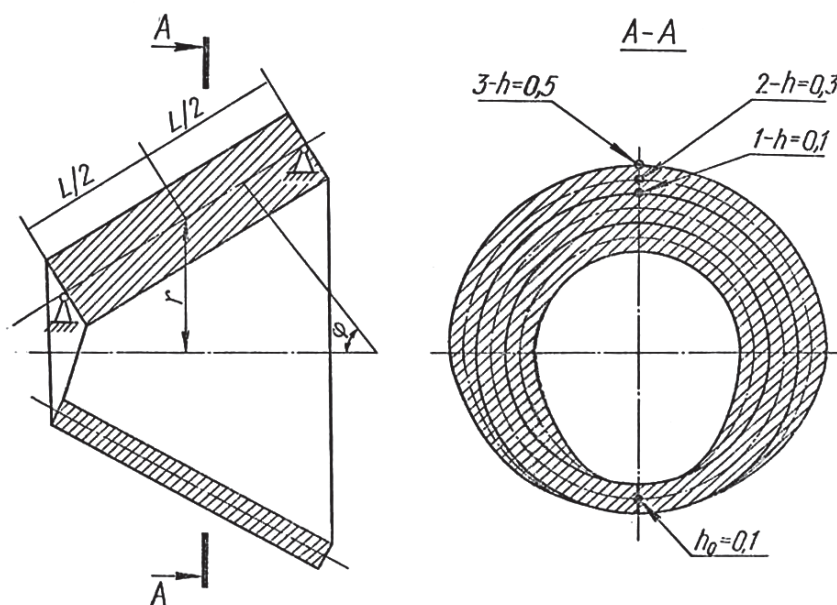


Рис. 1. Коническая оболочка переменной толщины в окружном направлении

На рис. 2, 3 приведены вдоль окружной координаты θ эпюры окружных напряжений для точек внутренней и наружной поверхностей оболочек соответственно, на рис. 4, 5 – эпюры меридиональных напряжений для точек внутренней и наружной поверхностей и на рис. 6 – эпюры касательных напряжений для точек наружной поверхности. Причем кривые 1, 2, 3 на этих рисунках соответствуют различным толщинам в указанных пределах (6). Эпюры построены для значения меридиональной координаты S 0,33 см, находящейся в зоне максимальной пластичности, которая возникает вблизи заделки при $S=0$ и распространяется приблизительно на одну четверть длины всей оболочки, а дальше оболочка деформируется упруго. Максимальные напряжения также возникают вблизи торца $S=0$, причем меридиональные и окружные напряжения являются сжимающими, а касательные составляют до 30% от максимальных значений меридиональных напряжений.

Из рис. 2, 3 видно, что изменение толщины оболочки в окружном направлении (5) приводит к уменьшению окружных напряжений для точек на внутренней поверхности в сечении $\theta=0$ на 25%, а в сечении $\theta=\pi$ на 15%, увеличению этих напряжений для точек наружной поверхности оболочки в сечении $\theta=0$ в пять раз и уменьшению их в сечении $\theta=\pi$ в два раза. Значения меридиональных напряжений изменяются незначительно; так для точек внутренней поверхности оболочки (рис. 4) при значении окружной координаты $\theta=\pi$, они увеличиваются но более чем на 9 %, также и для точек наружной поверхности (рис. 5) при $\theta=0$ и только для точек наружной поверхности при $\theta=\pi$ они уменьшаются на 25 %, При этом касательные напряжения для точек наружной поверхности (рис. 6) при значении окружной координаты $\theta=\pi/2$ увеличиваются не более, чем на 7 %, а для точек внутренней поверхности незначительно уменьшаются. Следовательно, можно сделать вывод, что изменение толщины оболочки в указанных пределах (6) приводит к значительно-

му изменению окружных напряжений: уменьшению их для точек внутренней поверхности и увеличению – для точек наружной. Для уменьшения меридиональных и касательных

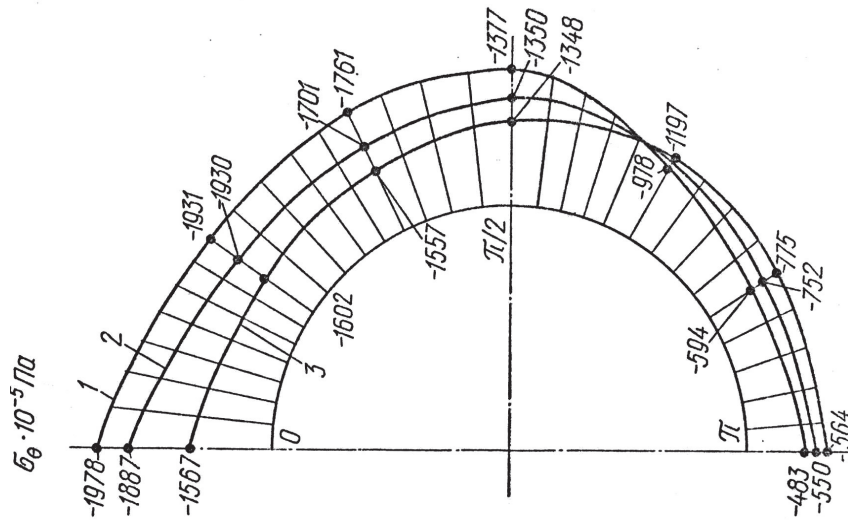


Рис. 2. Эпюры напряжений σ_θ вдоль θ при $S=0,33$ см, $\xi = h/2$.

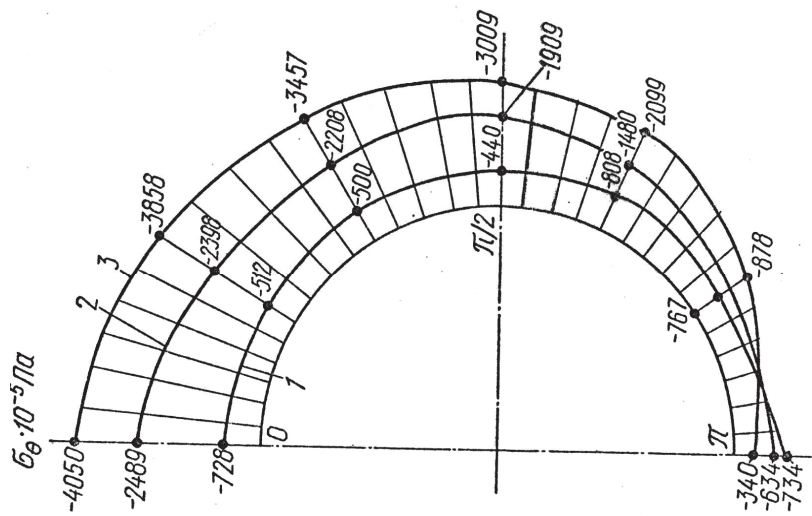


Рис. 3. Эпюры напряжений σ_θ вдоль θ при $S=0,33$ см, $\xi = -h/2$.

Напряжений при заданной нагрузке (4) необходимо принимать другой закон распределения толщины вдоль окружной координаты.

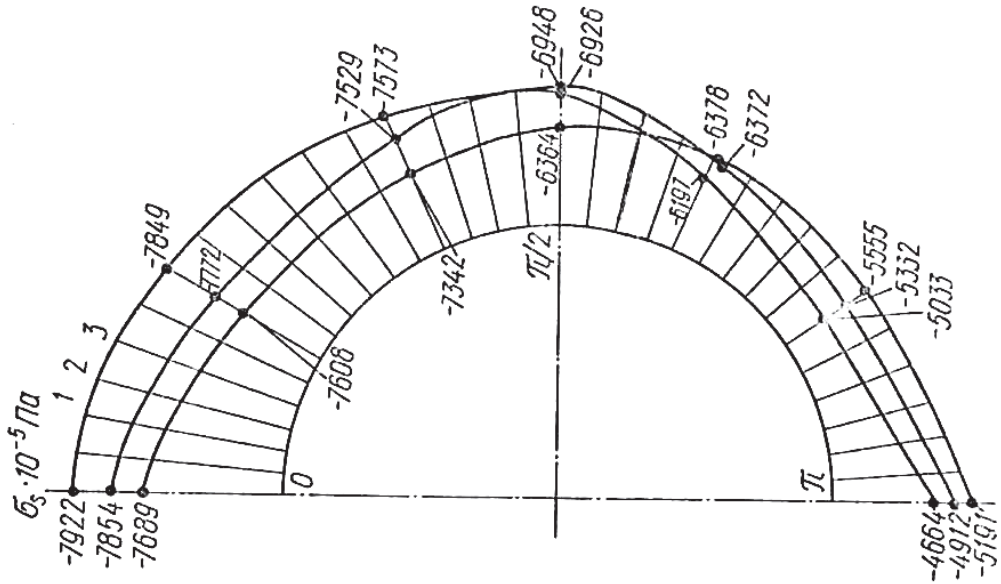


Рис. 5. Эпюры напряжений σ_s вдоль θ при $S=0,33$ см, $\xi = -h/2$.

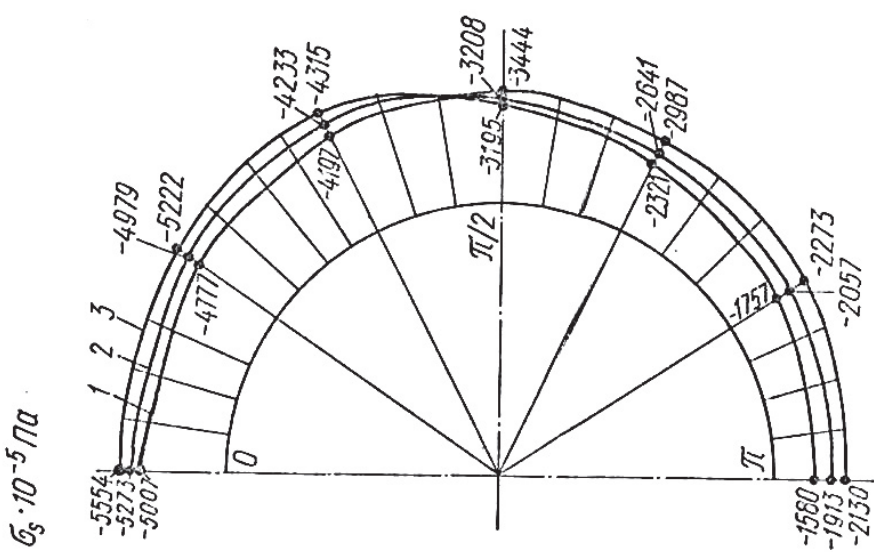


Рис. 4. Эпюры напряжений σ_s вдоль θ при $S=0,33$ см, $\xi = h/2$.

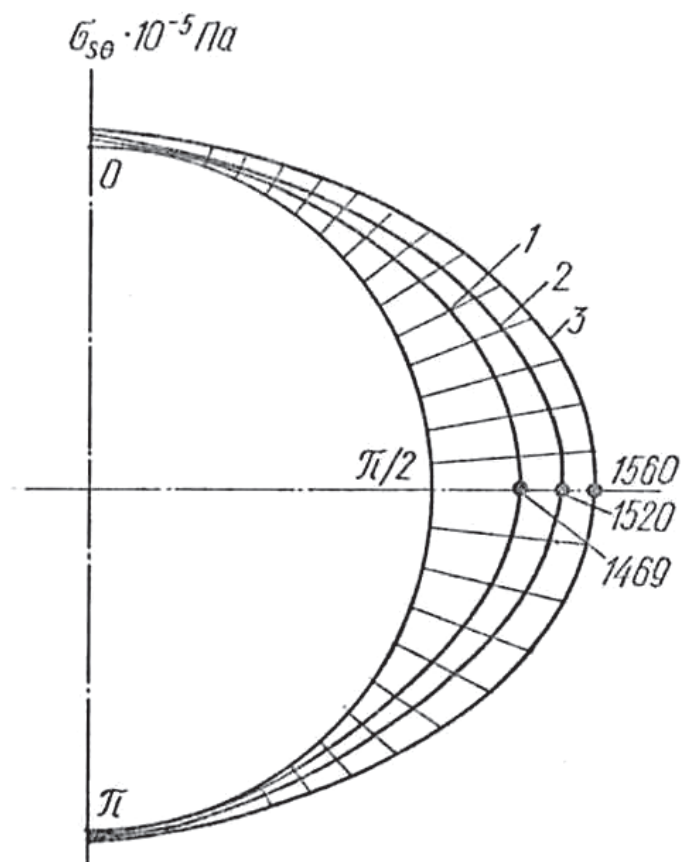


Рис. 6. Эпюры напряжений $\sigma_{s\theta}$ вдоль θ при $S=0,33$ см, $\xi= h/2$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белевцова Н.Л. Термоупруго-пластическое напряженное состояние оболочек вращения при неосесимметричной нагрузке с учетом истории нагружения // Прикл. механика. – 1982. – 18. – № 7. – С. 117-120.
2. Белевцова Н.Л. Исследование влияния истории нагружения на напряженное состояние оболочек вращения переменной жесткости в двух направлениях // Прикл. механика. – 1986. – 22. – № 4. – С. 109-112.
3. Биргер И.И. Некоторые общие методы решения задач теории пластичности // Прикл. математика и механика. – 1951. – 15. – № 6. – С. 765-770.
4. Годунов С.К. О численном решении задач // Успехи мат. наук. – 1961. – 16. – №3. – С. 171-174.
5. Ильющин А. А. Пластичность. – М.: Гостехиздат. – 1948. – 376 с.
6. Новожиллов В.В. Теория тонких оболочек. – Л.: Судпромгиз, 1962. – 432 с.
7. Шевченко Ю.Н. Прохоренко И.В. Теория упруго-пластических оболочек при неизотермических процессах нагружения. – К.: Наук. думка, 1981. – 296 с. – (Методы расчета оболочек: В 5-и т.; т.3).

Марина Грисенко
Тетяна Крижановська

ІМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ АВТОМОБІЛЬНОГО ПАРКУ ЯК СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Стохастичні моделі систем масового обслуговування застосовують до реальних об'єктів. В статті розглянута імовірнісна модель автомобільного парку як системи масового обслуговування. Вона дозволяє одержати важливі операційні і економічні характеристики системи та дає можливість при заданих параметрах здійснити імовірний прогноз.

Стохастические модели систем массового обслуживания используют для реальных объектов. В статье рассмотрена вероятностная модель автомобильного парка как системы массового обслуживания. Она разрешает получить важные операционные и экономические характеристики системы и дает возможность при заданных параметрах осуществить вероятностный прогноз.

Stochastic models of mass service systems are used for real objects. Probability model of automobile park as a system of mass service is reviewed in the article. Such model provides the possibility to get important operational and economic characteristics of the system and makes it possible to exercise probability forecast with availability of specified parameters.

Ключові слова: стохастичні моделі, математична модель, системи масового обслуговування.

Одним з головних напрямів розвитку економіки України, а також вітчизняної науки і техніки є впровадження засобів інформатики і автоматизації в різні галузі суспільного виробництва, зокрема в проектування та управління виробництвом і технологічними процесами на базі використання сучасної високопродуктивної обчислювальної техніки і нової інформаційної технології. Широкий розвиток комп'ютеризації як самого виробництва, так і управління ним неможливий без застосування ефективних наукових методів аналізу й оптимізації складних економіко-організаційних систем. Адже завдяки саме цим методам стає можливим повному обсязі реалізувати колосальні потенційні можливості прогресивних технологій і передової техніки. Серед наукових методів, які застосовуються в економіці, науці і техніці, особливе місце посідають методи математичного моделювання. Існують різні види моделювання: фізичне, макетне, математичне (аналітичне), імітаційне (машинне), аналогове, ситуаційне (ділові ігри), стохастичне. У даній статті розглядається метод моделювання систем масового обслуговування, а саме: математична модель обслуговування автомобільного парку.

Із системами масового обслуговування ми зустрічаємось повсякчас. Кожному з нас доводилось чекати обслуговування в черзі (у магазині, на автозаправці, в бібліотеці, кав'ярні, ресторані тощо). Аналогічні ситуації виникають, коли треба скористатися телефонним зв'язком або виконати свою програму на комп'ютері.

© Грисенко М. В., Крижановська Т. В., 2012

Будь-яке виробництво теж можна уявити як послідовність систем обслуговування. До типових систем обслуговування належать також ремонтні і медичні служби, транспортні системи, аеропорти, вокзали тощо.

Поняття систем масового обслуговування пов'язані з таким явищем, яке трапляється в повсякденному житті – очікування в черзі. Причому важливо передбачити поведінку системи на основі одержаної інформації при статистичній обробці результатів спостережень, і на цій підставі організувати таке обслуговування вимог, що перебувають в черзі, яке б задовольняло допустимий час очікування для них.

Вимоги – це узагальнена назва реальних об'єктів, які потребують обслуговування, а саме: літаки, які чекають звільнення злітної смуги аеродрому; судна – на розвантаження в морських або річкових портах; клієнти, які чекають на обслуговування до кас, поліклінік, магазинів, ресторанів тощо.

Вимоги на обслуговування надходять у випадкові моменти часу, створюючи при цьому чергу.

Поняття «обслуговування» та канал обслуговування є узагальнюючими, суть яких пов'язана із конкретними досліджуваними системами.

Здійснюючи експеримент за допомогою математичної моделі можна дістати відповіді на такі запитання, наприклад, якою має бути максимально допустима довжина черги, скільки часу потрібно витратити, очікуючи своєї черги на обслуговування каналом, скільки раціонально слід мати каналів обслуговування та ін. Використовуючи отримані дані можна перевірити на суб'єктивність побудованої математичної моделі, яка є аналітичним прообразом досліджуваної реальної системи.

Процес утворення черг, час, витрачений каналом для обслуговування кожної вимоги, мають випадковий характер, тому моделі дослідження таких систем називають стохастичними або ймовірносними, а самі системи – системами масового обслуговування.

Основні компоненти систем масового обслуговування такі:

- 1) вхідний потік вимог. Вважають, що вимоги на обслуговування в систему входять у випадкові моменти часу і утворюють пуассонівський потік з інтенсивністю λ ;
- 2) механізм обслуговування. Час обслуговування кожної вимоги є випадковою величиною, яка має експоненціальний закон розподілу із параметром μ ;
- 3) дисципліна обслуговування. Дисципліна по обслуговуванню вимог встановлюється від специфіки самої системи.

Основні числові характеристики систем масового обслуговування та критерії ефективності. В реальних ситуаціях, як правило, практичний інтерес становить робота системи масового обслуговування в стаціонарному (стабільному) режимі, коли її поведінка не залежить від часу t .

У стаціонарному режимі нас цікавлять такі характеристики системи, які називають операційними:

P_0 – ймовірність того, що в системі вимоги відсутні;

P_k – ймовірність того, що в системі перебуває k вимог;

P_{k_1} – ймовірність втрат вимог в системі, яка виникає у випадку, коли черга в системі не повинна перевищувати числа k ;

$M = \sum_{k=0}^{\infty} k P_k$ – математичне сподівання числа вимог, які перебувають в системі (їх середня кількість);

$D = \sum_{k=0}^{\infty} k^2 P_k - M^2$ – дисперсія числа вимог, які перебувають в системі;

$L = M - \rho$ – середня кількість вимог, які перебувають у черзі;

$W_1 = \frac{M}{\lambda}$ – середня тривалість перебування вимоги у системі;

$W_2 = W_1 - \frac{1}{\mu}$ – середня тривалість перебування вимог у черзі;

$N_1 = \sum_{k=0}^n k P_k$ – середня кількість обслуговуючих каналів системи, які зайняті обслуговуванням вимог (у разі, коли в системі є n каналів);

$N_2 = \sum_{k=0}^n (n-k) P_k$ – середня кількість обслуговуючих каналів системи, які вільні від обслуговуванням вимог .

Якщо не всі вимоги можуть потрапити до системи для обслуговування, то вводять так звану ефективність надходження вимог: $\lambda_{ef} = \lambda\beta$, $0 < \beta < 1$, Тобто кількість вимог, які насправді допущені до системи на обслуговування за одиницю часу.

Системи масового обслуговування за наявності тієї чи іншої ознаки класифікують так [1]:

1. За характером надходження замовлень у систему: на системи з регулярним і випадковим потоками замовлень. Якщо кількість замовлень, які надходять у систему за одиницю часу (інтенсивність потоку), стала або є заданою функцією часу, то маємо систему з регулярним потоком замовлень, в іншому разі – з випадковим потоком замовлень. Випадковий потік замовлень може бути стаціонарним або нестаціонарним. Якщо параметри потоку замовлень не залежать від розміщення інтервалу часу, який розглядають, на осі часу, то маємо стаціонарний потік замовлень, в протилежному випадку – нестаціонарний. Наприклад, якщо кількість покупців, які приходять до магазину, не залежить від часу доби, то потік замовлень (покупців) – стаціонарний.

2. За кількістю замовлень, які надходять за одиницю часу: на системи з ординарним і неординарним потоками замовлень. Якщо ймовірність надходження двох або більше замовлень в один момент часу дорівнює нулеві або настільки мала, що нею можна знехтувати, то маємо систему з ординарним потоком замовлень. Наприклад, потік літаків, які прибувають на злітну смугу аеродрому, можна вважати ординарним, оскільки ймовірність надходження двох і більше літаків до каналу обслуговування в один і той самий момент часу дуже мала.

3. За зв'язком між замовленнями: на системи без післядії від замовлень, які надійшли, і з післядією. Якщо ймовірність надходження замовлень у систему в деякий момент часу не залежить від того, скільки вимог уже надійшло до системи, тобто не залежить від передісторії процесу, який вивчають, то ми маємо задачу без післядії, у протилежному разі – з післядією. Прикладом задачі з післядією може слугувати потік студентів на складання заліку викладачеві.

4. За характером поведінки замовлень у системі: з відмовами, з обмеженим очікуванням і з очікуванням без обмеження: якщо нове замовлення, яке прибуло на обслуговування, застає усі канали обслуговування уже зайнятими і покидає систему, то маємо систему з відмовами. Замовлення може покинути систему і тоді, коли черга досягла певних розмірів. Якщо ракета супротивника з'являється в час, коли всі протиракетні пристрої обслуговують інші ракети, то вона без проблем залишає зону обслуговування;

– якщо нове замовлення, яке прибуло на обслуговування, застає усі канали обслуговування зайнятими і стає у чергу, але перебуває у ній обмежений час і, не дочекавшись обслуговування, покидає систему, то маємо систему з обмеженим очікуванням. Прикладом такого «нетерплячого» замовлення може бути самоскид із цементним розчином. Якщо час очікування великий, то щоб запобігти затвердінню розчину, він може бути розвантажений в іншому місці;

– якщо нове замовлення, яке прибуло на обслуговування, заставши усі канали обслуговування зайнятими, змушене очікувати своєї черги до того часу, поки не буде обслуже-

не, то маємо систему з очікуванням без обмеження. Приклад: літак, який перебуває на аеродромі до того часу, поки не звільниться злітна смуга.

5. За способом вибору замовлень на обслуговування: з пріоритетом, за часом надходження, випадково, останнього обслуговують першим. Іноді в такому випадку кажуть про дисципліну обслуговування:

– якщо система масового обслуговування охоплює кілька категорій замовлень і з певних міркувань необхідно дотримуватись різного підходу до їхнього відбору, то маємо систему з пріоритетом. Зокрема, під час надходження виробів на будівельний майданчик, перш за все монтують ті, які необхідні у цей момент;

– якщо канал, який звільнився, обслуговує замовлення, яке раніше за інших надійшло до системи, то маємо систему з обслуговуванням замовлень за часом надходження. Це найпоширеніший клас систем. Наприклад, покупця, який підійшов до продавця першим, обслуговують раніше за інших. Цей спосіб вибору замовлень на обслуговування застосовують там, де внаслідок технічних, технологічних або організаційних умов замовлення не можуть випереджати одне одного;

– якщо замовлення з черги надходять до каналу обслуговування у випадковому порядку, то маємо систему з випадковим вибором замовлень на обслуговування. Приклад: вибір слюсарем-сантехніком одного з декількох замовлень на усунення несправностей, які надійшли від мешканців. Вибір тут, зазвичай, визначають місцезнаходженням самого слюсаря: він надасть перевагу замовленню мешканця, який перебуває від нього найближче, якщо інші чинники не визначають вибору;

– останнього обслуговують першим. Цей спосіб вибору вимог на обслуговування використовують у тих випадках, коли зручніше й економніше брати на обслуговування замовлення, яке найпізніше надійшло до системи. Зокрема, якщо будівельні вироби складені один на одному, то зручніше спочатку брати виріб, який надійшов останнім.

6. За характером обслуговування замовлень: на системи з детермінованим і випадковим часом обслуговування. Якщо інтервал часу між моментами надходження замовлення до каналу обслуговування і моментом виходу замовлення з цього каналу є сталим, то йдеться про систему з детермінованим часом обслуговування, в іншому разі – з випадковим.

7. За кількістю каналів обслуговування: на одноканальні і багатоканальні системи. Наприклад, для зведення будинку можна використати один будівельний кран (один канал обслуговування) або декілька (багато каналів) для обслуговування виробів, які прибувають на будову.

8. За кількістю етапів обслуговування: на однофазні і багатofазні системи. Якщо канали обслуговування розташовані послідовно, і вони неоднорідні, оскільки виконують різні операції обслуговування, то йдеться про багатofазну систему масового обслуговування. Прикладом такої системи може бути обслуговування автомобілів на станції технічного обслуговування (миття, діагностування тощо).

9. За однорідністю замовлень, які надходять на обслуговування: на системи з однорідними і неоднорідними потоками замовлень. Наприклад, якщо для розвантаження прибувають фургони однакової вантажомісткості, то такі замовлення називають однорідними, якщо різної – то неоднорідними.

10. За обмеженістю потоку замовлень: на замкнені і розімкнені системи. Якщо потік замовлень обмежений і замовлення, які покинули систему, через деякий час до неї повертаються, то маємо замкнену систему, в протилежному випадку – розімкнену. Прикладом замкненої системи може слугувати бригада робітників, які налагоджують станки в ткацькому цеху або обслуговує автомобілі в автопарку.

Вивчення або задання потоку замовлень, механізму (кількості каналів, тривалості обслуговування тощо) та дисципліни обслуговування дає підстави для побудови моделі системи.

Розглянемо математичну ймовірнісну модель обслуговування автомобільного парку.

1. Загальна характеристика про систему. Досліджується робота автомобільного парку, який має K автомобілів і які обслуговує бригада, що складається із R механіків.

Автомобілі під час їх експлуатації виходять з ладу, при чому поломки відбуваються у випадкові моменти часу, утворюючи пуассонівський потік із інтенсивністю λ .

Поломки кожного автомобіля усуваються бригадою механіків, при цьому вважається, що час, який витрачається для усунення неполадок, є випадковою величиною, яка має експоненціальний закон розподілу ймовірностей із параметром μ .

Розглядаючи автопарк як систему обслуговування, в якій відбуваються процеси поломки автомобілів та їх ремонту, візьмемо для дослідження ймовірнісну модель із певними особливостями, а саме: оскільки під час ремонту автомобіля він не може виходити з ладу, то слід вважати, що обсяг джерела вимог обмежується числом K .

Крім того припускається, що виконуються такі умови:

$$\text{А) для параметрів } P_{k_1} : \lambda = \begin{cases} (k-n) \cdot \lambda, & 0 \leq n \leq k, \\ 0, & n > k. \end{cases}$$

$$\text{Б) для параметра } \mu : \mu^* = \begin{cases} n \cdot \mu, & 0 \leq n \leq R, \\ R \cdot \mu, & R \leq n \leq k, \\ 0, & n > k. \end{cases}$$

2. Математична ймовірнісна модель такої системи має вигляд:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda k P_0(t) + \mu P_1(t),$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda(k-1) + \mu)P_1(t) + 2\mu P_2(t) + \lambda k P_0(t),$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = -(\lambda(k-2) + 2\mu)P_2(t) + 3\mu P_3(t) + \lambda(k-1)P_1(t),$$

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = -(\lambda(k-3) + 3\mu)P_3(t) + 4\mu P_4(t) + \lambda(k-2)P_2(t),$$

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = -(\lambda(k-n) + n\mu)P_n(t) + (n+1)\mu P_{n+1}(t) + \lambda(k-n+1)P_{n-1}(t),$$

$$\frac{dP_R(t)}{dt} = -(\lambda(k-R) + R\mu)P_R(t) + R\mu P_{R+1}(t) + \lambda(k-R+1)P_{R-1}(t),$$

$$\frac{dP_{R+1}(t)}{dt} = -(\lambda(k-R-1) + R\mu)P_{R+1}(t) + R\mu P_{R+2}(t) + \lambda(k-R+1)P_R(t),$$

$$\frac{dP_m(t)}{dt} = -(\lambda(k-m) + n\mu)P_m(t) + (n+1)\mu P_{m+1}(t) + \lambda(k-m+1)P_{m-1}(t), \quad m < k, \dots\dots$$

$$\frac{dP_{k-1}(t)}{dt} = -(\lambda + R\mu)P_{k-1}(t) + R\mu P_k(t) + \lambda(k-R+1)P_{k-2}(t),$$

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = -R\mu P_k(t) + \lambda P_{k-1}(t).$$

У стаціонарному режимі дістанемо із системи:

$$\begin{aligned}\lambda k P_0 &= \mu P_1, \\ (\lambda(n-1) + \mu) P_1(t) &= 2\mu P_2(t) + \lambda k P_1(t), \\ (\lambda(n-2) + 2\mu) P_2(t) &= 3\mu P_3(t) + \lambda(n-1) P_2(t), \\ (\lambda(n-3) + 3\mu) P_3(t) &= 4\mu P_4(t) + \lambda(n-2) P_3(t),\end{aligned}$$

$$(\lambda(k-n) + n\mu) P_n(t) = (n+1)\mu P_{n+1}(t) + \lambda(k-n+1) P_{n-1}(t), \quad n < R,$$

$$\begin{aligned}(\lambda(k-R) + R\mu) P_R(t) &= R\mu P_{R+1}(t) + \lambda(k-R+1) P_{R-1}(t), \\ (\lambda(k-R-1) + R\mu) P_{R+1}(t) &= R\mu P_{R+2}(t) + \lambda(k-R+1) P_R(t),\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\lambda + R\mu) P_{k-1}(t) &= R\mu P_k(t) + 2\lambda P_{k-2}(t), \\ R\mu P_k &= \lambda P_{k-1}.\end{aligned}$$

3. Числові характеристики системи. Для визначення числових характеристик системи розв'яжемо систему рівнянь і після перетворень, дістанемо:

$$\begin{aligned}P_0 &= \left(\sum_{m=0}^R C_n^m \rho^m + \sum_{m=R+1}^k C_k^m \frac{m!}{R! R^{m-R}} \right)^{-1} \\ P_m &= \begin{cases} C_n^m \rho^m P_0, & 0 < m \leq R, \\ C_n^m \frac{m!}{R! R^{m-R}} \rho^m P_0, & R < m \leq k. \end{cases}\end{aligned}$$

5. Приклад. Автопарк має шість автомобілів, які обслуговуються бригадою із трьох механіків, основна робота яких полягає у усуненні поломок автомобілів, які виникають протягом робочого дня. Поломки, як правило, є неістотними, а тому можуть бути усунені механіками бригади протягом невеликого проміжку часу, який вимірюється у хвилинах. Оскільки поломки виникають у випадкові моменти часу, утворюють пуассонівський потік, із інтенсивністю 5 поломок за годину. Час, який витрачає механік для усунення поломки, є випадковою величиною із експоненціальним законом розподілу, і складається у середньому з 10 хвилин. Для визначення числових характеристик системи P_0, M, L, W_1, W_2 , застосуємо модель з параметрами $\lambda = \frac{5}{60} = \frac{1}{12}$, $\mu = \frac{10}{60} = \frac{1}{6}$, тоді $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{1}{2}$ і за умови задачі $k = 3$, $R = 6$.

Дістанемо:

$$\begin{aligned}P_0 &= \left(\sum_{m=0}^3 C_6^m \left(\frac{1}{2} \right)^m + \sum_{m=4}^6 C_6^m \frac{4!}{3! 3^{m-R}} \right)^{-1} = \\ &= \left(1 + C_6^1 \left(\frac{1}{2} \right) + C_6^2 \left(\frac{1}{2} \right)^2 + C_6^3 \left(\frac{1}{2} \right)^3 + C_6^4 \frac{4!}{3! 3} \left(\frac{1}{2} \right)^4 + C_6^5 \frac{5!}{3! 3^2} \left(\frac{1}{2} \right)^5 + C_6^6 \frac{6!}{3! 3^3} \left(\frac{1}{2} \right)^6 \right)^{-1} = \\ &= (1 + 3 + 3,75 + 2,5 + 1,25 + 0,42 + 0,07)^{-1} = 0,087.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
L &= \sum_{n=R}^k (n-R)P_n = \sum_{n=3}^6 (n-3) = P_4 + 2P_5 + 3P_6 = \\
&= C_6^4 \rho^4 P_0 + 2C_6^5 \frac{5!}{3!3} \rho^5 + 3C_6^6 \frac{6!}{3!3^2} \rho^6 = \\
&= (15\rho^4 + 80\rho^5 + 40\rho^6) P_0 = (0,9375 + 2,5 + 0,625) \cdot 0,087 = 0,35.
\end{aligned}$$

$$M = L + \rho = 0,35 + 0,5 = 0,85.$$

$$W_1 = \frac{M}{\lambda} = \frac{0,85}{1/12} = 10,2. \quad W_2 = W_1 - \frac{1}{\mu} = 10,2 - \frac{1}{1/6} = 4,2.$$

Розглянута стохастична модель може бути застосована до реальних об'єктів, як модель масового обслуговування. Така модель дозволяє одержати найважливіші операційні математичні перетворення, одержати найважливіші операційні та економічні характеристики, а це дає можливість при заданих параметрах системи λ, μ здійснити ймовірний прогноз поведінки досліджуваного об'єкта. Крім цього можна реалізовувати стратегію управління поведінкою досліджуваного об'єкта, шляхом зміни параметрів $\lambda \pm \Delta\lambda, \mu \pm \Delta\mu$ і таким чином, дістати бажані характеристики системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жлуктечко В.І., Бегун А.В. Стохастичні моделі в економіці : Монографія. – К.: КНЕУ, 2005. –352 с.
2. Сулицкий В.Н. Деловая статистика и вероятностные методы в управлении и бизнесе.: Учеб. пособие. – М.: Изд-во «Дело» АНХ, 2009. – 400 с.

*Іван Кульбовський
Віктор Тютін
Сергій Левківський
Олена Незліна*

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПЛАНЕТАРНОЇ ПЕРЕДАЧІ

У статті розроблено динамічну модель планетарної передачі для розрахунку вимушених коливань, які викликані переміщенням у часі зазорами-натягами, що виникають у зубчастих зачепленнях. Пружні переміщення мас моделі дозволили теоретичним шляхом визначити нерівномірність розподілу навантаження між сателітами.

В статье разработана динамическая модель планетарной передачи для расчета вынужденных колебаний, которые были вызваны перемещением во времени зазорами-натягами, возникающими в зубчатых сцеплениях. Упругие перемещения масс модели позволили теоретическим путем определить неравномерность распределение нагрузки между сателлитами.

The article discloses a dynamic model that established on the planetary transmission. It assists in finding the forced vibrations which have been caused by movements in time at the distance of gaps that subsequently manifest alongside the notched concatenations. Theoretically, the springy motions of this model determine the unevenness in distributing the load in between the satellites.

Ключові слова: динамічна модель, планетарна передача, зазор-натяг, алгорити, зачеплення.

Постановка проблеми. Розрахунки планетарних передач на міцність мають свої особливості в порівнянні з загальними методиками розрахунку рядових зубчастих передач. Головною їх відміною є необхідність урахування нерівномірності розподілу навантаження між сателітами при визначенні розрахункового моменту. В сучасних методиках розрахунку використовується коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між сателітами, значення якого визначалися на підставі розрізаних досліджень, а силовий аналіз передач робився тільки у статиці. Слід зазначити, що переважна більшість планетарних передач у складі приводів різноманітних машин працює в умовах динаміки. Зважаючи на це, визначення сил в зачепленнях цих передач повинно здійснюватися в умовах динамічного або квазидинамічного навантаження. Теоретичне дослідження такого процесу можливе лише на підставі даних, отриманих в результаті рішення динамічної моделі.

Аналіз публікацій. Серед існуючих моделей для дослідження динаміки планетарних передач можна виділити три основні. Динамічна модель, яку запропонував доктор техн. наук, професор Санкт-Петербурзького інституту машинобудування (ВТУЗ – ЛМЗ) Вейц В.Л. [1], включає в себе масу центрального колеса з зовнішніми зубцями, одну приведену масу сателіта та безмасове водило.

© *Кульбовський І. І., Тютін В. М., Левківський С. А., Незліна О. А., 2012*

Вона призначена для розрахунку вільних коливань одноступінчастого редуктора. За допомогою моделі, яка була розроблена в Інституті машинознавства РАН ім. Благонравова А.А. під керівництвом доктора техн. наук Генкіна М.Д., також проводилися розрахунки власних частот тільки вже для двоступінчастого редуктора [2]. Особливістю цієї моделі є те, що сателіт представлений двома масами: моментом інерції в обертальному русі навколо власної осі та масою у поступальному русі разом з водилом. У кожному ступені маси трьох сателітів приведені до однієї відповідно для кожного виду руху. Ця динамічна модель описується системою одинадцяти лінійних однорідних диференціальних рівнянь другого порядку. В цьому ж науковому закладі під керівництвом доктора техн. наук Айрапетова Е.Л. була створена динамічна модель [3] для розрахунків з використанням методу динамічних піддатливостей. При цьому підході редуктор розподіляється на прості підсистеми, наприклад, центральне колесо з зовнішніми зубцями, водило, сателіт, центральне колесо з внутрішніми зубцями, які поєднані пружними зв'язками. Коливання кожної підсистеми описується невеликою кількістю рівнянь. Загальне рішення системи отримується за допомогою рівнянь спільних деформацій. До того ж, в цій моделі центральне колесо з внутрішніми зубцями представлено як елемент з розподіленою масою. Доцільність такого зображення епіциклу має сенс лише в окремих випадках, коли співвідношення товщини його ободу та радіусу знаходиться в межах $\delta = 0,05R$, а його з'єднання з корпусом здійснюється за допомогою пружних елементів. Тоді в тонкостінному кільці, яким по суті стає епіцикл, при роботі передачі можуть виникати специфічні форми коливань. Така модель була призначена для вивчення віброакустичних характеристик приводів.

На підставі зазначеного, можна зробити висновок, що всі розглянуті дослідження були спрямовані на аналіз вільних коливань. Це робилося з метою запобігання виникнення резонансу в нових конструкціях редукторів. Відсутність наукових праць спрямованих на визначення сил в зачепленнях планетарних передач в умовах динамічного або квазидинамічного навантаження пояснюється не тільки складнощами розробки багатосателітної динамічної моделі, але і необхідністю математичного описання випадкових зазорів, що виникають в зачепленнях.

Метою роботи є створення динамічної моделі планетарної передачі для розрахунку вимушених коливань, які викликані перемінними у часі зазорами – натягами, що виникають в зубчастих зачепленнях.

Основна частина. Оцінка рівня динамічної напруженості зачеплень зубчастих передач проводиться на підставі результатів динамічного розрахунку. Точність отриманих даних значною мірою залежить від правильного вибору динамічної моделі. Будь-яка модель – це спрощення процесу, що розглядається, і є заміною реального об'єкта його динамічною схематизацією. Вибір динамічної моделі не є однозначним і залежить від поставленої мети динамічного аналізу. Створення моделі також передбачає прийняття деяких припущень, які дозволяють спростити математичні викладки та при цьому не вносять значних похибок у кінцевий результат.

В даних передачах центральне колесо з внутрішніми зубцями «b» запресоване в корпус або жорстко приєднане до нього за допомогою болтового з'єднання. Така конструкція передачі дає підставу схематизувати всі маси як зосереджені.

Зміна жорсткості зачеплення через різну кількість зубців, що водночас знаходяться в контакті, може приводити до виникнення параметричного резонансу. При розробці нової передачі конструктори обов'язково проводять її перевірку на можливість прояви цього явища і у разі потреби здійснюють відстроювання конструкції зміною кінематичних параметрів. Це дозволяє не враховувати зміну жорсткостей і розглядати майбутню модель як систему з постійними параметрами.

Дисипативні властивості передачі суттєво впливають на динамічні характеристики лише в зоні резонансу. Вивчення резонансних явищ не є метою даної роботи. Тому динамічну систему даних планетарних передач будемо вважати за консервативну.

Головним завданням моделі, що розробляється є можливість отримувати амплітуди пружних коливань усіх мас редуктора, що спричинені внутрішніми збурюючими силами, які викликані проявою зазорів – натягів в зубчастих зачепленнях. Основними факторами, що ускладнюють створення такої моделі є багатопоточність редуктора, складний рух окремих його деталей, значна кількість мас. Результати проведених теоретичних досліджень вказують на необхідність обов'язкового виділення в моделі як окремих мас осей сателітів. Хоча такий крок не відповідає загальним рекомендаціям по розробці динамічних моделей через те, що вони мають дуже малі маси, він забезпечує відображення в моделі кінематичних зв'язків між деталями при складному русі. Всі інші рухомі деталі передачі також схематизовані окремими масами. Кожен сателіт представлений в моделі окремою масою, яка включає в себе його момент інерції в обертальному русі та приведену до неї масу в поступальному русі разом з водилом. Всі з'єднання між рухомими та нерухомими масами представлені в моделі в вигляді безмасових пружних елементів з відповідними значеннями жорсткостей. Таким чином, планетарна передача з'єднана на вході з масою, наприклад, двигуна, а на виході – з робочим органом машини, схематизується 10 – масовою динамічною моделлю.

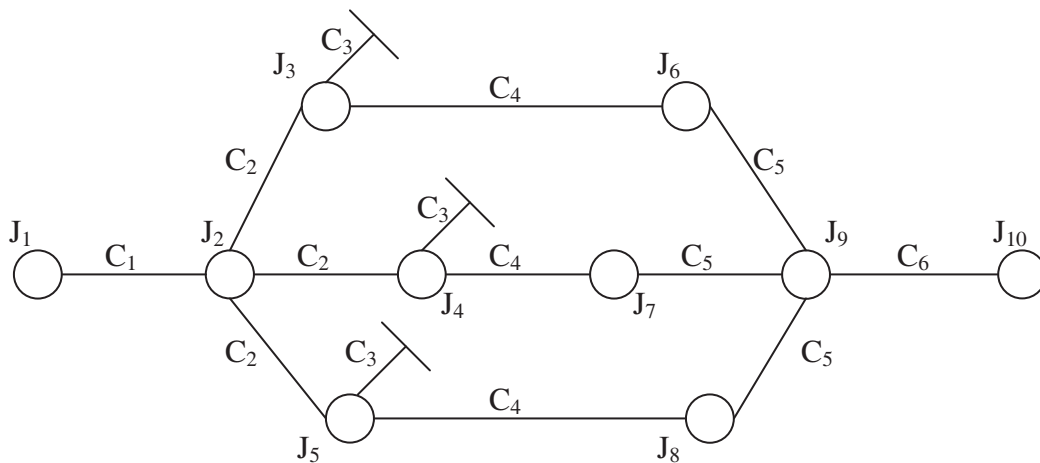


Рис. 1. Динамічна модель планетарної передачі

В моделі прийняті такі позначення мас та жорсткостей:

J_1 – момент інерції маси двигуна;

J_2 – момент інерції центрального колеса «а» із зовнішніми зубцями;

J_3, J_4, J_5 – моменти інерції сателітів «g» в обертальному русі та приведені до них маси у поступальному русі разом з водилом;

J_6, J_7, J_8 – моменти інерції мас осей сателітів;

J_9 – момент інерції водила «h»;

J_{10} – момент інерції маси, приєднаної до вихідного вала передачі;

C_1 – жорсткість вхідного вала передачі;

C_2 – жорсткість зубчастого зачеплення «а – g»;

C_3 – жорсткість зубчастого зачеплення «g – b»;

C_4 – жорсткість встановлення сателіта у водилі;

C_5 – жорсткість водила «h»;

C_6 – жорсткість з'єднання передачі з робочим органом.

Математична модель, що аналітично зображує переміщення мас в запропонованій динамічній моделі, складається з десяти неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку з постійними коефіцієнтами.

$$\begin{aligned}
I_1 \ddot{\varphi}_1 + C_1(\varphi_1 - \varphi_2) &= T_d \\
I_2 \ddot{\varphi}_2 - C_1(\varphi_1 - \varphi_2) + C_2(\varphi_2 - \varphi_3) + C_2(\varphi_2 - \varphi_4) + C_2(\varphi_2 - \varphi_5) &= -C_\varepsilon(\Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4 + \Delta\varphi_5) \\
I_3 \ddot{\varphi}_3 - C_2(\varphi_2 - \varphi_3) - C_3\varphi_3 + C_4(\varphi_3 - \varphi_6) &= C_\varepsilon \Delta\varphi_3 \\
I_4 \ddot{\varphi}_4 - C_2(\varphi_2 - \varphi_4) - C_3\varphi_4 + C_4(\varphi_4 - \varphi_7) &= C_\varepsilon \Delta\varphi_4 \\
I_5 \ddot{\varphi}_5 - C_2(\varphi_2 - \varphi_5) - C_3\varphi_5 + C_4(\varphi_5 - \varphi_8) &= C_\varepsilon \Delta\varphi_5 \\
I_6 \ddot{\varphi}_6 - C_4(\varphi_3 - \varphi_6) + C_5(\varphi_6 - \varphi_9) &= 0 \\
I_7 \ddot{\varphi}_7 - C_4(\varphi_4 - \varphi_7) + C_5(\varphi_7 - \varphi_9) &= 0 \\
I_8 \ddot{\varphi}_8 - C_4(\varphi_5 - \varphi_8) + C_5(\varphi_8 - \varphi_9) &= 0 \\
I_9 \ddot{\varphi}_9 - C_5(\varphi_6 - \varphi_9) - C_5(\varphi_7 - \varphi_9) - C_5(\varphi_8 - \varphi_9) + C_6(\varphi_9 - \varphi_{10}) &= 0 \\
I_{10} \ddot{\varphi}_{10} - C_6(\varphi_9 - \varphi_{10}) &= -T_0,
\end{aligned} \tag{1}$$

де φ_i – пружні обертальні деформації відповідних мас динамічної моделі;
 $\Delta\varphi_3, \Delta\varphi_4, \Delta\varphi_5$ – додаткові переміщення мас сателітів, що викликані проявою зазорів – натягів в зубчастих зачепленнях «а – g»;
 T_d – обертальний момент двигуна;
 T_0 – обертальний момент на робочому органі;
 C_ε – приведена жорсткість планетарної передачі.

Для перевірки працездатності моделі було отримано її рішення для параметрів, що наведені в табл. 1 та табл. 2.

При виконанні динамічного розрахунку як приклад були використані розміри деталей, кінематичні та силові характеристики передачі, яка до цього досліджувалася експериментально. Це дозволило порівняти рішення моделі з даними експеримента.

Таблиця 1. Жорсткісні параметри моделі

Назва жорсткості пружнього зв'язку	Позначення жорсткості в моделі	Числове значення жорсткості, $\frac{\text{Н} \cdot \text{мм}}{\text{рад}} \cdot 10^4$
Жорсткість вхідного вала	C_1	3,6
Жорсткість зачеплення «а – g»	C_2	3,02
Жорсткість зачеплення «g – b»	C_3	3,04
Жорсткість встановлення сателіта у водилі	C_4	0,4
Жорсткість водила «h»	C_5	2,5
Жорсткість вихідного вала	C_6	0,52

Таблиця 2. Інерційні параметри моделі

Назва інерційного параметра	Позначення маси в моделі	Числове значення моменту інерції, $\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2 \cdot 10^{-3}$
Момент інерції маси двигуна	I_1	3,83
Момент інерції центрального колеса «а»	I_2	0,79
Моменти інерції сателітів «g»	$I_3 = I_4 = I_5$	1,5
Моменти інерції мас вісей сателітів	$I_6 = I_7 = I_8$	0,11
Момент інерції водила	I_9	2,82
Момент інерції на вихідному валу	I_{10}	5,0

Висновки. Отримані результати підтвердили працездатність розробленої динамічної моделі. Пружні переміщення мас моделі дозволили теоретичним шляхом визначити нерівномірність розподілу навантаження між сателітами. Для порівняння теоретичних даних з експериментальними були використані значення коефіцієнта нерівномірності розподілу навантаження. В обох дослідженнях значення цих коефіцієнтів визначалися в 36 точках протягом кінематичного циклу, що для передачі, яка розглядається приблизно дорівнює шести обертам водила. Максимальне значення коефіцієнта нерівномірності за результатами експерименту становило $\Omega = 1,48$, а за даними моделі – $\Omega = 1,57$. Незначне перевищення теоретичної величини над дослідною, пояснюється тим, що алгоритм формування зазорів – натягів в зубчастих зачепленнях передбачає можливість виникнення найбільш несприятливого випадку, коли в певний момент часу співпадають за напрямком дії три вектори первинних помилок виготовлення та складання деталей планетарної передачі. З іншого боку, в конкретній передачі, яка досліджувалася експериментально, такий факт не спостерігався. Подальша робота буде присвячена вдосконаленню моделі з метою отримання можливості визначення нерівномірності по довжині контактних ліній.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вейц В. Л. Динамика управляемых машинных агрегатов [Текст] / В. Л. Вейц, М. З. Коловский, А. Е. Кочура. – М. : Наука, 1984. – 351 с.
2. Динамические процессы в механизмах с зубчатыми передачами [Текст]: сборник статей / [под ред. М. Д. Генкина и Э. Л. Айрапетова]. – М. : Наука, 1976. – 155 с.
3. Айрапетов Э. Л. Динамика планетарных механизмов [Текст] / Э. Л. Айрапетов, М. Д. Генкин. – М. : Наука, 1980. – 256 с.
4. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунку деталей машин: Підручник. – 2-ге вид. перероб.– Львів: Афіша, 2003. – 500 с.
5. Коновалюк Д.М., Ковальчук Р.М. Деталі машин : Підручник. – К. : Кондор, 2004.–584 с.

Леонід Лобас

Людмила Лобас

Тетяна Лупіна

ДО ПИТАННЯ ПРО РУХ ПЕРЕВЕРНУТОГО ДВОЛАНКОВОГО МАЯТНИКА

Розглядається перевернутий дволанковий маятник з в'язко-пружними шарнірами, верхній кінець якого закріплено в'язко-пружно. Розглядаються рівняння збуреного руху маятника. Приведена оцінка впливу в'язкого тертя у верхньому закріпленні на область стійкості вертикального положення рівноваги маятника.

Рассматривается перевернутый двухзвенный маятник с вязко-упругими шарнирами, верхний конец которого закреплен вязко-упруго. Рассматриваются уравнения возмущенного движения маятника. Приведена оценка влияния вязкого трения в верхнем закреплении на область устойчивости вертикального положения равновесия маятника.

Considered a double inverted pendulum with viscous-elastic hinges. The upper end of pendulum is fixed visco-elastic. Considered the equations of perturbed motion of pendulum. The assessment of the effect of viscous friction of the upper of the vertical position on the region of stability.

Ключові слова: маятник, стійкість, слідкуюча сила, в'язко-пружні в'язи, рівняння руху, збурений рух, власні значення матриці лінеаризації, характеристичне рівняння, область стійкості.

У роботі розглядається задача про рух перевернутого дволанкового маятника, що моделює стиснутий пружний стрижень під дією слідкуючої сили [1, 2].

Задача розв'язується у розширеній постановці, що враховує не тільки пружне закріплення верхньої ланки дволанкового маятника, але й лінійно-в'язкий опір (тертя).

Розрахункова схема маятника представлена на рис. 1. Довжини ланок $l_1 = OA_1$, $l_2 = A_1A_2$, маси матеріальних точок $A_1(x_1, y_1)$, $A_2(x_2, y_2) - m_1, m_2$. За узагальнені координати взято кути φ_1, φ_2 відхилення ланок маятника від вертикалі. Зв'язок між декартовими та узагальненими координатами виражають формули (1):

$$\begin{aligned}x_1 &= l_1 \cos \varphi_1, \quad y_1 = l_1 \sin \varphi_1, \\x_2 &= l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2, \quad y_2 = l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2.\end{aligned}\tag{1}$$

© **Лобас Л. Г.**, Лобас Людм., Лупіна Т. О., 2012

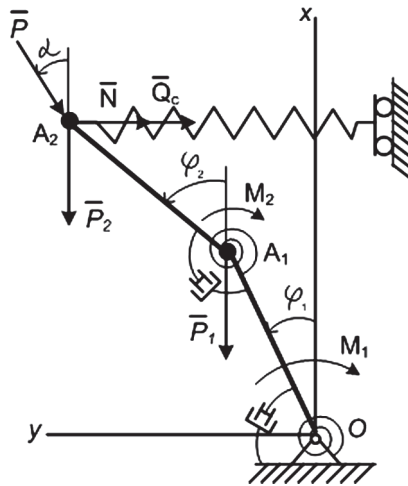


Рис. 1. Розрахункова схема маятника

Сили і моменти, показані на рис. 1, визначаються формулами (2):

$$\begin{aligned} \bar{N} &= -\bar{j}\dot{N}, \quad N = v\dot{y}_2, \quad [v] = \frac{H \cdot c}{m}, \quad N = v(l_1\dot{\varphi}_1 + l_2\dot{\varphi}_2), \\ \bar{M}_1 &= -\bar{k}M_1, \quad \bar{M}_2 = -\bar{k}M_2, \quad M_1 = M_1^f + M_1^e, \quad M_2 = M_2^f + M_2^e, \\ M_1^f &= \mu_1\dot{\varphi}_1, \quad [\mu_1] = H \cdot m \cdot c, \quad M_2^f = \mu_2(\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1), \quad [\mu_2] = H \cdot m \cdot c. \end{aligned} \quad (2)$$

Тут індексами «f» та «e» позначено фрикційні та еластичні складові.

На основі рівнянь Лагранжа другого роду, поклавши $q_1 = \varphi_1$, $q_2 = \varphi_2$ в роботі [3] отримано диференціальні рівняння плоскопаралельного руху досліджуваної моделі маятника.

В частинному випадку $\delta = 0$ система диференціальних рівнянь руху дволанкового маятника має розв'язок:

$$\varphi_1 = 0, \quad \dot{\varphi}_1 = 0, \quad \varphi_2 = 0, \quad \dot{\varphi}_2 = 0, \quad (3)$$

який відповідає станові рівноваги (незбурений розв'язок). Для знаходження рівнянь збуреного руху маятника, що відбувається в малому околі незбуреного, диференціальні рівняння плоскопаралельного руху маятника лінеаризовано в околі розв'язку (3). Одержано такі більш загальні в порівнянні з відомими рівняння у варіаціях:

$$\begin{cases} (m_1 + m_2)l_1^2\ddot{\varphi}_1 + m_2l_1l_2\ddot{\varphi}_2 + (\mu_1 + \mu_2 + vl_1^2)\dot{\varphi}_1 - (\mu_2 - vl_1l_2)\dot{\varphi}_2 + \\ + [c_1 + c_2 + cl_1^2 - gl_1(m_1 + m_2) - l_1P]\varphi_1 + (cl_1l_2 - c_2 + kl_1P)\varphi_2 = 0, \\ m_2l_1l_2\ddot{\varphi}_1 + m_2l_2^2\ddot{\varphi}_2 - (\mu_2 - vl_1l_2)\dot{\varphi}_1 + (\mu_2 + vl_2^2)\dot{\varphi}_2 + \\ + (cl_1l_2 - c_2)\varphi_1 + [c_2 + cl_2^2 - m_2gl_2 - l_2(1-k)P]\varphi_2 = 0, \end{cases} \quad (4)$$

де v, μ_1, μ_2 – коефіцієнти лінійно-в'язкого тертя, а c, c_1, c_2 – коефіцієнти пружності у верхньому закріпленні та шарнірах O і A_1 .

Для подальшого дослідження на основі рівнянь (4) шляхом введення фазових змінних $x_1 = \varphi_1$, $x_2 = \dot{\varphi}_1$, $x_3 = \varphi_2$, $x_4 = \dot{\varphi}_2$ отримані лінеаризовані рівняння збуреного руху маятника у формі Коші:

$$\begin{aligned} x_1' &= x_2; \\ x_2' &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4; \\ x_3' &= x_4; \\ x_4' &= a_{41}x_1 + a_{42}x_2 + a_{43}x_3 + a_{44}x_4. \end{aligned} \quad (5)$$

Матриця коефіцієнтів А системи рівнянь (5) (матриця лінеаризації) має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & I & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ 0 & 0 & 0 & I \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

де

$$\begin{aligned} a_{21} &= \frac{-[(cl_1l_2 - c_2)l_1 + (c_1 + c_2 + cl_1^2 - gl_1(m_1 + m_2) - l_1P)l_2]}{m_1l_1^2l_2}; \\ a_{22} &= \frac{(\mu_2 - vl_1l_2)l_1 - (\mu_1 + \mu_2 + vl_1^2)l_2}{m_1l_1^2l_2}; \\ a_{23} &= \frac{-[(c_2 + cl_2^2 - m_2gl_2 - l_2(1-k)P)l_1 + (cl_1l_2 - c_2 + kl_1P)l_2]}{m_1l_1^2l_2}; \\ a_{24} &= \frac{-(\mu_2 + vl_2^2)l_1 + (\mu_2 - vl_1l_2)l_2}{m_1l_1^2l_2}; \\ a_{41} &= \frac{m_2l_2[c_1 + c_2 + cl_1^2 - gl_1(m_1 + m_2) - l_1P] - l_1(m_1 + m_2)(cl_1l_2 - c_2)}{m_1m_2l_1l_2^2}; \\ a_{42} &= \frac{l_1(m_1 + m_2)(\mu_2 - vl_1l_2) + m_2l_2(\mu_1 + \mu_2 + vl_1^2)}{m_1m_2l_1l_2^2}; \\ a_{43} &= \frac{m_2l_2(cl_1l_2 - c_2 + kl_1P) - l_1(m_1 + m_2)[c_2 + cl_2^2 - m_2gl_2 - l_2(1-k)P]}{m_1m_2l_1l_2^2}; \\ a_{44} &= \frac{-[l_1(m_1 + m_2)(\mu_2 + vl_2^2) + m_2l_2(\mu_2 - vl_1l_2)]}{m_1m_2l_1l_2^2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Власні значення матриці А задовольняють рівняння $|A - \lambda E| = 0$, тобто є коренями характеристичного рівняння системи (4):

$$\begin{vmatrix} (m_1 + m_2)l_1\lambda^2 + (\mu_1 + \mu_2 + vl_1^2)\lambda + & m_2l_1l_2\lambda^2 - (\mu_2 - vl_1l_2)\lambda + cl_1l_2 - c_2 + kl_1P; \\ + c_1 + c_2 + cl_1^2 - gl_1(m_1 + m_2) - Pl_1; & \\ m_2l_1l_2\lambda^2 - (\mu_2 - vl_1l_2)\lambda + cl_1l_2 - c_2; & m_2l_2^2\lambda^2 + (\mu_2 + vl_2^2)\lambda + c_2 + cl_2^2 - m_2gl_2 - l_2(1-k)P \end{vmatrix} = 0$$

$$= A_0\lambda^4 + A_1\lambda^3 + A_2\lambda^2 + A_3\lambda + A_4 = 0,$$

де

$$\begin{aligned} A_0 &= m_1m_2l_1^2l_2^2, \\ A_1 &= m_1l_1^2\mu_2 + m_2l_1^2\mu_2 + m_2l_2^2\mu_1 + m_2l_2^2\mu_2 + m_1l_1^2l_2^2\nu + 2m_2l_1l_2\mu_2 = \\ &= m_1l_1^2\mu_2 + m_2l_2^2\mu_1 + m_2\mu_2(l_1 + l_2)^2 + m_1l_1^2l_2^2\nu, \\ A_2 &= l_2^2\mu_1\nu + l_2^2\mu_2\nu + l_1^2\mu_2\nu + m_1l_1^2c_2 + m_2l_1^2c_2 + m_2l_2^2c_1 + m_2l_2^2c_2 + \mu_1\mu_2 + m_1l_1^2l_2^2c - \\ &- m_1m_2l_1^2l_2g - m_1l_1^2l_2P - m_2^2l_1^2l_2g - m_2l_1^2l_2P - m_1m_2l_1l_2^2g - m_2^2l_1l_2^2g - m_2l_1l_2^2P + 2l_1l_2\mu_2\nu + \\ &+ 2m_2l_1l_2c_2 + m_1l_1^2l_2Pk = \mu_1\mu_2 + m_1l_1^2l_2^2c + m_2l_2^2c_1 + [m_1l_1^2 + m_2(l_1 + l_2)^2]c_2 - \\ &- m_2l_1l_2g(m_1 + m_2)(l_1 + l_2) - m_1l_1^2l_2P + m_1l_1^2l_2Pk - Pm_2l_1l_2(l_1 + l_2) - Pm_1l_1^2l_2(1-k) + \\ &+ \mu_1\nu l_2^2 + \mu_2\nu(l_1 + l_2)^2, \end{aligned}$$

$$A_3 = l_2^2 \mu_1 c - l_2 \mu_1 P + l_2^2 \mu_2 c - l_2 \mu_2 P + l_1^2 \mu_2 c - l_1 \mu_2 P + l_1^2 c_2 v + l_2^2 c_1 v + l_2^2 c_2 v + \mu_1 c_2 - \\ - m_2 l_2 \mu_1 g - m_2 l_2 \mu_2 g - m_2 l_1^2 l_2 g v - l_1^2 l_2 v P - m_1 l_1 \mu_2 g - m_1 l_1 l_2^2 g v - m_2 l_1 \mu_2 g - m_2 l_1 l_2^2 g v - \\ - l_1 l_2^2 v P + \mu_2 c_1 + 2l_1 l_2 \mu_2 c + 2l_1 l_2 v c_2 + l_1 \mu_2 P k + l_2 \mu_2 P k + l_2 \mu_1 P k,$$

$$A_4 = m_2^2 l_1 l_2 g^2 - l_1^2 l_2 c P - l_1 l_2^2 c P - m_2 l_2 c_1 g - m_2 l_2 c_2 g - m_1 l_1 c_2 g - m_2 l_1 c_2 g + c_1 c_2 - m_2 l_1^2 l_2 c g - \\ - m_1 l_1 l_2^2 c g + m_1 m_2 l_1 l_2 g^2 + m_1 l_1 l_2 g P - m_2 l_1 l_2^2 c g + 2m_2 l_1 l_2 g P + l_1 l_2 P^2 + l_1^2 c c^2 + l_2^2 c c_1 - l_2 c_1 P + \\ + l_2^2 c c_2 - l_2 c_2 P - l_1 c_2 P + 2l_1 l_2 c c_2 + l_1 c_2 P k - l_1 l_2 P^2 k + l_2 c_1 P k + l_2 c_2 P k - m_1 l_1 l_2 g P k - m_2 l_1 l_2 g P k.$$

Необхідною і достатньою умовою того, що дійсні частини коренів характеристичного рівняння від'ємні (умова асимптотичної стійкості [4]) є:

$$A_4 > 0, \Delta_3 = A_1(A_2 A_3 - A_1 A_4) - A_0 A_3^2 > 0 \quad (8)$$

Розв'язавши нерівності (8) відносно слідкуючої сили, одержимо:

$$P < P_1(c), \quad P < P_{кр}(c). \quad (9)$$

Таким чином, межі області стійкості на площині параметрів c і P складаються з ділянок двох кривих:

$$P = P_1(c), \quad P = P_{кр}(c). \quad (10)$$

Криві (10) розбивають площину істотних параметрів на області з різним характером власних значень матриці лінеаризації. Точки, що належать цим кривим, знаходили, змінюючи модуль слідкуючої сили P (при фіксованих інших параметрах маятника), як такі, в яких відповідні значення власних значень матриці лінеаризації (6) змінюють свій характер.

Межами області стійкості верхнього вертикального положення дволанкового маятника на площині параметрів c і P при $m_1 = 10$ кг, $m_2 = 5$ кг, $l_1 = l_2 = 0,5$ м, $c_1 = c_2 = 400$ Нм, $\mu_1 = \mu_2 = 10$ Нмс, $v = 0$ є дві гіперболи, зображені на рис. 2.

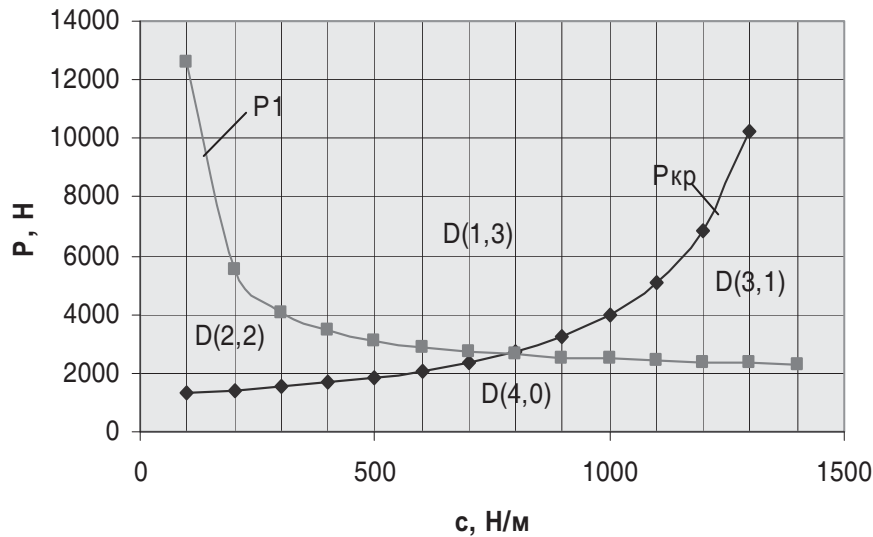


Рис.2. Розбиття площини істотних параметрів на області з різним характером власних значень матриці лінеаризації ($v=0$)

Позначимо через $D(s, 4-s)$ область площини cP , в якій s коренів λ характеристичного рівняння системи (4) мають від'ємні дійсні частини, тобто область асимптотичної стійкості є $D(4,0)$. При переході кривих знизу вгору, тобто при збільшенні слідкуючої

сили P при $c = const$, зменшується кількість коренів λ_i , у яких дійсна частина від'ємна: на 1, якщо переходити криву $P = P_l(c)$, і на 2, якщо переходити криву $P = P_{кр}(c)$.

Таким чином, перехід кривих (10) у відповідному напрямку приводить до таких структурних змін у розбитті площини параметрів c і P на області з різною кількістю від'ємних дійсних частин коренів характеристичного рівняння системи (4):

$$D(4,0) \rightarrow D(2,2) \rightarrow D(1,3) \rightarrow D(3,1)$$

Подальшим завданням було дослідження еволюції області стійкості при $\nu \neq 0$.

Були проведені розрахунки для визначення розбиття площини cP досліджуваного дволанкового маятника при $\nu = 1 \frac{H \cdot c}{M}$, $\nu = 2 \frac{H \cdot c}{M}$ та $\nu = 5 \frac{H \cdot c}{M}$ на області з різним характером власних значень матриці лінеаризації. Результати, отримані при $\nu = 1 \frac{H \cdot c}{M}$, показані на рис. 3.

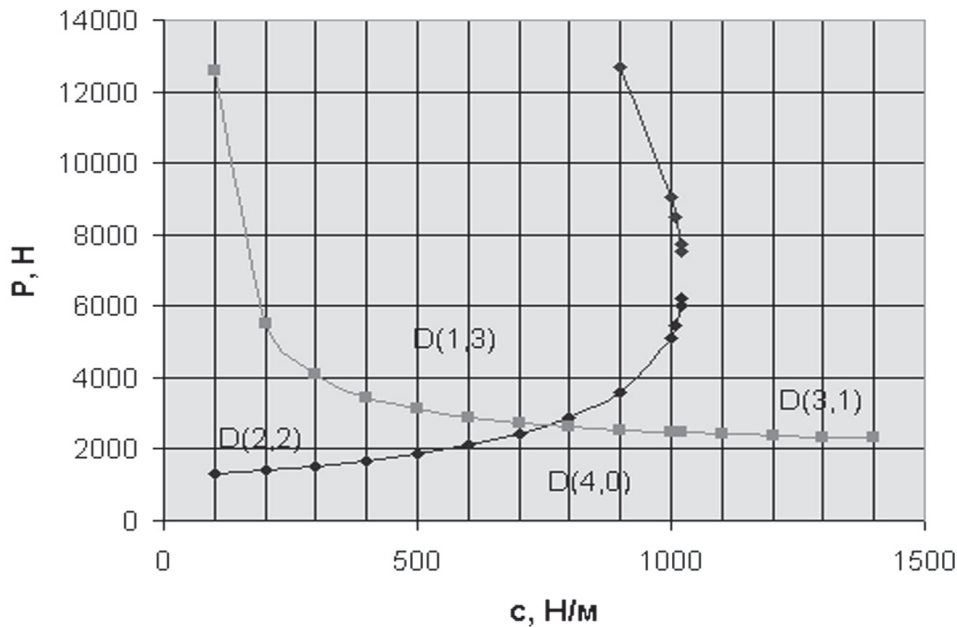


Рис.3. Розбиття площини істотних параметрів на області з різним характером власних значень матриці лінеаризації ($\nu = 1 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}$)

Аналіз результатів проведених розрахунків свідчить, що при заданих параметрах маятника в'язке тертя не впливає на положення кривої P_l , але суттєво змінює розташування та форму кривої $P_{кр}$: зі зростанням значення коефіцієнта в'язкого тертя ν крива $P_{кр}$ дещо зміщується вгору і після перетину з кривою P_l її верхня частина нахилиється вліво в напрямі осі P . Це призводить по мірі зростання значень ν до розширення області асимптотичної стійкості $D(4,0)$ і області $D(3,1)$ та звуження областей $D(2,2)$ і $D(1,3)$.

При значеннях c більших, ніж значення, при якому криві P_l і $P_{кр}$ перетинаються, в'язке тертя у верхньому закріпленні маятника на межу області асимптотичної стійкості $D(4,0)$ не впливає.

Залежність межі області асимптотичної стійкості $D(4,0)$ від коефіцієнта в'язкого тертя ν при різних значеннях жорсткості c пружного закріплення верхнього кінця маятника показана на рис. 4.

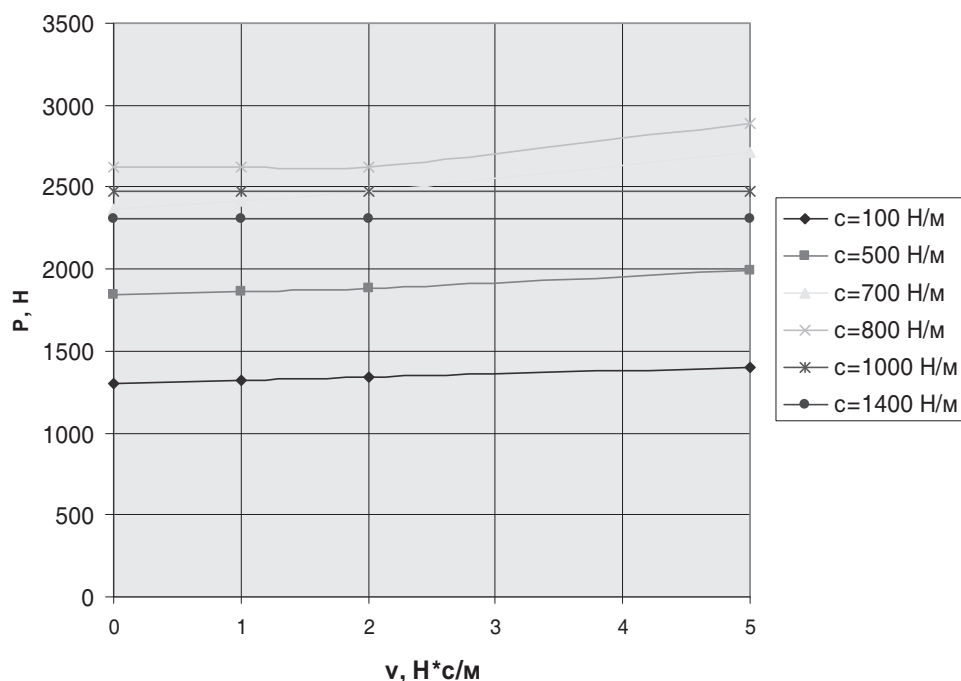


Рис. 4. Залежність межі асимптотичної стійкості від коефіцієнта в'язкого тертя ν

З приведених на рис. 4 даних видно, що при значеннях $c \leq 800$ Н/м збільшення коефіцієнта в'язкого тертя ν призводить до розширення області асимптотичної стійкості $D(4,0)$. Разом з тим, при великих значеннях коефіцієнта c ($c=1000$, $c=1400$ Н/м) в'язке тертя у верхньому закріпленні маятника не впливає на межу області асимптотичної стійкості, що визначається кривою P_1 .

ЛІТЕРАТУРА

1. Ziegler H. Die Stabilitätskriterien der Elastomechanik // Ingenieur – Archiv. – 1952. – Bd.20, H.1. – S.49-56.
2. Elishakoff I. Controversy Associated With the So-Called “Follower Forces”: Critical Overview // Transaction of the ASME. Ser.: Applied Mechanics Reviews. – 2005. – Vol. 58, № 3. – P. 117–141.
3. [Лобас Л. Г.], Лобас Людм. Г., Луїна Т.О. Класифікація сил за їх математичною структурою в узагальненій задачі про рух перевернутого дволанкового маятника // Збірник наукових праць ДЕТУТ. – 2010. – Вип. 16. – С. 142–149.
4. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. – М.: Наука, 1971. – 312 с.

*Степан Білан
Ірина Воронко*

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ «РЕГІНА»
НА ОСНОВІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ**

В даній статті запропоновано математичний метод ідентифікації аварії в реальному масштабі часу по формі зображення гармонічного сигналу, що підлягає аналізу і був зареєстрований за допомогою інформаційно-діагностичного комплексу «Регіна».

В данной статье предложен математический метод идентификации аварии в реальном масштабе времени по форме изображения гармонического сигнала, подлежащего анализу, и был зарегистрирован с помощью информационно-диагностического комплекса «Регина».

In this article proposes a mathematical method for identifying accident in real time in by form of the harmonic signal what was analyzed and was registered through information-diagnostic complex «Regina».

Ключові слова: інформаційно-діагностичний комплекс, ідентифікація, аварія, електрична мережа, множина аварій.

Актуальність. Ідентифікація аварійних ситуацій є необхідною умовою ефективного управління електроенергетичними системами (ЕЕС). Для цього, в електричних мережах, необхідною є інформація про параметри гармонічних сигналів: амплітуду, період, частоту, фазу, а також їх зміни у часі. Існуючі системи ідентифікації аварійних ситуацій найчастіше реалізують інформаційну технологію, використовуючи дані цифрових реєстраторів. Для забезпечення моніторингу параметрів електричних мереж в реальному масштабі часу на сьогоднішній день, в Україні, в основному застосовують вітчизняний цифровий реєстратор – інформаційно-діагностичний комплекс (ІДК) «Регіна» [1, 2].

Робоче вікно програмного забезпечення ІДК «Регіна» для контролю за аваріями подано на рис. 1. Вигляд сигналів, числові значення їх параметрів та місце пошкодження виводяться на екран монітора робочого місця диспетчера та запам'ятовуються системою. ІДК не здійснює ідентифікації аварії, тобто не встановлює тип аварії за певною класифікацією, а лише реєструє її.

Необхідність поєднання даних від різних реєстраторів та інших пристроїв, в яких є інформаційні блоки для фіксації аварій, обробки значних обсягів інформації та її синхронізації істотно ускладнює задачу ідентифікації аварійної ситуації, що призвело до появи нових методів ідентифікації. За останні десятиліття значного розвитку отримали математичні методи ідентифікації [3-5], що використовують як вихідні, так зване «зображення» об'єкта або події.

Актуальною задачею є розробка методів ідентифікації аварії за формою гармонічних сигналів в енергетичних системах, на основі сучасних методів ідентифікації зображень.

У статті запропоновано модель ідентифікації аварії в реальному масштабі часу по формі зображення гармонічного сигналу, що підлягає аналізу, і був зареєстрований за допомогою ІДК «Регіна».

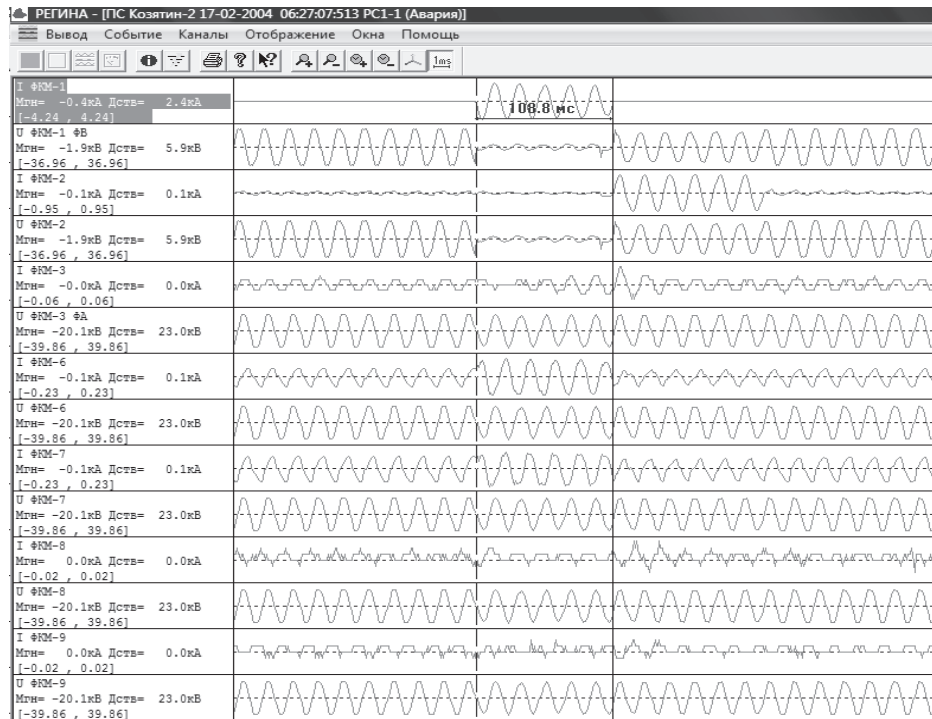


Рис. 1. Робоче вікно програмного забезпечення ІДК «Регіна» при реєстрації штатної і нештатної ситуації

Постановка задачі. Для ідентифікації аварії, що виникла і була зареєстрована системою «Регіна», прийемо такі позначення :

$A = \{A_i\}$ – множина аварій, які можуть виникнути в системі; A_p – множина аварій, які відбулись і були сприйняті системою (система навчена аваріям, що відбулися); A_n – множина аварій, які не відбулися (аварії, які не були сприйняті системою).

Виходячи з даних позначень, множина аварій, які можуть виникнути в системі [3, 4]:

$$A = A_p \cup A_n \quad (1)$$

Аварії, які належать до множини A_p , при повторному виникненні ідентифікуються системою. Множина аварій A_n також може бути розпізнана системою, якщо їх характеристики наперед відомі.

Таким чином, задачею даної роботи є розробка методу ідентифікації аварій, що реєструються ІДК «Регіна» по зареєстрованих параметрах їх аналогових сигналів в реальному часі.

Математична модель процесу ідентифікації аварій

Кожна аварія A_i подається множиною сигналів або множиною змінних у часі величин, тобто:

$$A_i = \{u_j^i(t)\}, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (2)$$

де T – тривалість аварійної події, або значної зміни аналогового сигналу; $u_j^i(t)$ – амплітуда аналогового j -го сигналу i -ї аварії у момент часу t ; j – індекс, який визначає кількість сигналів, що характеризують аварію.

Аналоговим сигналом може бути величина напруги, сила струму, частота, фаза тощо. Отже,

$$u_j^i(t) = \{u_j^i(t_1), u_j^i(t_2), \dots, u_j^i(T)\}, \quad (3)$$

де $u_j^i(t)$ – значення, яке отримується в момент часу t . При цьому, всі $u_j^i(t)$ також розбиваються на множини значень по часу:

$$u_k(t) = \{u_j(t_k)\}, \quad (4)$$

де $u_j(t_k)$ – значення, яке отримано при оцінці j -го сигналу у момент часу t_k . Тобто кожен аварію можна подати, як:

$$A_i = \bigcup_k u_k(t). \quad (5)$$

Більш наглядно кожен аварію A_i можна представити у матричній формі:

$$A_i = \begin{bmatrix} u_1^i(t_1) & u_1^i(t_2) & \dots & u_1^i(T) \\ u_2^i(t_1) & u_2^i(t_2) & \dots & u_2^i(T) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ u_j^i(t_1) & u_j^i(t_2) & \dots & u_j^i(T) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Матриця (6) дає повний опис аварії, яка виникає в мережі і зафіксована системою «Регіна».

Вся сукупність можливих аварій (1) характеризується змінами аналогових сигналів. При цьому багато аварій з (1), характеризуються однаковими підмножинами сигналів у (2). З цього приводу процес ідентифікації аварії можна скоротити за рахунок виділення загальних ознак. Для зменшення часу на ідентифікацію визначається загальна множина параметрів для всіх аварій згідно з виразом:

$$A_s = \bigcap_i A_i. \quad (7)$$

Якщо $A_s = \{\emptyset\}$, то проводиться пошук аварій, які мають спільні параметри за якими визначається група аварій для подальшої ідентифікації. Але на практиці неможливо описати всі аварії A_n . Тому описуються аварії множини A_p , а система послідовно навчається з настанням нової аварії. Згідно з даними умовами та судженнями загальна множина параметрів, яка визначається, залежить від часу

$$A_s(t+1) = A(t+1) \cap A_s(t), \quad (8)$$

де $A(t+1)$ – множина параметрів нової аварії, що надійшла у момент часу $(t+1)$; $A_s(t)$ – множина, отримана в результаті перетину (7) на момент часу t .

$$A_s(t+1) \leq A_s(t). \quad (9)$$

Якщо

$$A_s(t+1) = \{\emptyset\}, \quad (10)$$

то

$$A_s(t+2) = A(t+2) \cap A_s(t). \quad (11)$$

Множина $A_s(t)$ переводиться до групи аварій, параметри яких не належать до отриманої множини $A_s(t+2)$.

Процес визначення множини параметрів A_s проводиться постійно з надходженням кожної нової аварії. Отже, формується перша множина $A_s^1(t)$ отримана шляхом перетину множин параметрів аварій, що відбулися.

Друга множина перетину починає формуватись з виявлення множини $A(t+1)$, при якій виконується (10). Починається процес пошуку аварій, множини параметрів яких дають не пустий перетин з даною множиною. Процес формування множини $A_s^2(t)$, як і множини $A_s^1(1)$, триває постійно.

З надходженням аварії $A_1(t)$, при якій виконуються такі співвідношення:

$$\begin{cases} A_1(t) \cap A_s^1(t) = \{\emptyset\}, \\ A_1(t) \cap A_s^2(t) = \{\emptyset\} \end{cases} \quad (12)$$

починає формуватись нова загальна множина шляхом визначення перетинів з іншими множинами параметрів аварій, що відбулися.

Таким чином, при ідентифікації в реальному часі, постійно формується множина:

$$A_s^Z(t) = \{A_s^1(t)\} \quad (13)$$

Всі елементи множини (13) змінюються в часі і процес зміни відбувається з надходженням нової аварії, яка ще не відбувалася за весь час роботи системи.

Для прискорення процесу ідентифікації проводиться розподіл елементів множини $A_s^Z(t)$ по кількості охоплених аварій, які закріплюються за ними. З надходженням аналогових сигналів, які свідчать про аварію, що відбуваються вперше, формується множина параметрів для подальшого порівняння з елементами множини $A_s^Z(t)$. При цьому, елементи даної множини (13) розташовуються у послідовність в порядку спадання кількості елементів множини.

$$A_s^1(t) > A_s^2(t) > \dots > A_s^n(t). \quad (14)$$

Отже, з початку порівнюється перша множина, шляхом визначення перетину і відповідно належності аварії до існуючих:

$$A_1(t+1) = \begin{cases} 1, \text{ при } A_1(t+1) \cap A_s^1(t) = A_s^1(t) \\ 0, \text{ в інших випадках} \end{cases} \quad (15)$$

Одиниця вказує на те, що $A_1(t+1)$ належить до групи аварій, які формують $A_s^1(t)$, нуль вказує на необхідність порівняння з наступною множиною $A_s^2(t)$. Таким чином, визначення групи, до якої належить аварія, яка відбулася, здійснюється формуванням множини:

$$A_1(t+1) \in \begin{cases} A_s^k(t), \text{ при } A_1(t+1) \cap A_s^k(t) = A_s^k(t), \\ 0, \text{ в інших випадках} \end{cases} \quad (16)$$

де k – вказує на k -ту групу аварій, перетин множин яких дає $A_s^k(t)$.

Для ідентифікації аварії у кожній множині виділяється мінімальний базис параметрів якого достатньо для ідентифікації.

Процес ідентифікації подано на рис. 2 множинною діаграмою [6, 7], яка ілюструє перетин множин.

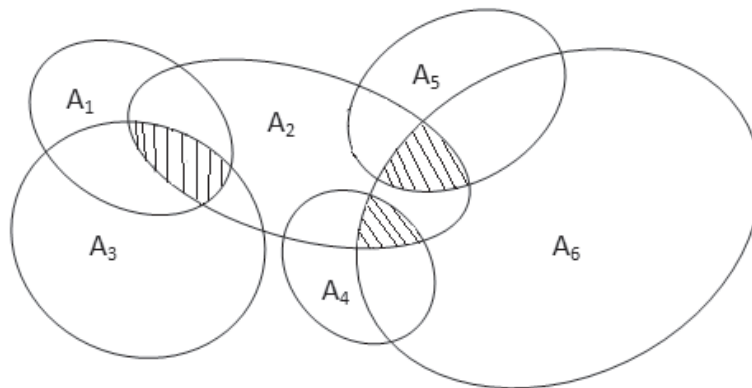


Рис. 2. Діаграма прикладу подання аварії моделлю (12)

Для детальнішого подання процесу ідентифікації побудовано таблицю 1 для десяти аварій, що відбулись.

Таблиця 1. Процес ідентифікації для десяти аварій, які відбулися

№ аварії	Параметри										1 група	2 група	і-та група	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
A1	■	▨				▩	▩					x		
A2	■	▨											x	
A3				▨	▨						■	x	x	
A4							▩				■			x
A5	▨						▩						x	x
A6	▨								▨				x	
A7									▨				x	
A8									▨					x
A9						▩	▩					x		
A10						▩	▩					x		

Алгоритм ідентифікації аварій (рис. 3) складається з таких етапів:

1. Виявлення зміни аналогового сигналу на вході системи та наявності аварії.
2. Формування множини параметрів, що характеризують аварію згідно з (6).
3. Виявлення групи аварій, до яких належить $A_i(t)$. Визначення:

$$A_i(t+1) \cap A_j^k(t) = A_j^k(t).$$

Шляхом послідовного порівняння (визначення перетину) здійснюють пошук множини, яка залишається в результаті порівняння.

4. Порівняння множини параметрів аварій з кожною множиною виділеної групи та пошук співпадання найбільшої кількості параметрів у групі.

5. Визначення достатньої кількості параметрів, які ідентифікують аварію.

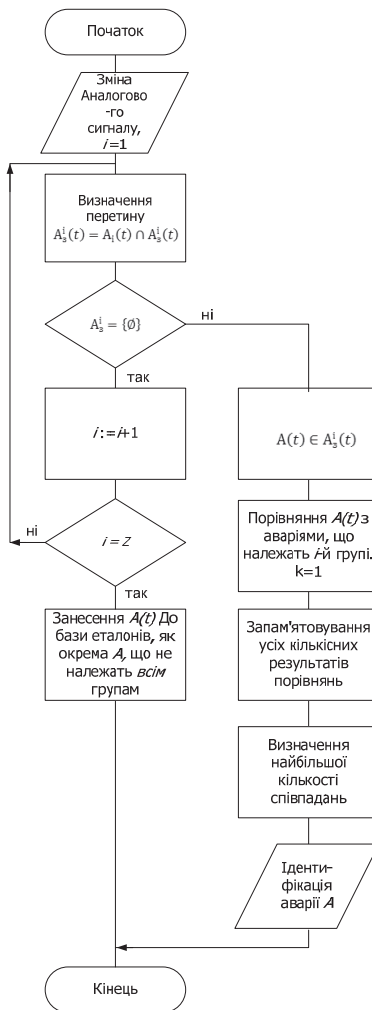


Рис. 3. Алгоритм ідентифікації аварій, де z – кількість аварій, що відбулися

Висновки. Запропоновано модель ідентифікації аварії в реальному масштабі часу в формі зображення гармонічного сигналу, що підлягає аналізу і був зареєстрований за допомогою ІДК «Регіна». Розроблено алгоритм ідентифікації аварії за допомогою апарату теорії множин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Информационно-диагностический комплекс «Регина» // Проспект МЧП «Анигер». – Киев, 2008.
2. Стогній Б. С., Сопель М. Ф. Інформаційно-діагностичний комплекс «Регіна» // Новини енергетики. – 2000. – №10. – С. 44–47.
3. Белан С. Н., Моторнюк Р. Л. Системы наблюдения за подвижными объектами железнодорожного транспорта в реальном времени на основе клеточных технологий // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». – Т. 1. – 2011. – С. 231–233.
4. Білан С. М., Моторнюк Р. Л. Спосіб ідентифікації рухомих об'єктів // Патент України на корисну модель № 61493. – Бюл. №14 від 25.07.11 р.
5. Білан С. М., Моторнюк Р. Л. Система 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.
6. Александров П. С. Введение в теорию множеств и общую топологию. – М.: Наука, 1977. – 368 с.
7. Капітонова Ю. В., Кривий С. Л., Летичевський О. А., Луцький Г. М., Печурін М. К. Основи дискретної математики. – К.: Наукова думка, 2001. – 579 с.

Володимир Козак

АВТОМАТИЗОВАНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ПІДПРИЄМСТВ ТА ПРОБЛЕМАТИКА ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ

У статті наведено інформацію про автоматизовані комп'ютерні системи управління ресурсами підприємств, роль даних систем у процесах управління фінансовою діяльністю підприємств, проблематикою технічної реалізації та впровадження їх в експлуатацію; вказано на типові, з точки зору автора, помилки при впровадженні та економічний ефект від даного процесу.

В статтє приведена информация об автоматизированных компьютерных системах управления ресурсами предприятий, роль данных систем в процессах управления финансовой деятельностью предприятий, проблематикой технической реализации и внедрения их в эксплуатацию; указаны типичные, с точки зрения автора, ошибки при внедрении и экономический эффект от данного процесса.

The article provides information on the automated computer system resource management companies, the role of information systems in the management of financial activities of enterprises, the technical implementation issues and put them into operation, indicated for the typical author's view errors in the implementation and the economic effect of the process.

Ключові слова: фінансова діяльність, управління підприємством, ERP.

Актуальність теми. В наш час керівництву великого підприємства, що займається виробництвом чи наданням послуг в достатньо великому обсязі, досить важко відслідковувати всі події, пов'язані з фінансовими процесами, та своєчасно приймати рішення. Однак саме своєчасно прийняті рішення дозволяють значно мінімізувати втрати бюджету або ж навпаки максимально збільшити прибутки. Для цього керівництву у будь-який час повинно мати можливість переглянути поточні фінансові та інші показники у режимі реального часу, щоб завжди тримати руку на «фінансовому пульсі» свого підприємства. Для забезпечення такої можливості і розробляються та впроваджуються системи управління ресурсами підприємств.

Мета. Освітити роль ERP систем в управлінні підприємствами та показати проблематику впровадження даних систем.

Основний зміст роботи

ERP системи – комп'ютерні системи, створені для обробки ділових операцій організації та для сприяння комплексному та оперативному (в режимі реального часу) планування, виробництва та обслуговування клієнтів.

Зокрема, ERP-системи мають такі характеристики:

- являють собою готове ПЗ, розроблене для середовища клієнт-сервер, як традиційної архітектури, так і такої, що базується на інтернет-технологіях;
- дані системи інтегрують більшість бізнес-процесів;

-
- обробляють більшу частину ділових операцій організації;
 - забезпечують доступ до даних в режимі реального часу;
 - в деяких випадках дані системи дозволяють інтегрувати обробку ділових операцій та дій з планування (наприклад, виробниче планування).

Більше того, ERP-системи все частіше мають такі додаткові характеристики, як:

- підтримка численних валют і мов (що дуже важливо для транснаціональних компаній);
- підтримка конкретних галузей (наприклад, SAP підтримує велику кількість галузей, включаючи нафтову і газову галузі, охорону здоров'я, хімічну промисловість і банківську справу);
- здатність до налаштування (кастомізації) без програмування (наприклад, установкою «перемикачів»).

ERP-системи впроваджуються для того, щоб об'єднати всі підрозділи компанії і всі необхідні функції в одній комп'ютерній системі, яка обслуговуватиме поточні потреби цих підрозділів. Розробка подібної єдиної системи – непросте завдання. Зазвичай кожен підрозділ має власну комп'ютерну систему, оптимізовану для вирішення його завдань.

ERP-система веде єдину базу даних по всіх підрозділах і завданнях, так що доступ до інформації стає простіше, а головне, підрозділи отримують можливість обмінюватися інформацією.

Візьмемо, наприклад, типову ситуацію надходження замовлення від клієнта. У вигляді паперового документа замовлення починає подорож по кабінетах і службах, часто передруковуючись, при цьому окрема інформація з нього вноситься в приватні бази даних підрозділів. Кожен передрук, кожне додаткове редагування даних загрожує помилками. У результаті фінансовий відділ нічого не знає про стан справ і можливість виконати замовлення терміново.

ERP-система автоматизує завдання, вбудовані в виконання бізнес-процесів. Так, при отриманні замовлення від споживача менеджер має всю інформацію про відносини із замовником та його кредитний рейтинг. Коли один підрозділ закінчує працювати із замовленням, воно автоматично передається в наступний підрозділ. При цьому виключаються багатократні помилки введення інформації, втрати документів і тому подібні казуси. У результаті замовлення обробляються швидше і без помилок. Аналогічні можливості виникають у багатьох інших служб – служби персоналу, виробничого відділу, відділу маркетингу, служби постачання. Єдина інформаційна база дозволяє враховувати взаємозв'язок окремих процесів, як, наприклад, завантаження замовленнями на поточний місяць і графік відпусток персоналу.

ERP-система змінює ставлення персоналу окремо і служб в цілому до своєї роботи. Тепер керівництво володіє інформацією про стан справ у кожний момент часу і по всіх аспектах: чи надійшла оплата за роботу, чи достатньо комплектуючих на складі, чи варто у графіку виконання робіт їх замовлення до потрібного терміну тощо.

Виробничі компанії, особливо ті, у яких багато підрозділів, географічно віддалених, розташованих в різних країнах і на різних континентах, усвідомлюють, що окремі підрозділи можуть користуватися різними методами обліку, різними комп'ютерними системами, так що не завжди кінці сходяться з кінцями. Об'єднана багатовалютна система дозволяє скоротити персонал і уніфікувати облікові процеси. Розвиток Internet забезпечує простий доступ до даних з будь-якого найвіддаленішого місця. Крім того, коли виробництво кінцевого продукту роздроблене на виробництво комплектуючих в різних місцях, не менш важливо забезпечити технічну сумісність, єдність методів контролю, своєчасність поставок партій сировини, заготовок, комплектуючих.

Стадія реалізації. У процесі виконання цієї стадії будується системний прототип, який повинен відображати всі процеси і процедури компанії, визначені у майбутній концепції. Тут основним завданням є налагодження системи (конфігурування всіх системних таблиць) відповідно до ваших вимог; а також створення звітів та форм, необхідних компанії.

Стадії реалізації та підготовки частково перетинаються, деякі дії з стадії підготовки можуть починатися ще під час стадії реалізації.

Стратегія реалізації. Щодо вибору стратегії реалізації проекту має прийматися принципове рішення: поетапна реалізація, «великий вибух» або розгортання. При поетапному підході модулі впроваджуються послідовно, разом з тим як при підході «великий вибух» всі модулі вводяться в експлуатацію одночасно. Підхід із застосуванням розгортання реалізує модель в одній виробничій одиниці, яка потім поширюється на інші одиниці. На рішення компанії можуть вплинути такі аспекти, як організаційна структура, ресурси, ставлення до зміни або відстань між різними виробничими одиницями.

Впровадження інформаційних мереж спрямоване на підвищення ефективності бізнес-процесів, що являють собою постачання, збут і виробництво. Впровадження даної технології істотно впливає на збільшення продуктивності підприємства в цілому. Але ERP – це не тільки автоматизація бізнес-процесів, це ще і автоматизація таких управлінських функцій, як планування, контроль і облік.

ERP-система має радикальну відмінність від всім знайомого нам пакета Microsoft Office, який однаково працює на всіх комп'ютерах. Функціональність ERP-системи безпосередньо залежить від чіткого визначення завдання конкретного підприємства і налаштування її під ці завдання. Повна ефективність від використання цієї системи досягається тільки в тому разі, якщо вона спроектована і налаштована правильно, що допоможе в подальшому зробити бізнес більш керованим.

Відмінна риса ERP-системи від інших систем полягає в тому, що вона допомагає зібрати воедино дані про діяльність підприємства і тільки на підставі зібраної інформації система зможе проаналізувати дані. Важливою особливістю даної системи є те, що господарські операції в системі реєструються один єдиний раз, і ми відразу ж можемо проаналізувати їх вплив на діяльність підприємства за отриманими звітами.

Інформаційна система планування ресурсів підприємства є досить розвинутою системою і функції її знаходяться в постійній стадії розробки та вдосконалення, але все ж трапляється так, що після того, як ERP-система була впроваджена на певному підприємстві і всі методики її впровадження були задіяні правильно, керівництву підприємства як і раніше не вдається отримати повний інформаційний контроль над діяльністю підприємства. І що найцікавіше, нічого істотного не відбувається, а навіть навпаки, все залишається як і раніше. У чому ж тут справа? Факторів, що впливають на некоректну роботу ERP-системи може бути багато. Це може бути, наприклад, некоректне оформлення первинних документів, збої і порушення в політиці збуту, наявність на підприємстві наднормативних запасів. Можливі навіть випадки того, що багато підприємств після впровадження ERP-системи, відмовляються від неї, з причини того, що нібито вона неадекватно і не своєчасно реагує на поставлені перед нею завдання. Але так працює не тільки на наших підприємствах, є відомості, що і на заході на частку успішних впроваджень ERP-системи на підприємствах припадає менше 50 % випадків.

Але чому настільки великий відсоток впроваджень ERP-системи виявляється неуспішним? Якщо провести аналіз невдалих впроваджень ERP-системи, то виявляється таке: одним з головних чинників невдалих впроваджень є порушення принципу проектування систем автоматичного управління (АСУ). Серед фахівців існує думка, що проекти впровадження автоматизованих систем управління не дають позитивних результатів через те, що при проектуванні даних систем не враховується стратегія розвитку бізнесу, проводиться занадто часто перепрограмування бізнес процесів.

Варто виділити такі помилки:

1. При проектуванні ERP-системи не враховується подальша стратегія розвитку підприємства.

Як свідчать проведені аналізи, це є основною помилкою при впровадженні ERP-системи. Давайте розберемося, чому так відбувається. За останні роки економіка і різні економічні галузі, в яких працюють підприємства, значно видозмінилися і продовжують постійно змінюватися, в такому контексті неможливо налаштувати інформаційну систему

коректно, оскільки вона не зможе враховувати можливі зміни в діяльності підприємства в майбутньому. Прикладом цьому може служити те, що підприємства, що працюють у нафтогазовій галузі, вивели всі непрофільні активи, а між тим інформація про дані активи була важливою частиною АСУ. Ще один приклад: підприємства, що працюють у сфері металургії, майже в два рази скоротили кількість своїх працівників, тим самим це відбилося на кількості автоматизованих місць, що також неможливо врахувати при впровадженні ERP-систем. З огляду на це, стає зрозуміло, що потрібно якимось чином вдосконалити та модернізувати системи планування ресурсів підприємства, щоб надалі можливо було враховувати всі показники, що змінюються. В іншому випадку впровадження ERP-систем стане свого роду тягарем для правильної і продуктивної діяльності підприємства. Але вже зараз стає можливим впровадження повнофункціональної ERP-системи на підприємствах, це тривалий процес і може займати від 3-х до 5-ти років. Для того, щоб не повторювати надалі помилок, слід спроектувати і продумати структуру і масштаб діяльності підприємства щонайменше на три роки вперед. Але тут знову ж таки, при неправильному прогнозуванні перспектив діяльності підприємства в майбутньому, можливі великі втрати і витрати, наприклад, на купівлю додаткового обладнання для ERP-систем, що веде за собою непередбачені витрати на оплату інтернет-трафіку. Мало кому здаватиметься приємним, коли через певний час підніметься питання про те, щоб перевести вже існуючу ERP-систему на іншу платформу.

Інші напрямки розвитку бізнесу також повинні постійно враховуватися – це і розширення практики дрібносерійного виробництва, і організація філій, і значне зменшення резервних запасів, і більш суворий контроль строків поставок. При проведенні всіх цих заходів збільшується навантаження продуктивності ERP-системи, від якої залежить своєчасність та оперативність реєстрації господарських операцій, в іншому випадку, будь-які дані, зібрані за допомогою даної системи, виявляться неефективними.

2. Проектування інформаційних систем «знизу-вгору»

Правильно закласти цілі компанії і перспективи її подальшого успішного розвитку можна лише, використовуючи метод проектування «зверху-вниз». Практика свідчить, що створення ефективної інформаційної управлінської системи коштує дорого, тому що практично неможливо врахувати весь потік інформації, що з'являється в компанії. Тому кожен розробник при проектуванні ERP-системи стикається з проблемою переходу від отримання повного обсягу інформації до певного ліміту. Основним завданням при проектуванні ERP-системи є вибір основного значущого напрямку для ефективного прийняття управлінських рішень. Оскільки на підприємство щодня надходять великі обсяги інформації різного змісту, проектувальнику потрібно вибрати зі всього цього інформаційного потоку тільки найзначимішу і важливу інформацію. Природно, що у кожній компанії свої потреби в інформаційному забезпеченні. Тому правильне проектування ERP-системи означає в першу чергу вибір інформації, яка є важливою для верхніх шарів управління, а вже потім проектувальник спускається «вниз». Даний метод розрахований головним чином на отримання першорядно значимої інформації, необхідної вищому керівництву. Але як доводить практика проектування ERP-систем, проектувальники, не вдаючись у подробиці важливості інформації, що надходить, вводять в систему дуже багато непотрібної та надлишкової інформації, тим самим збільшуючи вартість АСУ. У результаті через недостатність та повноти отриманої інформації страждає менеджмент компанії, а керівництво компанії отримує величезні обсяги непроаналізованої інформації, яка значно уповільнює процес прийняття управлінських рішень, цьому є безліч прикладів. Для того, щоб підприємство при проектуванні і впровадженні ERP-системи, яка вимагає значних витрат, не отримувало надлишкової та неефективної інформації, потрібно при проектуванні ERP-системи враховувати головним чином цілі компанії і, зважаючи на це, правильно визначити вид і характер інформації, що надходить на підприємство.

3. Некоректне перепроектування бізнес-процесів

Дуже часто трапляється так, що компанія, що вирішила впровадити ERP-систему, наважується на такий значущий крок, як перепроектування або реінжиніринг усіх існуючих

на підприємстві бізнес-процесів і подальше їх впровадження, і підпорядкування вимогам ERP-системи. Або ж можливо, що компанія буде наполягати на збереженні всіх існуючих бізнес-процесів при перебудові обраної ERP-системи, а іноді і при повному її переписуванні. Але ці два варіанти впровадження ERP-системи якраз і є неправильними, які в подальшому негативно позначаються на ефективності діяльності підприємства.

При реінжинірингу всіх бізнес-процесів збільшується ризик того, що впроваджувана на підприємстві ERP-система взагалі не буде використовуватися. Оскільки практика реінжинірингу бізнес-процесів свідчить, що будь-які значущі зміни бізнес-процесів дуже важко приживаються і як наслідок використовуються дуже рідко.

Якщо ми подивимося на західні компанії, то побачимо, що західні ERP-системи розроблені з урахуванням світового досвіду впровадження даних систем, засновані на досвіді побудови та оптимізації бізнес-процесів. Зважаючи на це, стає очевидно, що цей досвід повинен враховуватися при удосконаленні системи управління в наших вітчизняних компаніях і підприємствах. Але може статися так, що проєктувальники ERP-системи не завжди правильно використовують посилення на західну практику, оскільки вітчизняні компанії працюють абсолютно в іншому економічному середовищі.

Збереження усіх існуючих бізнес-процесів також є неефективним методом, тому що отримана система внаслідок множинних доопрацювань і переробок втрачає свою надійність і ефективність. Це позначається на ризику помилкової обробки введеної інформації, а від автоматизації обраної системи також не буде ніякої користі, оскільки допрацьовані й перероблені бізнес-процеси будуть неефективними.

Підприємство в даному випадку буде залежати від обраної системи управління і автоматично позбавляється можливості вдосконалювати свою діяльність. На підставі цих методів важливо знайти «золоту» середину між реінжинірингом бізнес-процесів і доробкою існуючої системи.

4. Невірна оцінка економічної ефективності впровадження ERP-системи

Впровадження ERP-системи коштує чималих грошей, сюди входить закупівля необхідного обладнання, комп'ютерів, оплата консультаційних послуг і т.д. У зв'язку з цим керівнику підприємства належить вирішити основне питання про економічну ефективність впроваджуваної ERP-системи.

Перед керівником стоїть завдання зіставлення витрат на автоматизацію бізнес-процесів з підсумковими економічними результатами проєкту. Рішення даної задачі включає в себе відповіді на такі питання: яку інформацію в кінцевому результаті отримає керівник, яких втрат це допоможе уникнути, яким чином домогтися максимального збільшення ефективності використовуваних ресурсів підприємства.

Якщо не вирішити хоча б одне з цих питань, цілком можливо, що витрат на впровадження ERP-системи не виправдають себе або просто не окупляться. Для того, щоб уникнути можливих невдач, необхідно визначити ціну включення певної інформації на всіх етапах проєктування і впровадження ERP-системи. Але це ще не все. Необхідно вирішити питання економічної ефективності ще при створенні прототипу майбутньої ERP-системи. Найбільша ефективність від впровадження ERP-системи можлива лише в тому разі, коли на підприємстві добре вибудована система управління.

Позитивним фактором, що впливає на правильну і ефективну роботу впроваджуваної ERP-системи, є наявність багатой функціональності.

Практика свідчить, що нерідкі випадки того, як впроваджувана ERP-система служила на підприємстві всього лише засобом, що допомагає при підготовці податкової звітності або більше того, простим калькулятором. Цьому може сприяти ціла низка причин, починаючи від неправильного вибору консультаційної компанії, яка допомагає підприємству впровадити ERP-систему, до неправильного вибору проєктувальником системи завдань і цілей. Багато підприємств здійснюють основну помилку, керуючись принципом «купимо зараз, а далі видно буде». Тому дані підприємства і несуть значні втрати коштів.

Створення та впровадження ERP-системи в компанії або на підприємстві спочатку передбачає радикальні зміни в бізнес-процесах даного підприємства або компанії. Цьому

сприяє методологія впровадження ERP-системи, функціональність даної ERP-системи. Існують системи класу SAP R / 3, для яких загальноприйнятою практикою впровадження є притягання бізнес-процесів компанії до вже наявної багатой функціональності ERP-системи. Внаслідок впровадження даної системи підприємство несе серйозні витрати на управління впроваджуваного проекту, а також через зміни у власних бізнес-процесах. Також існують такі системи як MS Navision Attain і Ахарта, які прийнято вважати системами середнього класу.

Дані системи є одними з кращих систем в даному класі, при впровадженні цих систем проектувальник спочатку орієнтується на адаптованість до необхідних процесів підприємства. Тобто основна мета запровадження цих систем сфокусована на процесах замовника, а вже потім на функціональності системи. Сучасні ERP-системи володіють високорівневим і інтегрованим середовищем розробки, в даному випадку можливе створення системи, яка повною мірою відповідає всім існуючим вимогам компанії.

Повернення від інвестицій в ERP-систему йде не від самої системи, а від підвищення ефективності бізнес-процесів, яких вона підтримує. Сама по собі система управління ресурсами підприємства, незалежно від того, наскільки досконала вона, чинить слабкий вплив на збільшення продуктивності компанії. Якщо ви продовжите користуватися колишнім бізнес-процесом після впровадження нової системи, ви можете очікувати тільки таку саму, або найбільш імовірно, гіршу продуктивність. ERP-система може забезпечити і підтримати багато нових видів процесів, але це завдання самої компанії вирішувати якими повинні бути ці бізнес-процеси і приймати рішення щодо їх подальшого використання або відхилення.

Ефективність використання системи, яку необхідно розрахувати для отримання показника ефективності витрат, залежить, в першу чергу, від реалізації успішної стратегії бізнесу. Неможливо говорити про правильне та ефективне впровадження інформаційних технологій, покликаних принципово покращувати ринкову позицію компанії, без розгляду досягнення того чи іншого рівня ключових показників продуктивності компанії.

Система повинна бути налаштована на досягнення стратегічних і тактичних цілей організації. Якщо компанії при впровадженні ERP-системи ігнорують корпоративну стратегію і розглядають її використання як технологію реалізації виключно тактичних завдань, то, незважаючи на безперечні отримані переваги, принципових поліпшень в бізнесі компанії може і не статися. Порівняльні вигоди в таких проектах часто настільки малі, що багато починають вважати сучасні системи занадто дорогим задоволенням. Тим самим, корисність системи істотно зменшується, що є критичним явищем навіть при відносно невеликій сукупній вартості володіння.

Визначення стратегії свого бізнесу і відображення цієї стратегії на цілях і завданнях, які покликана вирішувати обрана ERP система, є найголовнішим в ухваленні рішення про впровадження. І спроба оцінки очікуваного повернення від інвестицій буде більш успішною, якщо ви зможете дати відповіді, що базуються на фактах (наскільки це можливо, звичайно) на такі питання:

1. Які показники зміни продуктивності бізнесу (стратегічні і тактичні) будуть використовуватися?
 2. Чи визначені відповідальність і облік очікуваних змін у продуктивності бізнес-процесів?
 3. Чи допоможе система нам досягти або перевершити рівень ефективності роботи наших конкурентів? Як, наскільки і коли?
 4. Чи допоможе система нам поліпшити планування і контроль виконання фінансових і оперативних планів? Як, наскільки і коли?
 5. Чи допоможе система нам покращити взаємини з нашими клієнтами? Як, наскільки і коли?
 6. Чи допоможе система нам збільшити обсяг продажів? Як, наскільки і коли?
 7. Чи допоможе система нам зменшити час виконання замовлень? Як, наскільки і коли?
 8. Чи допоможе система нам скоротити виробничі та операційні витрати?
-

9. Чи допоможе система нам зменшити інвестиції в складські запаси? Як, наскільки і коли?

10. Чи допоможе система нам скоротити час на розробку і виведення нової продукції на ринок? Як, наскільки і коли?

Висновок. Для успішного керування фінансовою, кадровою та іншими політиками сучасного підприємства керівництву потрібно оперувати корпоративною інформацією в режимі реального часу та завжди мати доступ до даних будь-якого рівня. Саме вирішення цих питань і є призначенням автоматизованих систем управління ресурсами підприємства (ERP).

ЛІТЕРАТУРА

1. *Обухов И. А., Гайфуллин Б. Н.* Автоматизация систем управления предприятиями стандарта ERP-MRP. – М: Интерфейс-пресс, 2001.
2. *Дэниел О'Лири.* ERP-системы: выбор, внедрение, эксплуатация. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. – М.: Вершина, 2004.
3. *В. Баронов, И. Титовский/* Стаття «Методы построения систем управления».
4. SAP R/3 System. Function in detail. Material Management / Production Planning, SAP. 1994 / Управление материальными потоками // Перевод на русск. яз., 1996 г.

Леонид Мараховский

ОСНОВА НОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В статье рассматриваются четыре новых научных направления для построения конкурентоспособных устройств компьютерной техники.

У статті розглядається чотири нових наукових напрямки для побудови конкурентоспроможних пристроїв комп'ютерної техніки.

The article considered four new scientific directions for constructing of competitive devices computer equipment.

Ключевые слова: многофункциональные автоматы, схема автоматной памяти, реконфигурируемые устройства, нейрон, искусственный интеллект.

Актуальность. Отличительной чертой предлагаемых направлений является то, что использование элементарных схем автоматной памяти, позволит значительно повысить надежность и производительность существующих систем, и позволит создавать новое направление в вычислительной технике.

Введение. Парадигма современной информационной технологии использует для запоминания информации двоичные схемы памяти (триггеры) и фон-неймановские вычисления [1]. Эта парадигма охватила многие научные направления, такие как: теорию автоматов Мили и Мура [2], разработку различных триггеров на основе базового RS-триггера [3], построение типовых устройств компьютерной техники, микропроцессоры на основе больших интегральных схем, разработку самих интегральных схем [4], компьютеров, суперкомпьютеров и реконфигурируемых вычислительных систем [5].

Впервые в ноябре 2011 года фирма IBM объявила, что ей удалось «в кремнии» реализовать вычислитель, в котором за обработку данных отвечают нейроны, память реализована в форме синапсов, а связи – в виде аксонов. Правда, глава проекта Дхармендры Модхи сказал о трудностях, которые они намерены преодолеть в ближайшие несколько лет. Это запоминание информации в нейронах и их самонастройка [6].

Как видно, стремление найти новые парадигмы информационных технологий, которые отличны от существующей неймановской парадигмы, в настоящее время являются актуальными и возможными при колоссальных возможностях современных сверхбольших интегральных схем.

Основы парадигмы нового междисциплинарного направления

В работе рассмотрено новое научное междисциплинарное направление, которое объединяет четыре научных направления обработки информации, предложенных автором.

Первое научное направление – это теория абстрактных многофункциональных автоматов 1-го, 2-го и 3-го рода, обладающих открытой структурой, и автомата 4-го рода,

© *Мараховский Л. Ф., 2012*

способного контролировать катастрофические отказы в базовых схемах памяти автоматов Мили и Мура, обладающих закрытой структурой, с памятью на триггерах и многофункциональных автоматах, предложенных автором, с памятью на схемах автоматной памяти [7].

Второе научное направление – это теория построения реконфигурируемых схем автоматной памяти. К этому направлению относятся теории построения многофункциональных схем памяти (МФСП), обладающих открытой структурой, и многоуровневых схем памяти (МУСП), обладающих полужакрытой структурой, с внутренней многофункциональной организацией [8–10].

Третьим научным направлением является построение типовых реконфигурируемых устройств компьютерной техники на схемах автоматной памяти. Это регистры, счетчики, устройства управления, процессоры, компьютеры [11; 18].

Четвертым научным направлением является построение цифрового искусственного нейрона на схемах автоматной памяти для увеличения функциональных возможностей современных устройств искусственного интеллекта, которое в настоящее время разрабатывает автор со своими учениками.

Теория абстрактных многофункциональных автоматов

На уровне абстрактной теории автоматов Мараховского, которые в дальнейшем будем просто называть автоматом M , с многофункциональной системой организации памяти, используют переходы по двум переменным $x(t)$ и $e(\Delta)$ в схемах автоматной памяти, значение сохраняющего $e(\Delta)$ входного сигнала необходимо учитывать и использовать для рассмотрения функционирования автоматов в автоматном непрерывном времени [12].

Схему автоматной памяти условно можно представить в виде матрицы, в которой столбики представляют собою подмножества μ_i состояний автомата, а строки – подмножества π_j состояний автомата (табл. 1)

Таблица 1

Матрица состояний схемы автоматной памяти

	μ_1	μ_2	...	μ_n
π_0	a_{10}	a_{20}	...	a_{0n}
π_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
π_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
...
π_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

В многофункциональной схеме памяти (МФСП) [8] переходы в момент t под воздействием входных $x(t)$ сигналов могут происходить из одного состояния в другое в определенном подмножестве π_i , а в моменты Δ автоматного непрерывного времени T ($T_i = t_i + \Delta_i$) под воздействием входного $e(\Delta)$ сигнала могут происходить переходы из одного состояния в другое в определенном подмножестве μ_i состояний автомата. Таким образом, в матричной схеме автоматной памяти возможны переходы по двум переменным $x(t)$ и $e(\Delta)$ в одном машинном такте T автоматного непрерывного времени [12].

Абстрактные автоматы M представляют собой объединение автоматов 1-го, 2-го и 3-го рода (рис. 1), которые функционируют в автоматное непрерывное время T_i , которое состоит из двух отрезков t_i и Δ_i [12].

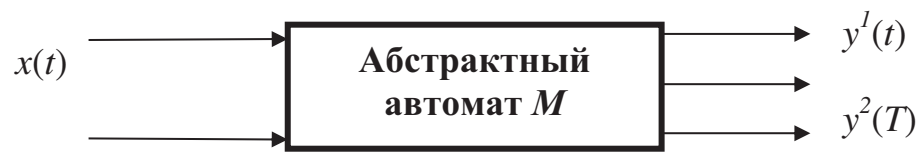


Рис. 1. Многофункциональный автомат M

Все известные абстрактные и структурные автоматы, которые рассматривают законы работы каких-либо устройств с памятью определяются по типу выходного сигнала [2; 7]. Для всех из них, работающих в детерминированном режиме, есть один входной устанавливающий сигнал x_p , который имеет для базовой схемы на логических схемах ИЛИ-НЕ (И-НЕ) на всех ее входных узлах активное значение, равное логической единицы (нулю). Этот входной сигнал устанавливает на выходных узлах логических элементов ИЛИ-НЕ (И-НЕ) памяти пассивные значения равные логическому нулю (единицы). Такое состояние выходных сигналов в схеме памяти не сохраняется после окончания входного сигнал x_p во время Δ автоматного непрерывного времени T [12]. Во время Δ происходит в этом случае вероятностный переход в запоминаемое состояние в определенном множестве состояний схемы памяти. В связи с этим, устанавливающий x_p входной сигнал является запрещенным в детерминированных автоматах и не используется [1-2, 11].

Но, этот устанавливающий x_p входной сигнал можно во всех автоматах использовать для выявления катастрофических отказов в базовых схемах памяти автоматов, если хотя бы один логический элемент ИЛИ-НЕ (И-НЕ) в схеме памяти будет на выходном узле иметь постоянное значение равное логической единицы (нулю), за счет организации выходного сигнала $y^4(t) = \lambda_4(x_p(t), a(t))$. Таким образом, автомат, использующий выходной сигнал в $y^4(t)$, можно назвать автоматом четвертого рода в связи с тем, что все автоматы, как говорилось ранее, определяются по своим выходным сигналам.

Реконфигурированные схемы автоматной памяти

Многофункциональные схемы памяти обладают преимуществом перед базовой двоичной схемой памяти: по аппаратным затратам на одно запоминаемое состояние; по функциональным возможностям осуществлять перестройку структуры запоминания состояний; по обработке одновременно частной и общей информации за один машинный такт T [8]. МФСП обладают повышенной надежностью и живучестью. Они достаточно полно представлены в литературе [8; 11–12] и описаны в патенте [13].

Многоуровневые схемы памяти проектируются с использованием МФСП, на которые поступают сохраняющие $e(\Delta)$ входные сигналы с автомата стратегии A_M , который может быть использован на триггерах (рис. 2).

Схема (рис. 2) состоит из трех МФСП $_j$ (МФСП $_1$, МФСП $_2$, МФСП $_3$), которые расположены на двух уровнях ($j = 2$). На верхнем уровне находится управляемая МФСП $_3$, которая имеет четыре элемента И-НЕ ($n = 4$), и разбита на две группы ($m = 2$) по два элемента ($q = 2$) в каждой группе. Управляющие схемы МФСП $_1$ и МФСП $_2$, которые находятся на первом (нижнем) уровне, предназначенные для управления структурой запоминания состояний в группах ($q = 2$) верхней схемы МФСП $_3$ и имеют по три элемента И-НЕ ($n = 3$), которые разбиты на три группы ($m = 3$) по одному элементу ($q = 1$) в каждой. МФСП $_1$ - МФСП $_3$ построены на логических элементах И-НЕ.

Отличительной структурной особенностью схемы памяти является многоуровневая память, где каждый структурный j -й уровень состоит из устойчивой МФСП $_j$, причем в МФСП $_j$ соединены только входы тех элементов, которые принадлежат k -й группе ($q_{j,k} > 1$), с выходами схемы памяти нижних уровней МФСП $_s$ ($s = j - 1$), которые предназначены для управления структурой запоминания состояний в группах ($q_{j,k} > 1$) верхней МФСП $_j$.

Отличительной функциональной особенностью устройства является работа управляемых схем МФСП $_j$ верхних уровней в нескольких различных подмножествах

своих состояний, определяющих совокупность состояний схем МФСП_s ($s = j - 1$) нижних уровней. Это позволяет изменять отображение входящей и исходящей информации в управляемых схемах МФСП_j, направлять выходную информацию в определенное направление и устанавливать состояния схемы памяти меньшим количеством входных сигналов, поступающих только на часть входных узлов устройства.

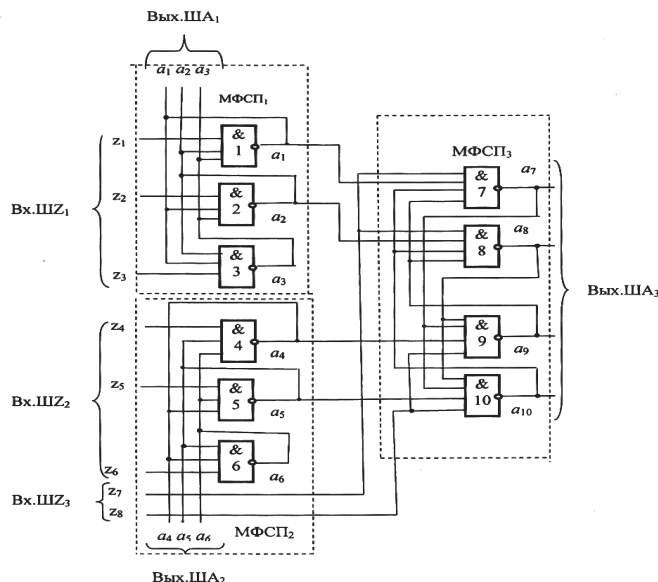


Рис. 2. Двухуровневая схема памяти

МУСП обрабатывает общую информацию, поступающую на триггеры автомата стратегии A_M , и частную информацию, поступающую на МФСП, одновременно, что позволяет увеличить быстродействие в реконфигурируемых программах.

МУСП обладает меньшими аппаратными затратами на одно запоминаемое состояние, качественно новыми функциональными возможностями, позволяющими изменять структуру запоминаемых состояний в МФСП, способностью обрабатывать за один машинный такт T общую и частную информацию, повышенной надежностью и живучестью, что принципиально недоступно осуществить триггерам [9–12; 14–15].

Типовые реконфигурированные устройства компьютерной техники

Типовые реконфигурированные устройства компьютерной техники, такие как регистры, счетчики, устройства управления, процессоры, компьютеры на схемах автоматной памяти представлены в литературе, где предложены методы их построения [11–12; 16–18].

Построение цифрового искусственного нейрона

Человеческий нейрон представляет собой полуоткрытую многоуровневую структуру, имеющую наборы возбуждающих и тормозящих сигналов. Нейрон функционирует в детерминированном и вероятностном режимах, обладает повышенной надежностью, живучестью и самоконтролем полной работоспособности, обрабатывает одновременно частную и общую информацию, имеет тысячи выходных связей, по которым полученный результат посылается только на один выход [6].

Модель искусственного нейрона можно рассматривать, как 8-ми уровневую МУСП, состоящую из МФСП (рис. 2). МФСП обладают разными режимами работы: детерминированным при осуществлении однозначных и укрупненных переходов, и вероятностным при осуществлении вероятностных и нечетких переходов, что в целом напоминает функциональные характеристики живого нейрона. Искусственный нейрон на МУСП параллельно осуществляет прием устанавливающих входных сигналов на всех восьми уровнях, организывает внутреннюю перестройку структуры состояний семи верхних уровней памяти, обладает повышенной надежностью, самоконтролем выхода

памяти из строя при катастрофических отказах. Это помогает надежному функционированию самого нейрона и системы, построенной на таких искусственных нейронах, с целью создания конкурентно способного искусственного интеллекта.

Интересной особенностью такого цифрового искусственного нейрона (рис. 2) является отношение числа логических элементов в верхней МФСП к числу логических элементов в автомате стратегии нижнего уровня. Это соотношение равно $\frac{4}{6} = 0,6$. Отношение числа логических элементов в автомате стратегии нижнего уровня к числу логических элементов в верхней МФСП равно $\frac{6}{4} = 1,5$, что близко к «золотому» сечению, которое отражает один из основных законов живой и неживой Природы.

Выводы. Таким образом, кратко даны сведения о фундаментальных основах новой информационной технологии на схемах автоматной памяти, которую можно использовать при разработке новой конкурентоспособной компьютерной техники и искусственного интеллекта с увеличением функциональных возможностей, быстродействия и надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комп'ютерна схемотехніка (короткий курс) / Р. О. Процюк, В. Н. Корнейчук, П. В. Кузьменко, В.П. Тарасенко. – К.: ПП «Корнійчук», 2006. – 433 с.
2. Глушков В. М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физмат-гиз, 1962. – 476 с.
3. Букреев И. Н., Мансуров В. М., Горячев В. И. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. – М.: Сов. радио, 1975. – 368 с.
4. Соловьев В. В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2001. – 636 с.
5. Палагин А. В. Реконфигурируемые вычислительные системы: Основы и приложения / А.В. Палагин, В. Н. Опанасенко. – К.: Просвіта, 2006. – 280 с.
6. IBM работает над созданием «компьютерного мозга» <http://www.cybersecurityru/it/82336.html>
7. Мараховский Л. Ф. Конечные автоматы с многофункциональной системой организации памяти: Учебное пособие. – К.: УМК ВО, 1991. – 67 с.
8. Мараховский Л. Ф. Многофункциональные схемы памяти. – К.: УСИМ. – № 6. – 1996. – С. 59–69.
9. Мараховский Л. Ф. Многоуровневые устройства автоматной памяти. I ч. – К.: УСИМ. – № 1. – 1998. – С. 66–72.
10. Мараховский Л. Ф. Многоуровневые устройства автоматной памяти. II ч. – К.: УСИМ. – № 2. – 1998. – С. 63–69.
11. Мараховский Л. Ф. Комп'ютерна схемотехніка: навч. посібник. – К.: КНЕУ, 2008. – 360 с
12. Мараховский Л. Ф. Основы теории проектирования дискретных устройств. Логическое проектирование дискретных устройств на схемах автоматной памяти: монография. – К.: КГЕСУ, 1996.–128 с.
13. Мараховський Л. Ф., Міхно Н. Л., Погребняк В. Д. Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 34166 від 25 липня 2008 р. – (51) МПК (2006) H03K 29/00 – Бюл. 14. – 12 с.
14. Мараховський Л. Ф., Міхно Н. Л. Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 29581 від 25 січня 2008 р. – (51) МПК (2006) G05B 11/42 – Бюл. 2. – 14 с.
15. Мараховський Л. Ф., Міхно Н. Л. Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 29582 від 25 січня 2008 р. – (51) МПК (2006) G05B 11/42 – Бюл. 2. – 10 с.
16. Мараховський Л.Ф., Міхно Н. Л. Електронна обчислювальна машина. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 34167 від 25 липня 2008 р. – (51) МПК (2006) G06F 17/00 – Бюл. 14. – 10 с.
17. Мараховський Л. Ф., Міхно Н. Л. Мікропрограмний пристрій керування. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винахід № 87871 від 28. 08 2009 р. – (51) МПК (2009) G06F 9/00 – Бюл. 16. – 6 с.
18. Міхно Н. Л. Способы построения реконфигурируемого процессора на «элементном» уровне. / Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології», 2011. – Вип. 18. – С. 84–94.

*Леонид Мараховский
Максим Москвин*

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ИСКУССТВЕННОГО НЕЙРОНА НА ЭЛЕМЕНТАХ АВТОМАТНОЙ ПАМЯТИ (к созданию перспективных моделей искусственного интеллекта)

Работа содержит обоснование и разработку новых принципов и методов структурной организации искусственного нейрона на основе многофункциональных запоминающих схем памяти.

Робота містить обґрунтування і розробку нових принципів і методів структурної організації штучного нейрона на основі багатofункціональних запам'ятовуючих схем пам'яті.

The paper contains a study and development of new principles and methods of structural organization of an artificial neuron on the basis of multifunctional storage memory circuits.

Ключевые слова: элемент, автомат, многофункциональная схема памяти, нейрон, кибернетика, вычислительная техника, алгоритмы, соционика, философия.

Актуальность Отличительной чертой предлагаемых устройств является то, что предлагаемая модель нейрона способна воспринимать устанавливающие (возбуждающие) и сохраняющие (тормозящие) входные сигналы, способна перестраивать структуру запоминающих состояний искусственного нейрона, и формировать выходные сигналы в определенном направлении.

Введение. В настоящее время вся вычислительная техника использует двоичную схему памяти, обладающую «нулевой информационной избыточностью», неспособную перестраивать структуру запоминаемых состояний и, что самое главное, обладает недостаточной надежностью при создании устройств управления такими важными объектами, как атомные электростанции, железнодорожный и воздушный транспорт. Это создает много проблем. В системах искусственного интеллекта эти проблемы возрастают. С целью повышения надежности систем, их адаптации к окружающей среде и возможностью поднятия интеллекта существующих систем, используя предлагаемую многофункциональную память, которая может быть аналогом цифрового искусственного нейрона.

Биологический нейрон

Нервная система и мозг человека состоят из нейронов, соединенных между собой нервными волокнами. Нервные волокна способны передавать электрические импульсы между нейронами. Все процессы передачи информации от сенсорных систем организма, процессы мышления и управления действиями – все это реализовано в живом организме как передача электро-химических импульсов между нейронами [1].

Нейрон (нервная клетка) является особой биологической клеткой, которая обрабатывает информацию.

© *Мараховский Л. Ф., Москвин М. В., 2012*

Нейрон состоит из тела и отростков нервных волокон двух типов – дендритов, по которым принимаются импульсы, и единственного аксона, по которому нейрон может передавать импульс. Тело нейрона включает ядро, содержащее информацию о наследственных свойствах и плазму, обладающую молекулярными свойствами для производства необходимых материалов. Нейрон получает сигналы (импульсы) от аксонов других нейронов через дендриты и передает сигналы, сгенерированные телом клетки вдоль своего аксона, который в конце разветвляется на волокна. На окончаниях этих волокон находятся специальные образования – синапсы, которые влияют на величину импульсов.

Синапс является элементарной структурной и функциональным узлом между двумя нейронами (волокно аксона одного нейрона и дендрит другого). Когда импульс достигает синаптического окончания, высвобождаются химические вещества называемые нейротрансмиттерами [2]. Нейротрансмиттеры диффундируют через синаптическую щель, возбуждая или затормаживая, в зависимости от типа синапса, способность нейрона-приемника генерировать электрические импульсы. Результативность передачи импульса синапсом может настраиваться проходящими через него синапсами так, что синапсы могут «обучаться» в зависимости от активности процессов, в которых они участвуют. Эта зависимость от предыстории действует как память, которая, возможно, ответственна за память человека.

Основной особенностью нейрона, является способность к «приспосабливанию» и избирательности по отношению направления распространения информации по сети. Нейрон может изменять структуру аксонно-дендритных связей в зависимости от поставленной задачи и состояния соседних нейронов (уровень возбуждения). Подобный механизм адаптации к условиям работы позволяет строить очень сложные «блоки» соединений.

Нейроны взаимодействуют короткими сериями импульсов продолжительностью несколько миллисекунд. Сообщение передается посредством частотно-импульсной модуляции. Частота может изменяться от нескольких единиц до сотен герц, что в миллион раз медленнее, чем быстродействующие переключательные электронные схемы. Тем не менее, сложные задачи распознавания человек решает за несколько сотен миллисекунд. Эти решения контролируются сетью нейронов, которые имеют скорость выполнения операций всего несколько миллисекунд. Это означает, что вычисления требуют не более 100 последовательных стадий. Другими словами мозг «запускает» параллельные программы, содержащие около 100 шагов. Рассуждая аналогичным образом, можно обнаружить, что количество информации, посылаемое от одного нейрона к другому, должно быть очень малым (несколько бит). Отсюда следует, что основная информация не передается непосредственно, а захватывается и распределяется в связях между нейронами. Из вышесказанного мы получаем, что для решения сложных задач нейроны объединяются в сеть, состоящую из нескольких сотен себе подобных элементов.

Предварительные понятия для создания модели нейрона

Глубокое изучение любой из наук, а тем более наук связанных прямо или косвенно с человеческим мозгом (медицины, психологии, кибернетики, вычислительной техники и т. д.), приводит к необходимости понимания основ организации процессов мышления человека. Мир внутри человека можно по сложности изучения сравнить с миром Вселенной, которая окружает человека. С незапамятных времен и до сих пор строение клетки нейрона, структура человеческого мозга и его возможности является важной проблемой философии, религии и психологии, и активно обсуждается во многих научных трактатах часто с непримиримостью в суждениях.

В настоящее время в области вычислительных машин встала острая проблема изучение всех аспектов человеческого мозга в связи с необходимостью создания более качественных компьютерных систем искусственного интеллекта, которые должны приближаться к возможностям мышления человеческого мозга. Вместе с тем, ряд ученых высказываются скептически о возможностях создания систем искусственного интеллекта [4].

В эпоху всеобщей интеллектуализации, когда компьютерные системы будут беседовать с человеком на его языке, напоминать, предупреждать и объяснять возможные варианты насущных проблем, вызывает большой интерес нечеткие методы и интерактивные программные средства, которые соответствуют по возможностям человеческому мышлению. Интеллектуальные системы компьютерного наставничества (*Intelligence Tutor Systems*), с учетом типа и уровня интеллекта пользователя должны воспринимать действия и предсказывать последствия реализации сознательных и бессознательных целей и мотивов поведения человека.

В связи с выше перечисленным становится понятным актуальность и интерес к работе памяти человеческого мозга и его элементе – нейрону с позиции многофункциональных схем памяти [5, 6].

Развитие математики и проблема гармонии

Согласно Колмогорову, математика – это «наука о количественных отношениях и пространственных формах действительного мира» [7].

Колмогоров отметил: «ясное понимание самостоятельного положения математики как особой науки, имеющей собственный предмет и метод, стало возможным только после накопления достаточно большого фактического материала и возникло впервые в Древней Греции в 6-5 вв. до н.э.».

Обсуждая причины возникновения математики, Колмогоров выделяет две практические проблемы, которые стимулировали развитие математики на этапе ее зарождения, *счет и измерение*. Эти «ключевые» проблемы привели к обоснованию двух фундаментальных математических концепций: *натурального числа и иррационального числа*, и к созданию двух фундаментальных математических теорий, а именно *теории чисел и теории измерения*, которые лежат в основе «классической математики». Однако, в античной науке существовала еще одна фундаментальная проблема, которая влияла на развитие античной науки и математики. Речь идет о *проблеме гармонии*, связанной с *золотым сечением* [8]. К сожалению, эта проблема всячески игнорировалась «материалистической» наукой и «классической математикой».

Необходимо напомнить, что это научное направление развивалось в течение более чем двух тысячелетий многими выдающимися мыслителями и математиками, в частности: Пифагором, Платоном, Евклидом, Фибоначчи, Леонардо да Винчи, Лукой Пачоли, Иоганном Кеплером, Цейзингом, Люка, Бине, Феликсом Клейном, а в 20-м и 21-м столетии такими выдающимися исследователями как Гримм, Гика, Мартин Гарднер, Николай Воробьев, Коксетер, Вернер Хоггатт, Алан Тьюринг, Джордж Пойя, Алфред Реньи, Стефан Вайда, Эдуард Сороко, Алексей Стахов, Ян Гржездельский, Олег Боднар, Николай Васютинский, Виктор Коробко, Иосиф Шевелев, Сергей Петухов, Роджер Герц-Фишлер, Джейм Капраф, Мидхат Газале, Вера Шпинадель, Дунлап, Скотт Олсен, Мохаммед Ель Нашие и многие другие.

Свойства человеческого мышления

В человеческом мозгу кроме рациональных и иррациональных чисел однозначного логического мышления существует мышление вероятностное, ассоциативное и нечеткое. Автор первой публикации по теории размытых (нечетких) множеств профессор Л. Заде в своих публикациях утверждает, что такие множества более приемлемы для мышления человека во многих случаях принятия им решения, а особенно при сложных, многовариантных решениях [9]. Теория нечетких множеств – это, по сути дела, шаг по пути к сближению точности классической математики и всепроникающей неточности реального мира, к сближению, порожденному непрекращающимся человеческим стремлением к лучшему пониманию процессов мышления и познания [10]. По существу Л. Заде и его последователи сходятся на том, что логика человеческого мышления основывается не только на классической двухзначной или даже многозначной логике, а и на логике с нечеткими значениями истинности, с нечеткими связками и нечеткими правилами вывода. Теория нечетких подмножеств позволяет структурировать иерархические структуры, кото-

рые разделены не очень точными границами. Например, при изучении мыслей, языков и восприятий у людей.

Основы кратковременной памяти человеческого мозга

В своих работах Л. Хурсин [4] отразил характеристики человеческого мозга как продукта функционирования общественной системы, основным структурным элементом которой является человек, способный адаптироваться к воздействию внешнего мира и осуществлять в пределах присущих ему сознания и воли целесообразные действия. Это, прежде всего, процесс трудовой деятельности, являющийся по своей природе информационным. Опосредованную трудом человека информацию он назвал *связанной информацией*, в связи с тем, что она накоплена в мозгу человека посредством его обучения. *Свободной информацией* он назвал информацию в связи с тем, что она синтезируется мозгом человека при восприятии реакции внешней среды на совершенные человеком действия. Первичный поток связанной информации обеспечивает жизнедеятельность и выживание каждого человека, как элемента общественной системы, а вторичный ее поток повышает эффективность потока первичного, обеспечивая выживание системы в целом.

Состояние системы, при котором создаваемый ею информационный поток содержит в равных количествах функциональную и структурную информацию, называют *состоянием информационного равновесия системы*.

Рассматривая систему общественного типа и кратковременную память человеческого мозга, Хурсин вводит множество определений и формул. Некоторые из них опишем для дальнейшего понимания наших исследований.

Система из N элементов в состоянии информационного равновесия имеет структуру, состоящую из n иерархических уровней. Количество информации, которое создают элементы каждого иерархического уровня системы, являются величиной постоянной. Количество информации, которое вносит в информационный поток каждый элемент системы, называется *информационной емкостью элемента системы*. В иерархической структуре системы все ее элементы упорядочены от высшего (частного) к низшему (общему) уровню в порядке убывания их информационной емкости.

В области психологии было установлено, что возможности восприятия абсолютного различия стимулов и скорость двигательных реакций ограничены количеством передаваемой информации. Было определено, что число символов или «кусков» информации является постоянным и равно «семь плюс или минус два». П. Невельский в своей работе [11] установил, что число иерархических уровней информационной структуры оперативной памяти человеческого мозга как число 7,6, то есть лежит в пределах от 7 до 8.

Продуктом мыслительной деятельности человека является поток свободной информации, представляющих собою множество связанных между собою образов, различной информационной сложности. Информационная характеристика человеческого мозга [11] определяет верхнюю границу числа уровней сложности образов, которые человек может воспринимать и которыми может оперировать в процессе мышления. Верхняя граница количества информации, которую несут образы каждого уровня сложности, приблизительно равна 735,1 бит/элемент [4]. Эта константа устанавливает пределы способности человека устанавливать связи. Это ограничение, по всей вероятности, согласуется с теоремой Геделя о неполноте дедуктивных систем [12], характеризуя свойства кратковременной памяти человеческого мозга [4]. Из него следует: информационный поток в оперативной памяти не может превышать ркбеж 5586,76 бит/элемент.

Структура любой системы образуется из множества элементов и связей между ними. В процессе мышления связи между элементами устанавливаются на основе набора признаков (свойств). Число признаков, которыми может оперировать человек в процессе восприятия и мышления, равно 54 бит/элемент. Это число делится на равное количество структурных и функциональных признаков – 27 бит/элемент, что подтвердилось при анкетном социологическом исследовании рабочих: «из 54 признаков в опросном листе были отобраны 27 признаков (свойств), которые представлялись наиболее существенными для классификации индивидов...» [13].

Эти константы принято называть «умственными способностями» человека. «Человек не может развивать свои умственные способности так, как он может развивать мускулы. Единственно, что он может сделать – это усовершенствовать свое искусство в применении умственных способностей. Это важное отличие, которое неспециалист не различает» [13]. Сущность этого усовершенствования состоит в приобретении информации определенных уровней сложности и освоении методов ее логической переработки [4].

Количество образов, составляющих информационный поток, которые способна вмещать оперативная (кратковременная) память человеческого мозга, доходит приблизительно до 1121, а величина информационной емкости порога – и функциональной, и структурной информации – близка к 27. Это свойственно алфавитам большинства развитых современных языков (включая пробелы между буквами). Познание мира человеком ограничено не только объемом кратковременной памяти, но и объемом памяти долговременной.

Структура цифрового искусственного нейрона

Обобщенная структурная схема головного мозга человека состоит из симметричных подсистем, связанных с внешними рецепторами тела человека, такими как глаза, уши, рот, кожа тела, а также с рецепторами ауры вокруг тела человека, состоящей из 8 уровней. Подсистемы человеческого мозга состоят из больших полушарий головного мозга, затылочной части головного мозга, зрительных бугров, промежуточного мозга, продолговатого мозга, среднего мозга, варолиева моста, мозжечка, спинного мозга, а также из нисходящих и восходящих пирамидных нервных стволов (магистралей потоков).

Строительным материалом для мозга является нейрон. Для построения нейронных сетей или нейрокомпьютера используется искусственный нейрон, который имеет два входных пучка сигналов: возбуждающих и тормозящих работу нейрона. Это позволяет перестраивать структуру запоминания информации варьированием связей между нейронами. Из тысяч выходных сигналов нейроны своей *функцией активации* (ее иногда называют *функцией срабатывания, передаточной функцией*) отбирают только один выход.

Если принять по аналогии за основу постулат, что ячейка мозга имеет 7–8 уровней, как и человеческий мозг кратковременной памяти [4], а информация имеет двоичную систему счисления (есть сигнал или его нет), то ячейка памяти должна сохранять около 256 различных состояний. При этом число различных возбуждающих (устанавливающих) сигналов должно соответствовать тоже 256. Количество уровней других нейронов, которые способны воздействовать на тормозящие (сохраняющие) входные сигналы не должно превышать 8, так как $2^8 = 256$. В настоящее время нейронные сети и нейрокомпьютер в основном состоят из моделей искусственного нейрона и моделируются на современных компьютерах. В фирме IBM идут работы по созданию физических устройств, моделирующих человеческий мозг [14].

Нами предлагается рассмотреть физическую модель искусственного нейрона на основе многофункциональной схемы, предложенной д.т.н., профессором Л.Ф. Мараховским [5]. Модель искусственного нейрона можно рассматривать, как многофункциональную схему автоматной памяти, которая функционирует в автоматном непрерывном времени (рис. 1).

Человеческий нейрон представляет собой полуоткрытую многоуровневую структуру, с набором возбуждающих и тормозящих сигналов, функционирующую в детерминированном и вероятностном режимах с повышенной надежностью, живучестью и самоконтролем полной работоспособности, обрабатывающую одновременно частную и общую информацию, с тысячами выходных связей, но сигнал селективно посылается только на один выход.

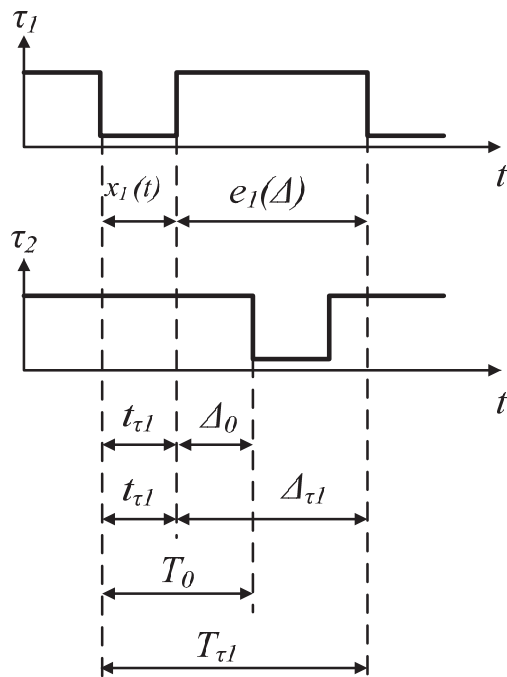


Рис. 1.

В момент $t_{\tau 1}$ на схему автоматной памяти, которая является открытой структурой, может поступать устанавливающий входной сигнал $x(t_{\tau 1})$, отражающий частную информацию, а в момент Δ_0 поступает сохраняющий входной сигнал $e(\Delta_0)$, отражающий общую информацию. При одновременном действии устанавливающих наборов $x_y(t)$ входных сигналов и сохраняющих наборов $e_j(t)$ входных сигналов в схеме памяти поглощается сохраняющий набор $e_j(\Delta)$ входных сигналов в соответствии с такой формулой:

$$x_y(t) \cup e_j(t) = x_y(t) \quad (1)$$

Многофункциональную схему автоматной памяти представим в виде черного ящика (рис. 2), – она описана достаточно подробно в [5; 6], – отметив лишь характеристики основные ее входных и выходных сигналов.

Многофункциональная схема автоматной памяти (МФСП) способна осуществлять однозначные переходы (как в многофункциональных автоматах 2-го рода) и укрупненные переходы (как в автоматах 3-го рода). Кроме этого, она способна осуществлять вероятностные и нечеткие переходы [15].

Характерной особенностью установочных наборов $x(t)$ входных сигналов является наличие единичных значений входных сигналов на входных узлах логических элементов всех групп, кроме i -й. Сохраняющие наборы $e_j(\Delta)$ входных сигналов характеризуются тем,

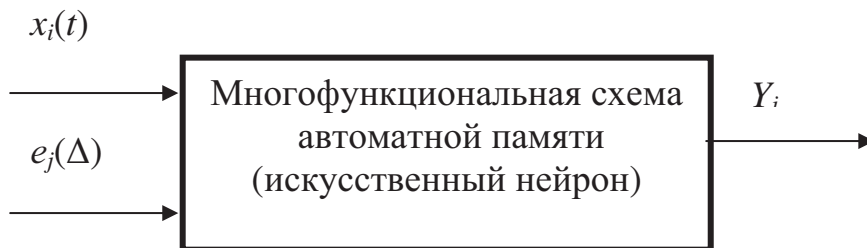


Рис. 2.

что на входные узлы u_i хотя бы двух групп должны поступать хотя бы по одному входному сигналу, значение которого равно логическому нулю в каждой из этих групп.

Многофункциональные схемы автоматной памяти могут быть соединены в ансамбли до 8-ми уровней, в которых внутренние сохраняющие сигналы поступают с общего ($i-1$)-уровня на более частный i -уровень ансамбля. Эти внутренние сохраняющие сигналы настраивают частные уровни многоуровневой схемы памяти (МУСП) на определенный режим работы и соответственно отражают определенные выходные сигналы, принадлежащие определенным подмножествам на каждом уровне, кроме нулевого (рис. 3) [17–18].

МУСП представляет собой полуоткрытую структуру, в которой можно установить определенное состояние параллельно во все семь уровней схемы памяти. Формирование сохраняющих сигналов, поступающих с нижних уровней на многофункциональные схемы памяти, генерируется внутри МУСП.

На рис. 3 входные установочные сигналы $X_d = \{ x_0, \dots, x_1, \dots, x_7 \}$ могут поступать параллельно и запоминаться после осуществления перехода во внутреннем такте Δ автоматного непрерывного времени.

В связи с многофункциональной организацией памяти МУСП перестройка МФСП на сохранения определенного множества запоминаемых состояний происходит автоматически за один машинный такт T_0 (рис. 1). Среди устанавливающих входных сигналов МФСП существует такой, который устанавливает несохраняемое состояние $a_p(t)$. Это несохраняемое состояние $a_p(t)$ устанавливает на всех выходах МФСП пассивный нулевой сигнал, который может характеризовать контрольный $y_p(t)$ выходной сигнал работоспособности схем памяти. Если в выходном сигнале $y_p(t)$ появится хоть один активный выходной сигнал, равный логической единице, то это свидетельствует, что схема по катастрофическому отказу вышла из строя. Если в схеме обрыв входного провода, то входной сигнал имеет постоянное значение логической единицы, что выводит из работы логический элемент, на выходе которого появляется постоянный пассивный выходной сигнал, равный нулю. В этом случае многофункциональная схема памяти не выходит из строя, а только сужает свои возможности, что очень важно при повышении надежности и живучести систем. По нашим оценкам при не катастрофических отказах многофункциональная схема памяти может работать, как схема памяти при 50% выхода элементов из строя.

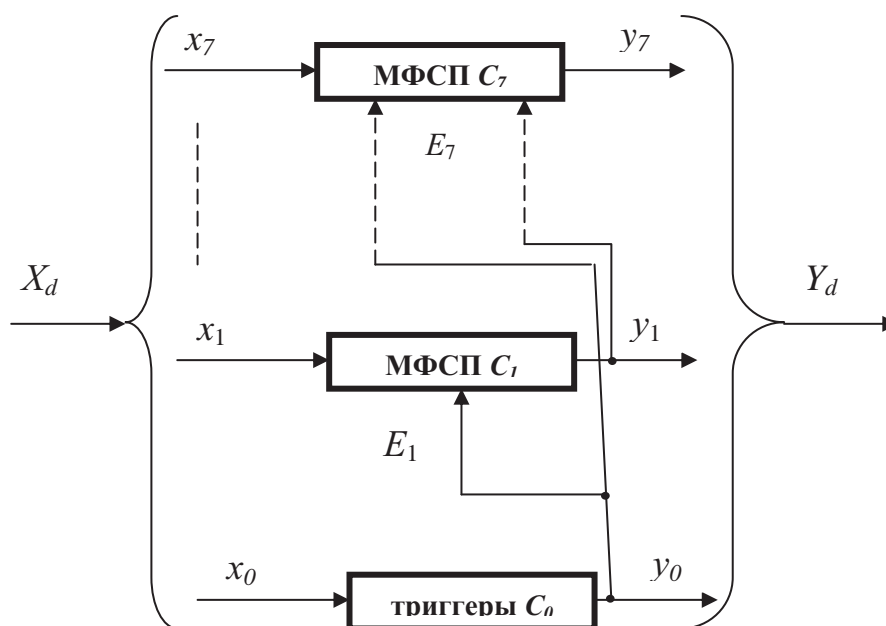


Рис. 3

В связи с возможностью перестройки структуры подмножеств состояний в МФСП под воздействием сохраняющих наборов $e_j(\Delta)$ входных сигналов, выходные сигналы имеют всегда определенное направление и отличаются от всех остальных выходных сигналов.

МУСП обладают повышенной надежностью до 85% и повышенной живучестью, контрольным выходным сигналом, определяющим полную его работоспособность. МФСП обладают наборами входных сигналов: устанавливающих, соответствующих частной информации, и сохраняющих, соответствующих общей информации. МФСП обладают разными режимами работы: детерминированной при осуществлении однозначных и укрупненных переходов, и вероятностной при осуществлении вероятностных и нечетких переходов, что в целом напоминает функциональные характеристики живого нейрона. Одним из существенных характеристик предлагаемого искусственного нейрона является то, что он одновременно обрабатывает общую и частную информацию за один машинный такт T .

Выводы

В статье контурно очерчено новое научное направление – создание цифрового искусственного нейрона на элементах автоматной памяти (МФСП и МУСП), которое отличается от аналоговых искусственных нейронов [20]. Основа этого нового направления вытекает из работ Мараховского Л.Ф. и его учеников, которое доложено на XIX Международной конференции с автоматичным управлением, 26-28 сентября 2012 г.: (материалы конференции/Отв. за вып. А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2012. «Три научных направления в области обработки информации») [19], изложено на конгрессе, который прошел в г. Одессе с 8-19 октября 2011 г., под названием «Гармоничное развитие систем – третий путь человечества» в докладе Мараховского Л.Ф., Михно Н.Л., Москвина М.В. «Автоматы третьего рода – новый шаг к моделированию работы человеческого мозга».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Никитин А. В.*, Логика управления клетки // «Академия Тринитаризма». – М.: Эл № 77-6567, публ.17037. – 29.11.2011.
2. *Иванов-Муромский К. А.* Мозг и память. – К.: Наук. думка, 1987. –136 с.
3. Психология личности и высшая нервная деятельность. Психофизиологические очерки Дерябин В.С. – Л.: Изд. ЛКИ, 2010. – 199 с.
4. *Хурсин Л. А.* О сущности информационных потоков как отражении динамической структуры вещественной основы кратковременной памяти человеческого мозга. – Общие вопросы. – НТИ. Сер. 2. – № 92. –1970.
5. *Мараховский Л. Ф.* Многофункциональные схемы памяти. – К.: УСиМ. – № 6. – 1996.– С. 59-69
6. *Міхно Н. Л., Мараховський Л. Ф., Погребняк В. Д.* Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 34166 від 25 липня 2008 р. – (51) МПК (2006) Н03К 29/00 – Бюл. 14. – 12 с.
7. *Колмогоров А. Н.* Математика в ее историческом развитии. – М: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1961.
8. *Стахов А. П.* Три «ключевые» проблемы математики на этапе ее зарождения и «Математика Гармонии» как альтернативное направление в развитии математической науки. – Англия: «Chaos, Solitons and Fractals», 2007.
9. *Заде Л. А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений – М.: «Мир», 1976.
10. *Котман А.* Введение в теорию нечетких множеств. Пер. с фран. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
11. *Невельський П. Б.* Обсяг пам'яті при рівномірній появі символів з різних алфавітів: Республіканський науково-методичний збірник «Психологія». – Вип. 3. – К., Вид. «Радянська школа», 1966.
12. Нагель и Ньюмен. Теорема Геделя /Перевод с англ. Ю. А. Гастев. – М.: Знание, 1970. – 63 с.
13. *Таганов И. Н., Шкаратан О. И.* Исследования социальных структур методом энтропийного анализа: «Вопр. филос.». – № 5. – 1969.
14. Бир Ст. Кибернетика и управление производством. – М.: Наука, 1966.
15. IBM работает над созданием «компьютерного мозга». <http://www.cybersecurity.ru/it/82336.html>
16. *Мараховский Л. Ф.* Основы теории проектирования дискретных устройств. Логическое проектирование дискретных устройств на схемах автоматной памяти: монография. – К.: КГСУ, 1996.–128 с.
17. *Мараховский Л. Ф.* Многоуровневые устройства автоматной памяти. I ч. – К.: УСиМ. – № 1.– 1998.– С. 66-72.
18. *Мараховский Л. Ф.* Многоуровневые устройства автоматной памяти. II ч. – К.: УСиМ. – № 2. – 1998. – С. 63-69.
19. *Мараховский Л. Ф., Москвин М. В.* Три научных направления в области обработки информации// Автоматика/Automatics – 2012/ XIX Міжнародна конференція з автоматичного управління, 26-28 вересня 2012 року: матеріали конференції/Від. за вип. А. П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2012. – С. 346.

Василь Габа

ЯКІСТЬ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Критеріями, по яких можна судити про якість транспортних послуг, що надаються експедиторськими компаніями користувачам залізничного транспорту, вважають: вартість послуг, повноту, швидкість доставки, своєчасність або рівномірність доставки, збереження вантажів, що перевозяться. Підхід до вибору експедитора має бути індивідуальним і передбачати, поряд із ціновими і кількісними параметрами, високий рівень якості пропонованих транспортних послуг.

Критериями, по которым можно судить о качестве транспортных услуг, предоставляемых экспедиторскими компаниями пользователям железнодорожного транспорта, считают: стоимость услуг, полноту, скорость доставки, своевременность или равномерность доставки, сохранность перевозимых грузов. Подход к выбору экспедитора должен быть индивидуальным и предусматривать, наряду с ценовыми и количественными параметрами, высокий уровень качества предлагаемых транспортных услуг.

By criteria on which it is possible to judge about quality of transport services added dispatch campaigns it is considered the users of railway transport: cost of services, plenitude, speed of delivery, timeliness or evenness of delivery, safety of the transported loads. Going near the choice of dispatch must be individual and to provide for, along with price and quantitative parameters, high level of quality of the offered transport services.

Ключові слова: Конкурентоспроможність, транспортний сервіс, рентабельність, маркетинг, технічні та технологічні рішення.

В даний час між експедиторськими і операторськими компаніями йде жорстка конкуренція за надання транспортних послуг клієнтам залізничного транспорту. За 20 років становлення України як самостійної держави на ринку транспортних послуг визначилося більше 100 експедиторських компаній тих, що зарекомендували себе надійними партнерами організації перевезень вантажів залізничним транспортом.

Між багатьма клієнтами і експедиторами встановилися тривалі взаємовигідні ділові стосунки у сфері сервісного обслуговування. Проте розвиток транспортного сервісу, надання клієнтові додаткових платних послуг, конкуренція між експедиторськими компаніями спонукає клієнта при виборі експедиторської або операторської компанії звернути увагу на якість послуг, що надаються.

Визначення критеріїв якості транспортних послуг дасть можливість правильно вибрати організацію, що надає ці послуги.

Аналіз основних досліджень

Розвиток транспортного сервісу дає можливість залучення додаткових обсягів перевезень, надання клієнту додаткових послуг, створює умови рентабельної роботи підприємствам транспорту.

© Габа В. В., 2012

Важливо при дослідженні суті та форм сервісу розглядати також економічну доцільність реалізації складових елементів транспортного сервісу, застосування методів обґрунтування технічної та технологічної можливості при наданні транспортних послуг.

Питання оцінки якості транспортних послуг в ринкових умовах досліджували д.е.н., професор Пасічник В.І., д.т.н., професор Мироненко В.К., д.е.н., професор Аксьонов І.М., д.е.н., професор Кулаєв Ю.Ф., д.е.н., професор Макаренко М.В., д.е.н., професор Цветов Ю.М., к.е.н., доцент Андрієнко М.М., із зарубіжних: д.т.н., професор Смахов А.А., д.т.н., професор Іловайський М.Д., к.т.н. доцент Кісельов О.М. і т.д.

В роботах зазначених авторів значне місце відведено визначенню науково-методичних підходів до комплексної оцінки якості експлуатаційної роботи залізниць. Питанню підвищення якості транспортних послуг, які надають експедиторські та операторські компанії своїм клієнтам, приділялось менше уваги.

Розгляду питання підвищення якості та конкурентоспроможності транспортних послуг, що надаються транспортно-експедиторськими та операторськими компаніями і присвячена дана стаття.

Викладення основного матеріалу

Стратегічним завданням залізничного транспорту є повне забезпечення перевезень пасажирів та вантажів в нинішніх та прогнозованих обсягах.

Безумовно, для цього необхідно удосконалювати технологію перевезень, використовувати новітні науково-технічні розробки, розширювати спектр транспортних послуг, покращувати сервіс при обслуговуванні клієнтів.

В маркетингових дослідженнях важливо не тільки вивчення суті та форм сервісу, але і застосування методів обґрунтування технічної та технологічної можливостей економічної доцільності реалізації складових елементів транспортного сервісу. [2]

Можливі чотири варіанта організації сервісу:

- сервіс забезпечується виключно персоналом перевізника;
- для транспортного сервісу створюється консорціум, який діє на базі угоди між перевізниками окремих видів транспорту;
- сервіс доручається незалежній та спеціалізованій фірмі;
- для виконання сервісних робіт залучаються посередники, які несуть повну відповідальність за якість та задоволення претензій з сервісу.

Важливу роль у виборі компаній із надання транспортних послуг відіграють якість та конкурентоспроможність вказаних підприємств (компаній).

Уточнимо поняття про якість та конкурентоспроможність сервісу.

Якість – рівень параметрів, визначаючих кінцевий результат виконаної роботи. Цей показник відображає сукупність факторів і залежність від рівня інфраструктури залізничного транспорту до уміння організувати перевезення та управляти процесами перевезень в ринковому середовищі.

Оцінка якості послуг один із найважливіших елементів корпоративної політики і політики управління якістю сервісу в будь-якій компанії. Залучення та утримання кожного із клієнтів – є головним завданням менеджера компанії. Оцінка якості послуг, що надаються, включає низку різнопланових показників. Наприклад, термін виконання замовлення, своєчасне отримання дозволів та здійснення міжнародних перевезень, розрахунки по факту виконаних робіт і т.д. [1]

Інші показники оцінки якості сервісу можуть торкатися командної або індивідуальної роботи і які залежать від конкретного фахівця або окремого підрозділу компанії. Хороший фахівець повинен уміти уникати конфліктних ситуацій, не створювати їх, вирішувати питання в максимально короткий термін.

Менеджер компанії із надання послуг повинен бути професійно підготовлений, уважний, відповідальний, ввічливий, готовий допомогти клієнту у вирішенні питань в межах своєї компетенції.

Для деяких показників якості дуже складно визначити їхній рівень через відсутність статичного звіту (комплексність, комфортабельність та ін.), тому доводиться користува-

тись умовно рейтинговими оцінками, які виставляють самі користувачі. Деякі середні показники якості обслуговування носять умовний характер, як і всі середні величини. Нижче надається порядок розрахунку деяких показників якості обслуговування через рівень їх виконання [1].

Рівень виконання встановлених термінів доставки вантажів K_{TD} :

$$K_{TD} = \frac{\sum P_{\Phi}}{\sum P_3}; \text{ чи } \frac{t_{\Delta}^H}{t_{\Delta}^{\Phi}}, \quad (1.1)$$

де $\sum P_{\Phi}$ – фактичний обсяг перевезень вантажів, доставлених в установлені терміни;

$\sum P_3$ – загальний обсяг перевезення вантажів;

$t_{\Delta}^H, t_{\Delta}^{\Phi}$ – середні нормативний та фактичний терміни доставки вантажів за визначений період часу.

Рівень схоронності перевезених вантажів (K_e) визначається за формулою:

$$K_e = \frac{(\sum P_3 - \sum P_{II}(1 - CH))}{100 \sum P_3}, \quad (1.2)$$

де $\sum P_{II}$ – обсяг втрачених вантажів;

CH – середня норма природної втрати, %

Повнота задоволення потреб в перевезеннях ($K_{ПЗ}$) визначається за формулою:

$$K_{ПЗ} = \frac{1 - \sum P_{НВ}}{\sum P_{ОФ}}, \quad (1.3)$$

де $\sum P_{НВ}$ – обсяг невивезених з вини залізниць заявлених до перевезень вантажів.

$\sum P_{ОФ}$ – обсяг фактично заявлених до перевезення вантажів.

Комплексний показник якості (K_K), що може бути використаний підрозділами при обслуговуванні користувачів транспортних послуг, визначається за формулою:

$$K_K = \sum K_i \cdot \Pi_i, \quad (1.4)$$

де K_i – рівень конкретного i -го показника якості транспортного обслуговування;

Π_i – питома вага i -го показника в загальній оцінці якості; визначається як рейтинг переваг користувачів, або шляхом розрахунку рівня економічної ефективності окремих заходів, пов'язаних з підвищенням якості перевезень в загальному ефекті, який приймається за одиницю.

Складність розрахунку показників якості та ефективності його рівня полягає у відсутності необхідної інформації в транспортній статистиці, яку необхідно одержувати на основі маркетингових досліджень [4].

Для цього необхідне фундаментальне вивчення платоспроможності, попиту на перевезення як в кількісному, так і в якісному виразах та врахування тенденції у виробництві транспортної продукції, зміни її товарної структури і оновлення. Підвищення цін на залізничні перевезення без поліпшення якісних показників може призвести до переорієнтації споживачів транспортних послуг на інші види транспорту. Отже, як у лавах перевізників, так і компаній з надання сервісних послуг, повинні бути висококваліфіковані маркетологи, які здатні вивчати тенденції розвитку ринку, оволодівати технологією виробництва і т.д.

Конкурентоспроможність – ступінь відповідності транспортного сервісу вимогам ринку з технічних, технологічних, економічних та інших характеристик, які визначають його переваги перед послугами інших перевізників. Іншими словами можна сказати, конкуренція на транспорті – суперництво між підприємствами перевізниками, компаніями з надання послуг за кращі, економічно більш вигідні умови перевезень та реалізації послуг [2].

Конкуренцію можна поділити на міжгалузеву та внутрішньогалузеву.

При міжгалузевій іде суперництво різних видів транспорту, внутрішньогалузевій – між експедиторськими організаціями, компаніями-операторами і іншими суб'єктами з надання транспортних послуг.

Для того щоб підприємство було конкурентоспроможним його діяльність в умовах ринку повинна підкріплятись постійним підвищенням рівня транспортного сервісу, який базується на організаційних, технічних та технологічних рішеннях.

До таких рішень належать:

- технічне та інформаційне забезпечення, доступ до центральної бази з управління перевізним процесом, що дасть можливість оперативно здійснювати контроль за місцем знаходження вантажів, прогнозованого їхнього прибуття, при необхідності переадресування вантажів і т.д.
- залучення до перевезення нових вантажних вагонів операторів залізничних перевезень, організація руху поїздів за спеціалізованими нитками графіка руху;
- виділення в графіку руху спеціальних ниток підвищеної надійності поставок, а також відправлення вантажних поїздів за розкладом незалежно від кількості вагонів у поїзді;
- скидки на тарифи залежно від періоду та видів вантажів;
- пакування, навантаження та вивантаження з використанням спеціалізованих вагонів та навантажувально-розвантажувальної техніки.

До основних показників, які забезпечують якість обслуговування на різних видах транспорту, входять: термін доставки, надійність, схоронність, вартість перевезень [3].

Розглядаючи кожну категорію якості перевезень різними видами транспорту, клієнт вибирає оптимальний варіант перевезень із найменшими втратами тим чи іншим видом транспорту.

При наявності кількох конкуруючих між собою центрів сервісу користувач має свободу вибору і керується при цьому в першу чергу економічними стимулами. Для формалізації пошуку оптимального варіанта обслуговування можна користуватись простою матричною моделлю, в якій по горизонталі розміщують експедиторів, операторів, а по вертикалі – транспортні послуги. На перетині рядків і стовпців знаходяться витрати на виконання цієї діяльності. Сумуючи витрати по рядках користувач має можливість вибрати кращий варіант сервісу за критерієм мінімуму витрат.

Висновок

Для визначення оптимального рівня обслуговування здійснюється балансування витрат, доходів, прибутку, при якому реалізується принцип компромісного рішення, який полягає в досягненні найкращого співвідношення між цінами та рівнем обслуговування витратами і доходами. Весь процес визначення оптимального рівня обслуговування, зводиться до співставлення витрат, які пов'язані з поліпшенням рівня обслуговування та втратою доходів на ринку продажу, які зростають при зменшеній кількості послуг. В результаті такого балансування знаходиться деякий оптимум рівня обслуговування.

Комплексну оцінку рівня якості транспортних послуг в ринкових умовах, їх відповідності вимогам показників перевезень світового рівня можна зробити з урахуванням викладених в статті науково-методичних підходів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Пасічник В. І.* Теоретичні основи економіки експлуатаційної діяльності залізниць: Монографія. – К.: Вид. «Науковий світ», 2003. – С. 68–72.
2. *Илорайский Н. Д., Киселев А. Н.* Сервис на транспорте (железнодорожный): Учебник. Москва: Изд. «Маршрут», 2003. – С. 307–311.
3. *Аксёнов І. М., Габа В. В.* Транспортна логістика: Навчальний посібник. – К. ДЕДУТ, 2009. – С. 48–52.
4. *Пасічник В. І., Пасічник В. В.* Якість транспортних послуг у міжнародному сполученні: // Збірник наукових праць «Економіка і управління». Випуск 8. – К.: КУЕТТ, 2006. – С. 41–45.

Вікторія Іваннікова

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ВАНТАЖІВ У ВАНТАЖНОМУ ТЕРМІНАЛІ АЕРОПОРТУ

В статті змодельовано систему зберігання вантажів у вантажному терміналі аеропорту, на підставі встановленої функціональної залежності між розміщенням вантажопотоків у вантажних складах та процесами завантаження (розвантаження) транспортних засобів. Наведені нові математичні моделі та алгоритми рішення задач оптимального розподілу авіаційних вантажів у складських приміщеннях.

В статье смоделировано систему хранения грузов в грузовом терминале аэропорта, на основании установленной функциональной зависимости между размещением грузопотоков в грузовых складах и процессами погрузки (разгрузки) транспортных средств. Приведены новые математические модели и алгоритмы решения задач оптимального распределения авиационных грузов в складских помещениях.

In the article the system of goods stowage in an Air Cargo Terminal has been modeled, basing on the established functional dependence between goods flows location in warehouses and vehicles loading-unloading processes. New mathematical models and solving algorithm of problems of optimal air goods distribution in warehouses are presented.

Ключові слова: вантажний термінал аеропорту, система зберігання вантажів, моделювання, оптимальний розподіл вантажів.

Вступ. Щорічне збільшення обсягів авіаційних вантажних перевезень привертає все більше уваги науковців до дослідження роботи аеропортів і підвищення ефективності використання повітряного транспорту. Виникає необхідність у розробці рекомендацій по розрахунку систем високопродуктивних вантажних терміналів у аеропортах України.

Для використання сучасних методів розрахунку високопродуктивних систем зберігання вантажу важливе значення має вирішення задачі оптимального розміщення вантажів у вантажних терміналах, з метою підвищення ефективності використання засобів механізації у завантажувально-розвантажувальних процесах, що неможливо без математичного моделювання цієї системи.

Витрати коштів, пов'язані із термінами зберігання окремих категорій вантажів (небезпечних, швидкопсувних, цінних, живих тварин та ін.) в багатьох випадках не залежать від місця їх розміщення у складському приміщенні. Однак, вантажі з урахуванням їх типів і термінів відправлення, можна розмістити таким чином, щоб при виконанні завантаження та/чи розвантаження транспортного засобу кількість необхідних трудових ресурсів була мінімальною. Дослідженню цих задач і присвячена дана стаття, що є одним із необхідних етапів системного підходу при управлінні вантажопотоками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день, використовується широкий спектр математичних методів для розв'язання задач розподілу-розміщення. Задачі розміщення вантажів у багатокроковому процесі управління вантажопотоками, як правило, формуються як задачі нелінійного чи дискретного програмування.

© *Іваннікова В. Ю., 2012*

Вагомий внесок у розроблення теоретичних і методологічних основ створення механізмів вирішення цих задач зробили такі вітчизняні та зарубіжні науковці, як Михайлевич В.С., Трубин В.А., Шор Н.З., Юдін Д.Б., Гольштейн Є.М., Базар М., Шетті К., Томас Л., Орлін Дж., Т. Ху, Г.М. Юн [1–4].

В науковій роботі [1] викладені теоретичні питання та алгоритми рішення задач розміщення – розподілу з використанням дискретного простору, пов’язані із розробкою алгоритмів знаходження наближених рішень.

В роботі [2] розроблений метод динамічної декомпозиції для рішення спеціальних класів задач лінійного програмування, який може бути застосований до багатьох релаксованих задач, отриманих із дискретної постановки задач розміщення.

Спеціальні задачі лінійного дискретного програмування на транспортних багатогранниках, які виникають при виборі оптимального місця розміщення вантажного складу, відносно заданих пунктів обслуговування, у випадку, коли відомі координати можливих місць для будівництва, розглянуті в роботі [3].

У науковому дослідженні [4] викладені загальні методологічні підходи до вирішення задачі лінійного програмування. Однак, у всіх цих дослідження не враховується системний характер управління вантажопотоками.

Відсутність системних досліджень вітчизняних та зарубіжних науковців по проблемі оптимального розподілу вантажопотоків у вантажному терміналі аеропорту, доводить необхідність узагальнення теоретичного та практичного досвіду застосування різних математичних підходів для моделювання задач розміщення вантажних потоків, встановлення функціональної залежності між етапами розміщення вантажопотоків і завантаженням (розвантаженням) транспортних засобів. На підставі встановленої залежності можуть бути сформульовані математичні моделі задач, які виникають на різних етапах управління вантажопотоками у багатокроковому процесі системного підходу та розроблені алгоритми їх рішення, адаптовані до сучасних умов функціонування авіаційного ринку України.

Постановка завдання. Змодельуємо дві задачі завантаження транспортного засобу, алгоритмами рішень яких, одночасно, визначаються варіанти розміщення вантажів у складських приміщеннях, які забезпечують підвищення ефективності процесу завантаження. Цінність моделі визначається її точністю, здатністю прогнозування, зручністю використання, а головне – підходом до проблеми: системним (комплексним) або таким, що враховує лише обмежений ряд параметрів та умов. Системний підхід до вивчення технологічних процесів обробки вантажу у вантажному комплексі заснований на таких принципах:

1. Реальні вантажопотоки є організованими, оскільки підпорядковані розкладу руху повітряних суден і вимогам технології процесу обробки.

2. Потоки вантажів на всьому шляху обробки неоднорідні і динамічні за своєю природою.

3. Зміна характеру та інтенсивності потоків, залишаючись стохастичними, має досить строгі закони.

При розміщенні складів, розстановці та виборі обладнання виникають задачі розподілу-розміщення з використанням дискретного простору. Задачі подібного типу формулюються як задачі мінімізації увігнутої функції на транспортних многогранниках або як задачі зміщеного цілочислового програмування. Їх математичною моделлю є задача нелінійного чи дискретного програмування зі специфічною структурою.

Нехай потрібно завантажити транспортний засіб із заданим об’ємом V_T . При цьому виникають такі задачі:

Задача № 1. Вантажний відсік повітряного судна, об’єм якого V_T потрібно максимально завантажити вантажем, який має найменший термін зберігання. Ця задача виникає при перевезенні швидкопсувних вантажів, термін зберігання яких обмежений у часі.

Задача № 2. Вантажний відсік повітряного судна, об’єм якого V_T потрібно максимально завантажити вантажем, відносно якого сумарний час простою засобів механізації, що використовуються, мінімальний. У цьому випадку мається на увазі нестача достат-

ньої кількості технологічного обладнання для виконання завантаження-розвантаження літака за виділений проміжок час.

Введемо деякі нові поняття та позначення для моделювання описаних задач. Нехай у вантажному складі знаходиться K категорій вантажів, і нехай B_k – обсяги k -ї категорії вантажу. Відносно кожної k -ї категорії вантажу, під терміном Т-блоки будемо розуміти сукупність обсягів цієї категорії вантажу, які мають однаковий час відправлення. Іншими словами, для кожної категорії вантажу Т-блоки – це розбиття загального обсягу певної категорії вантажу на декілька партій, які мають однаковий термін зберігання. Для кожної k -ї категорії вантажу число Т-блоків позначимо через P_k . Нехай, σ_{ki} та Q_{ki} – термін зберігання і обсяг k -ї категорії вантажу, який міститься в i -му Т-блоці, відповідно.

Математична модель та алгоритм рішення першої задачі (перевезення швидкопсувних вантажів)

Нехай, z_{ki} – невідомий обсяг k -ї категорії вантажу, призначеного для завантаження, і міститься він в i -му Т-блоці.

Враховуючи дані позначення, задача, яка виникає при завантаженні вантажного відсіку швидкопсувними вантажами із обмеженням у часі терміном зберігання, має такий вигляд:

знайти:

$$\max\{\sigma_{ki}; z_{ki} > 0\} \rightarrow \min \quad (1)$$

при обмеженнях:

$$\xi V_T \leq \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{P_k} z_{ki} \leq V_T, \quad (2)$$

$$0 \leq z_{ki} \leq Q_{ki} \quad (3)$$

де, ξ – коефіцієнт заповнення повітряного судна вантажем.

Розв’язок цієї задачі можна знайти, використовуючи «жадібний» алгоритм (рис.1). «Жадібний» алгоритм – це метод розв’язування оптимізаційних задач, побудований на тому, що процес прийняття рішення можна розбити на елементарні кроки, на кожному із яких приймається оптимальне рішення.

Рішення, яке приймається на кожному кроці, повинно бути оптимальним тільки на поточному кроці та прийматися без урахування попередніх чи наступних рішень.

Із описаного на рис.1 алгоритму видно, що для знаходження розв’язку задачі (1) – (3), «жадібний» алгоритм спочатку упорядковує різні категорії вантажів у порядку зростання термінів їх відправлення. Потім в установленому порядку вибираються різні категорії вантажів для завантаження повітряного судна. Знову, відповідно до порядку зростання термінів зберігання, вибираються обсяги вантажів для завантаження, а їх величина визначається по залишковому об’єму літака.

```

 $Q_{00} = 0;$ 
for  $k = 1, \dots, K$  do
  for  $i = 1, \dots, P_k$  do
    to get  $\sigma_{11} \leq \dots \leq \sigma_{kP_k}$  for sequence  $\{\sigma_{ki}\};$ 
    if  $Q_{ki} \leq V_T - Q_{k-1i-1}$ 
      then  $z_{ki} = Q_{ki}; V_T = V_T - Q_{ki}$ 
    else  $z_{ki} = \max\{0, V_T - Q_{ki}\}$ 
    end
  end

```

Рис. 1. Формулювання «жадібного» алгоритму розв’язування задачі (1) – (3)

У встановленому порядку T -блоків різних вантажів розміщуються на спеціальних місцях складського приміщення таким чином, щоб підвищити ефективність роботи відповідного засобу механізації при виконанні завантажувально-розвантажувальних операцій.

Математична модель та алгоритм рішення другої задачі (нестача технологічного обладнання для завантаження літака за виділений проміжок часу)/

Перед тим як представити модель задачі № 2 нагадаємо, що найменший сумарний час простою має поточна лінія (сукупність технологічного обладнання різних типів), яка генерується відносно окремої категорії вантажу [5]. Сумарний час простою поточної лінії, генерованої відносно k -ї категорії вантажу, позначимо через c_{kk} [6]. Нехай z_k – невідомий обсяг k -ї категорії вантажу для завантаження повітряного судна. У прийнятих позначеннях ця задача має такий вигляд:

знайти:

$$\min \sum_{k=1}^K c_{kk} X_k \quad (4)$$

при обмеженнях:

$$\xi V_T \leq \sum_{k=1}^K z_k \leq V_T \quad (5)$$

$$0 \leq z_k \leq B_k X_k, \quad k = 1, \dots, K, \quad (6)$$

$$X_k = 0 \text{ чи } X_k = 1 \quad (7)$$

Для розв'язування описаної задачі можуть бути застосовані алгоритми задачі одного «рюкзака» [7]. Проте при розв'язуванні практичних задач, їх наближений розв'язок може бути знайдений знову за допомогою «жадібного» алгоритму. Відповідно до роботи

цього алгоритму, спочатку потрібно упорядкувати $\frac{c_{kk}}{B_k}$ для $k = 1, \dots, K$ у порядку спадання.

Припустимо, що $\frac{c_{11}}{B_1} \leq \frac{c_{22}}{B_2} \leq \dots \leq \frac{c_{KK}}{B_K}$. Потім повітряне судно завантажувється вантажами відповідно до цього порядку, так само як у представленому вище «жадібному» алгоритмі.

Тільки зазначимо, що при $\frac{c_{rr}}{B_r} = \frac{c_{ss}}{B_s}$ для вантажів категорії r та s , першим потрібно завантажувати той вантаж, який має більший обсяг, тобто якщо $B_r < B_s$ – першим

потрібно завантажувати вантаж типу s , якщо $B_r > B_s$ – то вантаж типу r . У випадку, якщо $B_r = B_s$, вибір серед цих груп вантажів довільний.

Для розв'язування розглянутих вище задач, встановлені відповідні принципи розміщення вантажів у складських приміщеннях. Залежно від специфіки процесу завантаження чи розвантаження транспортного засобу, потрібно розмістити вантажі таким чином, щоб підвищити продуктивність технологічного обладнання, призначеного для виконання завантажувально-розвантажувальних процесів всередині складу.

Принципи визначення розмірів складських приміщень для зберігання окремих категорій вантажів

Припустимо, що обсяги z_{ki} для всіх категорій вантажів $k = 1, \dots, K$ i -го T -блоку визначені шляхом розв'язування задачі (1) – (3). За цим розв'язком, потрібно зарезервувати достатню площу вантажного складу для зберігання V_T обсягів вантажів, типи яких визначаються відповідно до встановленої вище процедури, тобто на даній площадці повинен розміщуватися z_{11} обсяг вантажу першого типу, z_{22} обсяг вантажу другого типу і т. д. При цьому координати зони розміщення цих вантажів відносно складського примі-

щення визначаються таким чином, щоб підвищити продуктивність роботи засобів механізації на цій площі.

Для досить великого значення V_T на згаданій площі можна розмістити $z_{ki} = Q_{ki}$ обсягів, для всіх категорій вантажів $k = 1, \dots, K$ i -го T -блоку.

Отже, шляхом розміщення різноманітних вантажів у певних місцях складського приміщення в установленому порядку можна підвищити ефективність роботи відповідних засобів механізації під час здійснення завантажувально-розвантажувальних процесів.

На основі описаної вище процедури, а також залежно від специфіки вантажів, можна визначити розміри складських приміщень для зберігання окремих категорії вантажу, таким чином, щоб підвищити ефективність процесів завантаження та/чи розвантаження транспортних засобів.

Висновки. У результаті проведених досліджень, встановлена функціональна залежність між розміщенням вантажопотоків у вантажних складах аеропортів та процесами завантаженням (розвантаженням) транспортного засобу, на основі якої сформульовані математичні моделі та розроблені алгоритми рішення задач оптимального розподілу авіаційних вантажів у складських приміщеннях, які забезпечують підвищення ефективності процесу завантаження (розвантаження).

Наведено новий розв'язок задач розміщення вантажів у складських приміщеннях, які розв'язуються за допомогою алгоритмів градієнтного типу. Доведено, що шляхом розміщення різноманітних вантажів в певних місцях складського приміщення в установленому порядку можна підвищити ефективність роботи відповідних засобів механізації під час виконання завантажувально-розвантажувальних операцій. Все це дозволяє перейти до розробки оптимальних технологічно-планувальних рішень вантажних комплексів аеропортів, що, звісно, сприятиме підвищенню ефективності функціонування авіаційної галузі нашої держави.

ЛІТЕРАТУРА

1. Базара М., Шетти К. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы. – М.: Мир, 1982. – 583 с.
2. Михайлович В. С., Трубин В. А., Шор Н. З. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования. Модели, методы, алгоритмы. – М.: Наука, 1986. – 260 с.
3. Трубин В. А. Два класса задач размещения на древовидных сетях. // Кибернетика. – № 4. – 1983. – с. 84–87.
4. Юдин Д. Б., Гольштейн Е. М. Линейное программирование. Теория, методы и приложения. – М.: Наука, 1969. – 424 с.
5. Юн Г. М. Моделі оптимального розподілу механізмів при виконанні завантажувально-розвантажувальних процесів в аеропортах / Г. М. Юн, В. Ю. Гирич // Вісник інженерної академії України. – 2011. – № 1. – С. 188–191.
6. Юн Г. М. Алгоритми рішення задачі оптимального розподілу механізмів при виконанні завантажувально-розвантажувальних процесів в аеропортах / Г. М. Юн, В. Ю. Гирич // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України: Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – № 17. – С. 129–135.
7. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. – М.: Мир, 1974. – 519 с.

*Михайло Кацман
Віктор Мироненко
Микола Адаменко
Микола Горбаха*

АНАЛІЗ РЕКОМЕНДОВАНИХ ДІЙ ПІДРОЗДІЛІВ ЗАЛІЗНИЦІ У РАЗІ ВИТОКІВ, РОЗЛИВІВ ТА РОЗСИПІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ ПРИ ЇХ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

Авторами розглянуті питання підвищення оперативності у ліквідації надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами при їх перевезеннях залізничним транспортом.

Авторами рассмотрены вопросы повышения оперативности в ликвидации чрезвычайных ситуаций с опасными грузами при их перевозках железнодорожным транспортом.

The authors consider increasing efficiency in disaster situations with dangerous goods during their transportation by rail.

Ключові слова: небезпечні вантажі, відбудовний поїзд, пожежний поїзд, оточуюче природне середовище.

Постановка проблеми. Забезпечення безпеки життя і здоров'я пасажирів залізничного транспорту, безпека руху поїздів та охорона навколишнього природного середовища є одним з головних завдань залізниць і підприємств залізничного транспорту [1].

Нині в Укрзалізниці ефективно діє функціональна підсистема «Сили і засоби реагування на надзвичайні ситуації на залізничному транспорті» щодо запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру. До складу такої системи в Укрзалізниці входять 51 відбудовний поїзд, 64 пожежні поїзди, 143 аварійно-польові команди, 229 районів контактної мережі, 13 колійних машинних станцій, 19 протирозмивних та 44 ремонтно-відбудовних летючок зв'язку [2].

Залежно від масштабів і особливостей надзвичайної ситуації, яка виникла, або виникнення якої прогнозується, функціонально підсистема може діяти в одному з таких режимів [2]:

- режим повсякденної діяльності, який встановлюється в умовах нормальної виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, біологічної (бактеріологічної), сейсмічної, гідрологічної і гідрометеорологічної обстановки (за відсутності епідемії, епізоотії та епіфітотії);

- режим підвищеної готовності, що впроваджується у разі погіршення виробничо-промислової радіаційної, хімічної (бактеріологічної), сейсмічної, гідрологічної і гідрометеорологічної обстановки при умові одержання прогнозної інформації щодо можливості виникнення надзвичайної ситуації;

© Кацман М. Д., Мироненко В. К., Адаменко М. І., Горбаха М. М., 2012

- режим діяльності за надзвичайної ситуації, який встановлюється у разі реальної загрози виникнення надзвичайної ситуації і реагування на неї;
- режим діяльності у надзвичайному стані, який запроваджуються у порядку, визначеному Конституцією України та Законом України «Про надзвичайний стан».

Основні заходи, що реалізуються функціональною підсистемою, подані на рисунку.

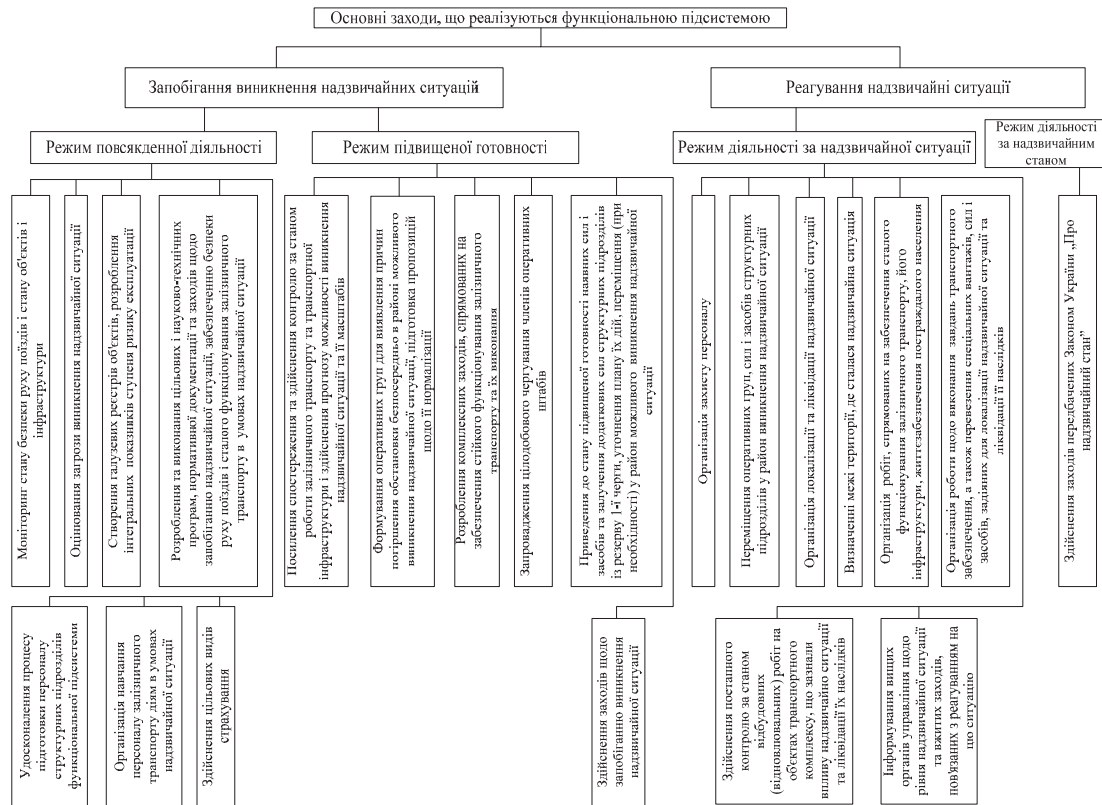


Рис. 1. Основні заходи, що реалізуються функціональною підсистемою

З рисунка видно, що однією з важливіших складових діяльності такої системи у режимі є локалізація та ліквідація надзвичайної ситуації, організація захисту персоналу та організація робіт, спрямованих на забезпечення сталого функціонування залізничного транспорту, його інфраструктури, життєзабезпечення постраждалого населення.

Для забезпечення ефективної роботи сил і засобів функціональної підсистеми на наш погляд, доцільно дослідити зміст рекомендованих дій системи у разі надзвичайних ситуацій, які супроводжуються витокami, розливами та розсипами небезпечних вантажів при їх перевезенні залізничним транспортом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Проблема ліквідації аварій і катастроф за участі небезпечних вантажів знайшла своє відображення у багатьох нормативних документах та законодавчих актах і широко обговорюється у науковій та науково-практичній літературі та пресі [1-6].

Зміст аварійно-рятувальних робіт під час аварій з виходом аварійно-небезпечних речовин розглянуті у [3].

Аналіз типових аварій за участі небезпечних вантажів класів безпеки 2; 3; 4.1; 4.2; 4.3; і 6.1 поданий у [4].

Особливості ліквідації аварійних ситуацій з небезпечними вантажами розглянуті у [5].

Вивченню та узагальненню практичного досвіду, аналізу роботи відбудовних засобів, оснащенню й організації роботи при ліквідації наслідків транспортних подій, висвітленню технології піднімання і прибирання рухомого складу у випадках поодиноких сходжень та загромождень колії, її пошкодження і пошкодження елементів інфраструктури залізничного транспорту присвячена робота [6].

Отже, постає **наукова задача** щодо дослідження дій сил і засобів залізничного транспорту, які залучаються до ліквідації надзвичайних ситуацій за участі небезпечних вантажів.

Основна частина. Роботи щодо ліквідації надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами у разі їх витоків, розливів та розсипів проводяться відповідно до рекомендацій, які містяться у відповідних розділах аварійної картки, яка є документом установленої форми, що регламентує первинні оперативні дії працівників залізничного транспорту та спецформувань, причетних до ліквідації таких ситуацій.

Розділ дій загального характеру визнає необхідність відведення аварійного вагона у безпечне місце, встановлює певні розміри небезпечної зони аварії та необхідність її ізолювання, обумовлює необхідність проведення хімрозвідки для корегування величини небезпечної зони, визначає необхідність дотримання правил пожежної безпеки, дотримання навітряного боку і уникання низин, застосування засобів індивідуального захисту, надання медичної допомоги тощо [2].

Дані про рекомендовані дії при надзвичайних ситуаціях у разі витоків, розливів і розсипів небезпечних речовин подані у табл. 1.

Таблиця 1. Дані про рекомендовані дії щодо ліквідації надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами у разі їх витоків, розсипів та розливів

№ класу небезпеки Рекомендовані дії	1	2	3	4.1,4.2,4.3	5,1,5.2	6.1,6.2	8	9
	2	3	4	5	6	7	8	9
Припинити рух поїздів, автотранспорту та маневрові роботи в зоні аварії	100	100	100	5,6	12,5	6,0	8,6	
Усунути джерело вогню та іскроутворення	99,5	64,1	100	99,7	82,1	71,4	79,0	
Розсип виробів зібрати під наглядом спеціалістів	8,6							
Забороняється застосовувати інструмент з чорного металу	8,1							
Розкидані вироби і розсипи зібрати в чисті паперові або поліетиленові пакети	12,6							
Ушкоджені упаковки з виробами і зібраним розсипом накрити мокрим брезентом	1,3							
Ушкоджені упаковки з виробами і зібраним розсипом складати на відстані від будівель та споруд: більше 35 м / більше 100 м	0,7							
До прибуття спеціалістів вироби не чіпати і не переміщувати	67,8							
Горючі речовини віддалити від розсипаних виробів	24,5							
Повідомити СЕС	98,7	100	100	100	100	71,4	100	-
Невеликі ділянки розливів опрацювати 2 % розчином соди з водою	1,0							

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Під керівництвом спеціалістів розливу речовину зібрати алюмінієвим відром в алюмінієві ємкості і залити водою	1,3							
Розсипи у вагон не повертати	1,3							
Місце розливу обробити водою	1,3							
Передбачити заходи пожежогасіння	0,5							
У разі розгерметизації виробу і витоку наповнювача виріб засипати піском або ґрунтом з подальшим їх видаленням і знищенням під керівництвом спеціалістів	1,8							
Нейтралізацію місцевості не робити (шлаки шкідливі)	0,5							
Непошкоджені вироби вкласти в упакування і закріпити	0,5							
У разі розгерметизації виробів рідкі вибухові речовини прибрати дрантям методом змочування. Дрантя помістити в алюмінієвий посуд	0,5							
Гас, що розлився, засипати піском, землею	0,5							
Використовувати тонкорозпилену воду для осадження парів	0,7							
Пошкоджені вироби та вміст виробів, що розсипалися, під керівництвом спеціалістів зібрати в ємкість з машинним маслом, запобігаючи удару	0,2							
За умов розливу всередині вагона без його розгерметизації відвести вагон у безпечне місце і вжити заходів щодо усунення аварії під керівництвом спеціалістів	0,7							
У разі розгерметизації вагона і течі з нього місце розливу обвалувати	0,5							
У разі витікання речовини змити її без напору великою кількістю води	0,7							
Місце розливу продуктів засипати піском, землею або іншим негорючим матеріалом, потім нейтралізувати під керівництвом спеціаліста	0,7							
Викликати газорятувальну службу району		100	84,8			13,8	0,5	
Усунути течі з дотриманням запобіжних заходів		67,1				71,4		59,1
При інтенсивному витіканні дати газу вийти		57,4					0,3	
Іzolувати район доти, доки газ не розсіється		100				0,8		1,3
Не допускати потрапляння речовини у водоймища, підвали, каналізацію		26,2	88,4	64,3	53,0	100	90,6	81,6
Місце розливу обвалувати		26,2	100	8,5	33,3	77,2	80,6	58,1

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Організувати евакуацію людей з урахуванням напрямку руху токсичного газу		27,4				0,3	0,3	
Не допускати зіткнення рідкого газу з горючими речовинами (мастилом, нафтопродуктами)		5,1						
Усунути течі або перекачати в цілу ємкість з додержанням запобіжних заходів		20,7	100	16,7	31,5		79,0	
При інтенсивні течі газу, за узгодженням з пожежною охороною, газ, який виходить, підпалити і дати вигоріти під контролем водних струменів		30,4						
Осаджувати пари тонкорозпиленою водою			15,6			11,5	1,1	
Розливи промити великою кількістю води			4,0	3,0	7,1	0,5	22,0	
Розливи засипати піском, ґрунтом, інертним матеріалом			17,4	8,5				34,1
Зібрати засипане інертним матеріалом в сухі ємкості і герметично закрити			3,4	8,5				
Розсипи засипати піском, іншим інертним матеріалом, зібрати в сухі ємкості				90,5			1,3	
Розсипи огородити ґрунтовим валом				73,8	78,6	6,5	29,6	40,6
Не допускати контакту з окиснювачами, вугіллям, маслами, жирами				16,7				
Не допускати потрапляння води в ємкість і на вантаж				21,3	6,5		0,5	
Перекачати вміст у справну суху ємкість			3,0	18,5	51,2		58,1	
Не допускати контакту з горючими речовинами і нафтопродуктами				98,8	0,5	0,3	1,0	
При розсипі речовини викликати спеціалістів вантажовідправника (вантажодержувача)				47,0				
Забрати із зони аварії горючі матеріали і металеві вироби або захистити від потрапляння на них речовини					1,7	0,2	22,0	

З табл. 1 видно, що одним з основних заходів щодо ліквідації надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами є припинення руху поїздів, автотранспорту та маневрової роботи, повідомлення про надзвичайну ситуацію у СЕС і виклик газорятувальної служби, а також усунення джерел вогню та іскроутворення.

Привертає увагу заборона чіпати та переміщувати вироби до прибуття спеціалістів при ліквідації надзвичайних ситуацій з вантажами 1 класу небезпеки.

Вагому частку рекомендованих дій складають заходи щодо усунення витікання небезпечного вантажу з дотриманням запобіжних заходів, недопущення потрапляння речовини у водоймища, підвали і каналізацію і обвалування місць розливу.

З цією метою споруджуються загати, котловани, ями, пастки, ставки-відстійники для збирання і накопичення речовини, а також відвідні канали, тимчасові самопливні лотки, прокладаються жолоби і труби каналізації стоку небезпечної речовини, влаштовується дренаж тощо [5].

Для здійснення заходів щодо проведення таких робіт застосовуються трактори на гусеничному та колісному ході, які є у складі відбудовного поїзда, а також у підрозділах

цивільного захисту, підприємств і організацій залізничного транспорту, Міністерства оборони України та інших організацій, які залучаються до ліквідації надзвичайної ситуації, що склалася.

Своєчасність зосередження цих сил і засобів залежить від ступеня узгодженості дій між керівниками таких підрозділів, а також від рельєфу місцевості, погодних умов, питань матеріально-технічного забезпечення тощо.

Значне місце у рекомендованих аварійними картками діях посідають заходи щодо усунення течі небезпечних вантажів або перекачування їх у цілі ємкості з додержанням запобіжних заходів.

Дані про інтенсивності та тривалості витоку зрідженого (скрапленого) вуглеводневого газу (ЗВГ) скрізь пробоїни у верхній та нижній частині казана цистерни надані у табл. 2

Таблиця 2. Залежність інтенсивності та тривалості витоку зріджених вуглеводневих газів скрізь пробоїни у казані цистерни

Площа пробоїни	0,3	0,5	1	2	3	5	10	25
Інтенсивність витоку, кг/с:								
Пароподібної фази (пробоїна у верхній частині казана)	0,04	0,06	0,12	0,20	0,30	0,60	1,2	3,5
Рідкої фази (пробоїна у нижній частині казана)	0,28	0,45	0,9	1,8	2,7	4,5	9	23
Тривалість витоку, год:								
- пароподібної фази	200	120	60	32	20	15	8	5
- рідкої фази	24	15	7,5	3,7	2,4	1,5	0,8	0,5

Враховуючи те, що тиск газу у цистерні протягом 5-10 хв. падає від величини тиску насиченої пари (наприклад, для пропану від 800 кПа до величини 120–150 кПа) тобто у 6-7 разів, то середня інтенсивність буде у 2,5 раза менше порівняно з початковою інтенсивністю. Як правило, при отриманні пробоїни витік починається у рідкій фазі, а потім по мірі зниження рівня рідини, переходить у витік пароподібної фази. Тому часові терміни часу витоку у пароподібній фазі та рідкій фазі, які подані у табл. 2, треба приймати як максимальні і мінімальні відповідно. Тому можна приймати, що реальний термін витоку дорівнює середній величині цих значень [4].

Залежність витрат вантажу та терміни часу витікання легкозаймистих рідин (ЛЗР) з аварійної цистерни від прощі пробоїни та універсального зливного пристрою подані у табл. 3. У другій графі цієї таблиці у чисельнику поданий повний об'єм цистерни, а у знаменнику – маса ЛЗР при середній густині 800 кг/м³ та ступені заповнення у 85 % [4].

Таблиця 3. Залежність втрат вантажу та терміни часу витікання ЛЗР з аварійних цистерн від площі пробоїни та універсального зливного пристрою (УЗП)

	Об'єм казана маса ЛЗР, кг	Діаметр казана, м	Площа про- боїни УЗП, см ²	Втрата ЛЗР, кг/хв	Термін часу витоку, хв.
1	2	3	4	5	6
1	$\frac{61,2}{42000}$	2,8	78,5	840	50,0
			176	1878	22,4
			314	3348	12,5
2	$\frac{73,1}{49700}$	3,0	78,5	864	57,5
			176	1944	25,6
			314	3468	14,3
3	$\frac{85,6}{69200}$	3,2	78,5	900	64,7
			176	2010	29,0
			314	3600	16,2

1	2	3	4	5	6
4	140	3,0	78,5	864	110,0
	95200		176	1944	49,0
			314	3468	26,5
5	161,6	3,2	78,5	900	122,0
	109900		176	2010	54,7
			314	3600	30,5

Тобто, чим скоріше буде припинена течя, тим менша площа розливу і вибухонебезпечна зона, тим менша втрата вантажу і негативний вплив на оточуюче природне середовище. Аналіз табелів оснащення відбудовного та пожежного поїздів, а також аварійно-польових команд свідчить про те, що на озброєнні цих підрозділів відсутні засоби ліквідації витоків з аварійних цистерн (пневматичні пластирі, бандажі, ізолюючі стрічки тощо). Відсутні у складі цих підрозділів й необхідні фахівці [2].

Досвід ліквідації надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами доводить, що для ліквідування витоків небезпечних речовин використовуються сили і засоби підрозділів цивільного захисту, які не завжди можуть своєчасно під'їхати до місця аварії, особливо на перегонах, де місцевість не дозволяє цього зробити.

Впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів, збільшення обсягів перевезення вантажів, у тому числі й небезпечних, ставлять завдання щодо підвищення оперативності ліквідації надзвичайних ситуацій.

Виходячи з цього, необхідно або оперативно вирішувати питання щодо надання цим підрозділам можливості під'їзду залізничним транспортом, або мати відповідні сили і засоби у складі підрозділів залізниць.

Значну роль у проведенні необхідних дій щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій за участю небезпечних вантажів відіграє проливання місць розливів та осаджування парів таких вантажів тонкорозпиленою водою, створення водяних завіс при інтенсивному випаровуванні газу (парів) для ізоляції частини території.

З метою ефективного здійснення цих робіт залучаються пожежні поїзди, які мають відповідну техніку і обладнання. Крім цього пожежні поїзди здійснюють промивання водою чи розчином піноутворювача залізничної колії та території небезпечної зони.

На жаль, у вітчизняних пожежних поїздах відсутні матеріали та прилади для готування нейтралізуючих розчинів, устаткування для збирання розливів агресивних рідин і нафтопродуктів у резервні цистерни та для перекачування у такі цистерни вантажів з аварійних цистерн. Подібні функції виконують створені у Республіці Білорусь пожежні аварійно-рятувальні поїзди.

Необхідно відмітити, що у Російській Федерації й у Республіці Білорусь усі пожежні поїзди атестовані як аварійно-рятувальні, бойова обслуга у них має кваліфікацію – пожежник (рятувальник), на відміну від пожежників (респіраторників) у пожежних поїздах України, що дає можливість задіяти бойові обслуги цих поїздів для проведення аварійно-рятувальних робіт.

Відомо, що у склад відбудовного поїзда України, зокрема, входить пасажирський вагон СМВ, переобладнаний під їдальню із санітарним відсіком.

При належному укомплектуванні його медичним персоналом (наприклад, за рахунок медперсоналу відділення швидкої допомоги залізничної лікарні на станції дислокації відбудовного поїзда), медикаментами і відповідним медичним устаткуванням можливе його використання для надання медичної допомоги постраждалим від впливу шкідливих факторів надзвичайної ситуації.

З даних табл.1 також видно, що певна частка рекомендованих заходів носить ручний, немеханізований характер дій працівників, які беруть участь у ліквідації надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами, що у свою чергу, потребує певних навичок та екіпірування їх необхідними засобами індивідуального захисту, дотримання графіків

позмінної роботи тощо, з метою зменшення негативного впливу шкідливих властивостей таких вантажів на організм людини.

Все це потребує чіткої організації дій підрозділів різного підпорядкування, належного матеріально-технічного забезпечення, організації харчування, відпочинку та медобслуговування працюючих, що є неможливим без моніторингу обстановки та прогнозування її подальшого розвитку.

Для ефективної організації всебічної роботи підрозділів з ліквідації надзвичайних ситуацій з небезпечними вантажами, моніторингу обстановки та прогнозування її подальшого розвитку потрібне, зокрема, відповідне математичне забезпечення та впровадження на цій основі єдиної для усіх міністерств і відомств країни автоматизованої системи керування ліквідацією таких ситуацій, у тому числі й при перевезенні небезпечних вантажів залізничним транспортом, а також удосконалення обладнання відбудовних і пожежних поїздів, оснащення їх необхідним обладнанням і устаткуванням для виконання різноманітних робіт на місці події.

Висновки

1. Впровадити на залізницях України пожежні аварійно-рятувальні поїзди замість існуючих пожежних поїздів, що дасть можливість ліквідації витоків небезпечних вантажів з аварійних цистерн і перекачування їх у резервні цистерни, а також проведення аварійно-рятувальних робіт.

2. З метою підвищення рівня безпеки руху поїздів та ефективності проведення робіт, пов'язаних з ліквідацією наслідків аварійних ситуацій за участю небезпечних вантажів необхідно створити єдину автоматизовану систему керування діями підрозділів різних міністерств і відомств України, задіяних у ліквідації наслідків таких ситуацій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про залізничний транспорт».
2. Положення про функціональну підсистему «Сили і засоби реагування на надзвичайні ситуації на залізничному транспорті» Міністерства транспорту та зв'язку України щодо запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 206 с.
3. *Аветисян В. Г.* Рятувальні роботи під час ліквідації надзвичайних ситуацій. Частина 1: Посібник. За загальною редакцією В. М. Пшеничного // В. Г. Аветисян, Ю. М. Сенчихін, С. В. Кулаков, Ю. О. Куліш, В. Л. Александров, М. І. Адаменко, Р. С. Ткачук, В. В. Тригуб. – К.: Основа, 2006 –240 с.
4. *Кацман М. Д.* Ліквідація пожеж на залізничному транспорті: Посібник / За ред. В. Д. Зеркалова // М. Д. Кацман, Г. Б. Кононов, І. В. Діденко, Н. В. Огороднійчук. – К.: Основа, 2006. – 216 с.
5. Зміни до правил безпеки та порядку ліквідації наслідків аварійних ситуацій. Наказ МТЗУ від 25.11.2008 № 1431. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 752 с.
6. Методичні рекомендації щодо визначення нормативів часу на проведення аварійно-відновлювальних робіт із використанням основних технічних засобів відбудовних поїздів залізниць України. Наказ Укрзалізниці від 17.12.2008 №548-Ц. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 148 с.

*Ганна Кириченко
Олексій Горецький
Юлія Бердниченко*

МЕТОДИ ПРАКТИЧНОЇ ФОРМАЛІЗАЦІЇ УМОВ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЦІ З КОРИСТУВАЧАМИ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

В статті наведені основні функції інформаційної автоматизованої системи обліку взаємодії залізниці з користувачами транспортних послуг.

В статье приведены основные функции информационной системы учета взаимодействия железной дороги с пользователями транспортных услуг.

The article presents the basic functions of an automated system of information interactions with users railway transport services.

При розробці автоматизованих систем, що вирішують завдання управління, потрібне подання знань у структурованому вигляді для подальшого перекладу їх на мову програмування. Знання про процеси, які відбуваються у складній системі взаємодії залізниці з користувачами транспортних послуг, належать до слабоструктурованих, формалізація яких залежить від особистих знань технолога і вміння аналізувати та синтезувати експлуатаційні події, що відбуваються з вагоном, вантажем, документом, інформацією при обслуговуванні клієнта залізниці.

Натомість програмне забезпечення автоматизованих систем, що розробляється на підставі формалізованих знань, користується логікою картотек та строго організованих алгоритмів, тому мінімізує участь людини у технологічному процесі. Як наслідок цього – зменшення помилок працівників при розрахунках і оформленні звітів.

Розробка інформаційної автоматизованої системи з обліку взаємодії залізниці з користувачами транспортних послуг (АС ВЗК), серед яких найскладнішими є під'їзні колії, передбачає формування понятійної структури проблемної області, яка включає в себе нормативно-правові умови функціонування, експлуатаційні події, методики розрахунків обліку та аналітичного комплексу щодо взаємодії. Склад процесів, що формалізовані при побудові системи подано на рис.1.

Блок нормативно-правових умов взаємодії залізниці з клієнтами включає в себе та описується кількісними характеристиками, що містяться у договорах про перевезення, договорах про експлуатацію під'їзних колій, договорах про подачу – забирання вагонів, окремих додаткових та письмових угодах з конкретним клієнтом, а також даними Тарифного керівництва № 1 та № 4 [1]. В системі АС ВЗК для введення цієї інформації розроблене відповідне «вікно», зовнішній вигляд якого наведено на рис. 2.

Експлуатаційні події складають базу даних вагонів та враховують такі операції:

- інформування залізницею вантажовласника про надходження вагонів на його адресу;
- інформування вантажовласником залізниці про закінчення вантажних операцій вагонів;
- подавання – забирання вагонів для (після) вантажних операцій,
- маневрова робота локомотива залізниці на під'їзних коліях;
- затримки вагонів при подаванні та забиранні вагонів, на підходах до станції призначення з вини вантажовласника.

© *Кириченко Г., Горецький О., Бердниченко Ю., 2012*

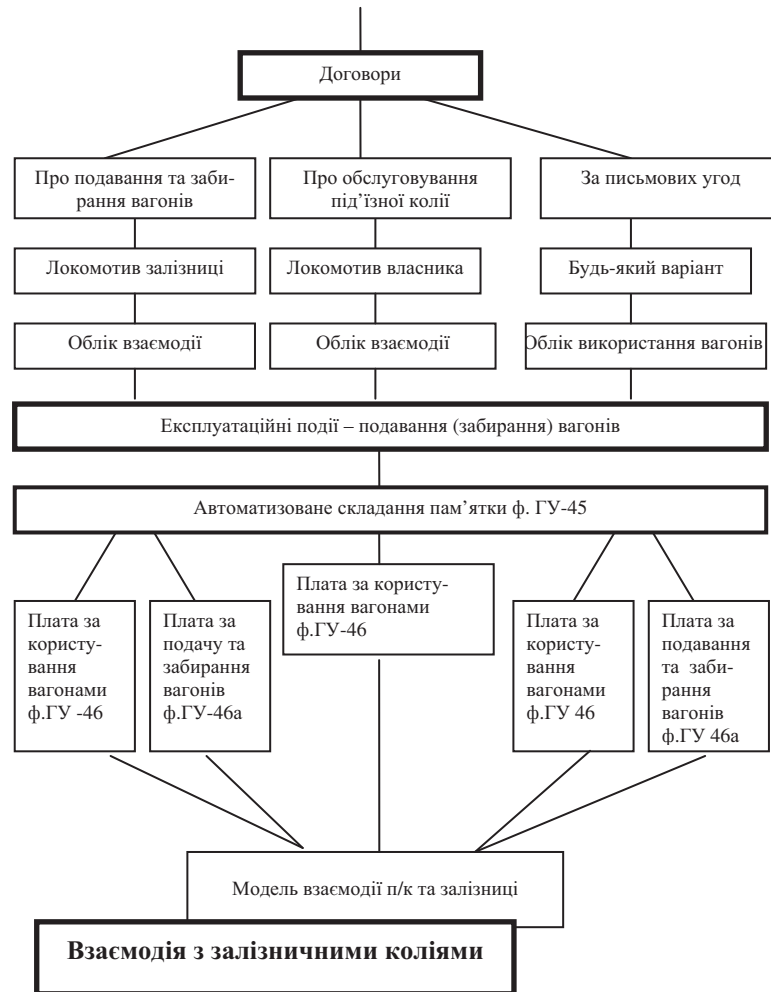


Рис. 1. Склад процесів, що формалізовані при побудові системи

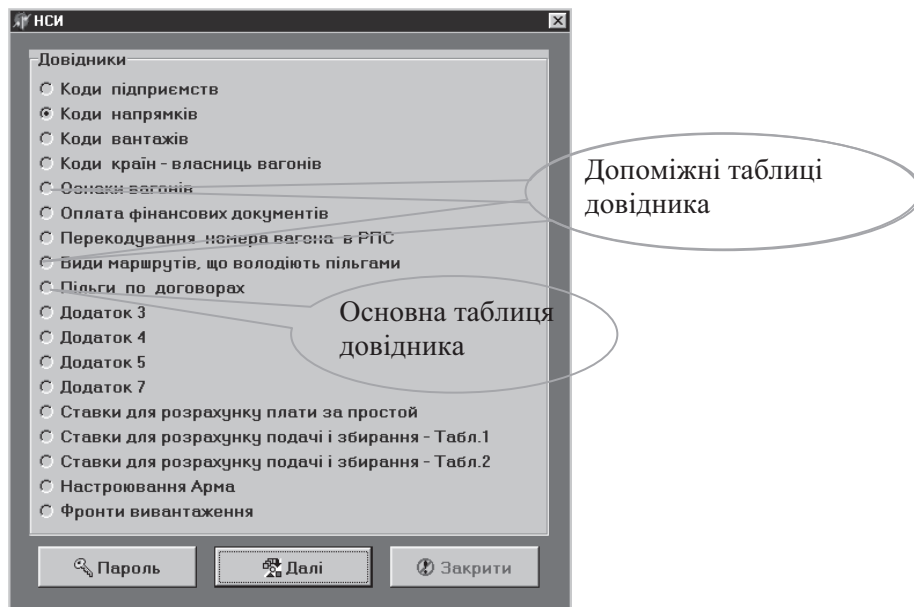


Рис. 2. Вікно з переліком довідників

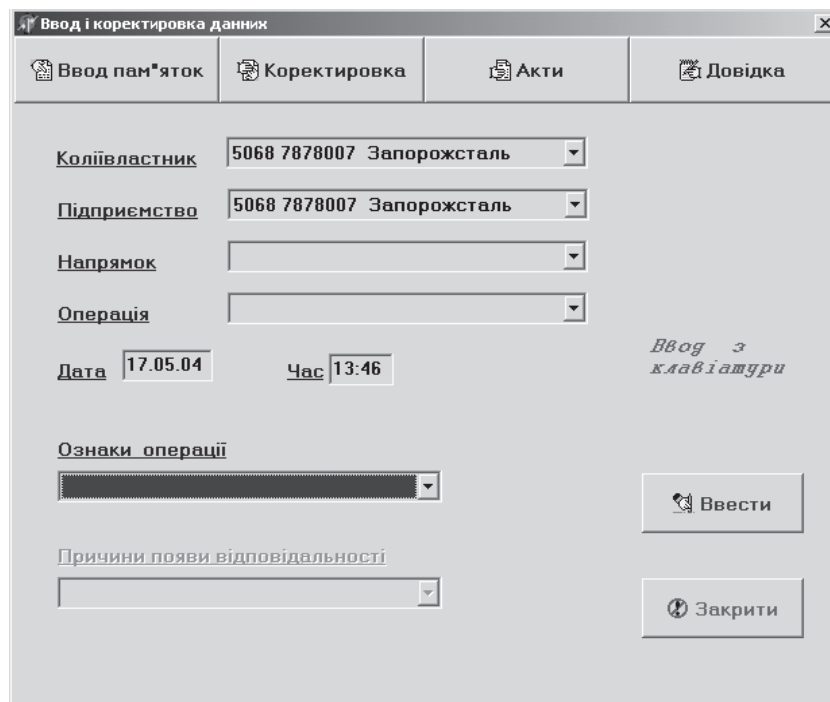


Рис. 3. Вікно «Введення і коригування даних»

У системі АС ВЗК для введення цієї інформації розроблене відповідне «вікно», зовнішній вигляд якого наведено на рис. 3. На підставі даних про події з подавання-забирання вагонів автоматично складаються пам'ятки форми ГУ-45, які є обліковими документами для проведення взаєморозрахунків між залізницею та клієнтом.

Блок розрахунків містить програмне забезпечення, що реалізує методики розрахунків з обліку та утворює значний аналітичний комплекс щодо взаємодії. Методики розроблені на підставі положень Збірника тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ним послуги [2], Статуту залізниць України [3], Правил перевезень вантажів залізничним транспортом України [4].

Облік часу користування вагонами і контейнерами та нарахування плати за користування ними провадиться на станціях за Відомістю плати за користування вагонами форми ГУ-46. Облік подавання – забирання вагонів, нарахування плати за ці види робіт здійснюється за Відомістю плати за подавання – забирання вагонів форми ГУ-46, а.

Блок аналітичного комплексу містить дані оперативної бази, архіви документів, довідки, що характеризують роботу підприємства з вагонами та вантажами.

Таким чином, АС ВЗК вирішує такі задачі:

1. Формування нормативно-довідкового блоку, що описує топологію об'єкта автоматизації, умови договорів про експлуатацію під'їзної колії, договорів про подавання та забирання вагонів, додаткових умов договорів.
2. Розрахунки всіх видів фінансових документів з обліку взаємодії під'їзної колії промислового підприємства та залізниці.
3. Формування аналітичної інформації з обліку роботи підприємства на підставі бази даних та архіву вагонної моделі під'їзної колії [5].

Використання системи дозволяє виключити помилки при розрахунку плати за користування вагонами на під'їзній колії, підвищити достовірність розрахунків. Головне в системі є те, що формалізація умов взаємодії залізниці з користувачами транспортних послуг дозволяє «перекладати» інформацію про переміщення вагонів у інформацію про розрахунки, утворює модель під'їзної колії.

Схема цієї інформаційної моделі наведена на рис. 4.

В статті наведені лише основні функції системи, використання якої дозволяє набути знань та практичних навичок з формалізації умов договорів, додаткових умов і письмових угод щодо взаємодії залізниці та підприємства, навичок роботи в автоматизованій системі контролю знаходження вагонів та ознайомитись з технологією розрахунків, обліковими та фінансовими документами при розрахунках за користування вагонами.

В розглянутій АС ВЗК формалізовані знання щодо нормативно-правової бази взаємодії залізниці з користувачами транспортних послуг при користуванні вагонами. Наповнення блоків розробленої системи не залежить від особистих знань технолога і вміння аналізувати експлуатаційні події, а вимагає введення інформації у строгій логічній послідовності.

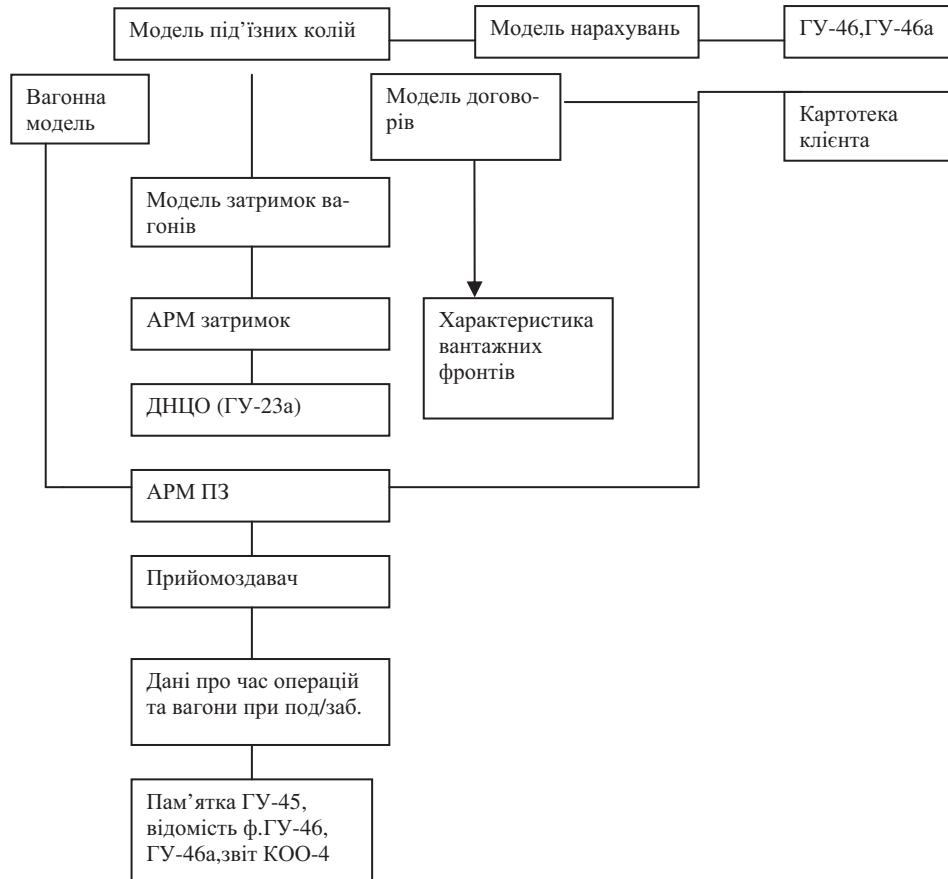


Рис. 4. Інформаційна модель АС ВЗК

Система є уніфікованою та універсальною, вона використовується як у навчальному процесі, так і на практиці – на станції Східна-Промислова Криворізького металургійного підприємства «Міттал Стіл Кривий Ріг», тому може бути впроваджена на будь-якому підприємстві, де здійснюється взаємодія з іншим підприємством, в тому числі і з магістральною залізницею щодо користування вагонним парком.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тарифні керівництва № 1 та № 4 // Транспорт України, 1997.
2. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ним послуги. – К., 2009.
3. Статут залізниць України // Транспорт України, 1998.
4. Тарифна політика залізниць України. – К.: Укрзалізниця, 2011.
5. Правила перевезень вантажів залізничним транспортом України. Частина І. – К.: Укрзалізниця, 2004.
6. Рыбина Г. В. Основы построения интеллектуальных систем. – М.: Финансы и статистика, 2010.

*В'ячеслав Мацюк
Григорій Шкурко*

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ФРОНТІВ ПРОМИСЛОВИХ ЗОН РОЗВИНЕНИМИ ЗАЛІЗНИЧНИМИ ВУЗЛАМИ

В статті подані науково-методичні підходи щодо визначення меж обслуговування вантажних фронтів промислових зон міста та передмістя розвиненими залізничними вузлами.

В статье представлены научно-методические подходы к определению границ обслуживания грузовых фронтов промышленных зон города и пригорода развитыми железнодорожными узлами.

The paper presents methodological approaches to defining boundaries of service cargo railway fronts of city's and suburb's industrial zones by the developed railway junctions.

Ключові слова: науково-методичні підходи, технологічна межа обслуговування розвиненого залізничного вузла.

Актуальність проблеми. За останні десятиріччя на залізницях України дещо змінилась структура кореспонденції місцевих вагонопотоків у економічних зонах, які тяжіють до великих розвинених залізничних вузлів. Ще 10 – 15 років тому можна було спостерігати більший дисбаланс в обсязі переробки місцевих вагонопотоків у вузлах та на дільниці. Наприклад, приблизно 80 % місцевого вагонопотоку, що надходив у переробку на Київську дирекцію, оброблявся в межах великих вузлів, причому у межах одного тільки Київського вузла 50–60 % від обсягу всієї дільниці [1].

На сьогодні частка переробки місцевого вагонопотоку у передмісті суттєво збільшилась, що вимагає перегляду технологічних меж вузла, системи організації місцевих вагонопотоків у економічних регіонах тяжіння до нього [2].

Класична теорія проектування та організації експлуатаційної роботи великих розвинених вузлів вказує на можливість визначення меж навіть по межах великих приміських промислових зон та кінцевих пунктах зародження та погашення інтенсивного приміського пасажиропотоку. Однак не визначається, по яких саме критеріях визначається ця межа [3]. Тому, враховуючи вищесказане, можна вважати проблему актуальною.

Основний розділ. Розвинені залізничні вузли являють собою складний комплекс постійно взаємодіючих транспортних систем: станцій, дільниць, локомотивних і вагонних депо, служб енергопостачання та матеріально-технічного забезпечення. На них припадає значний обсяг технічної роботи із переробки місцевого та транзитного вагонопотоку, організації початково-кінцевих операцій вантажної роботи та обслуговування пасажирів.

Головними ознаками даного типу вузлів є чітке внутрішнє розмежування роботи за технологічними ознаками між внутрішньовузловими станціями.

© *Мацюк В. І., Шкурко Г. А., 2012*

Основний обсяг технічної переробки вагонопотоків (у тому числі місцевих) зосереджено на технічних (сортувальних та дільничних) станціях, місцева робота – на вантажних станціях, пасажирська – на пасажирських та пасажирських технічних станціях. Кількість магістральних підходів на відміну від нерозвинених вузлів, у даному випадку, не має значення і може становити навіть один (у випадках із тупиковими вузлами, наприклад, Маріупольський) [1].

Іншими важливими ознаками розвинених вузлів (по аналогії із залізничними станціями та іншими роздільними пунктами) є межі вузлів. Причому стосовно вузлів разом із географічним розташуванням однаково важлива технологічна межа, тобто межі економічного району, що обслуговується відповідним залізничним вузлом. Великі вузли обслуговують економічні регіони мегаполісів, і у більшості випадків економічні райони обслуговування виходять за адміністративні межі цих міст. Кожен окремих розвинений вузол потребує індивідуального розгляду та аналізу транспортно-економічних зв'язків із підприємствами даної промислової зони.

При розробці технологічного процесу роботи залізничного вузла, встановлення межі регіону обслуговування буде ключовим, оскільки визначає інфраструктурні, і як наслідок, технологічні межі даної транспортної системи: кількість, тип, розвиток та пропускну і провізну спроможності роздільних пунктів та дільниць, потрібні технічні характеристики дистанцій, локомотивних та вагонних депо.

Розглянемо як приклад місто Київ та Київський залізничний вузол (рис. 1). Даний мегаполіс є зосередженням декількох потужних промислових зон як у межах адміністративних територій, так й у передмісті.

Встановлення меж Київського вузла можливе за такими принципами [3]:

- 1) межами вузла можуть вважатись вхідні станції та пункти перетину дільниць наближення, що розташовані в адміністративних межах міста. Тобто станції 5, 3, 1, 9, 10 (сучасний стан).
- 2) межами вузла є адміністративні межі міста.
- 3) межами вузла є межі економічного району обслуговування, а саме граничні станції зазначеного району (11, 12, 13, 14, 9, 10).

Із зазначених варіантів та схем на рис. 1 видно, що територіальні межі економічного регіону (варіант 3) набагато більші за теперішні (встановлені) межі вузла (варіант 1).

Чим більше полігон обслуговування залізницею, тим складніше система організації вагонопотоків. При існуючій системі розвозу місцевих вагонів та обслуговування промислових зон передмістя (дільниці між станціями 5-11 і далі, 1-13 і далі, 1-14 і далі 6-10 і далі), вагонопотоки організуються збірними та вивізними поїздами. При невеликому добовому вагонопотоці з організацією тільки однієї пари збірних поїздів, час в очікуванні відправлення вагонів на дільницю або вивезення із дільниці може досягати доби. При значних вагонопотоках кількість поїздів також буде більшою і відповідно час очікування відправлення вагонів зменшиться.

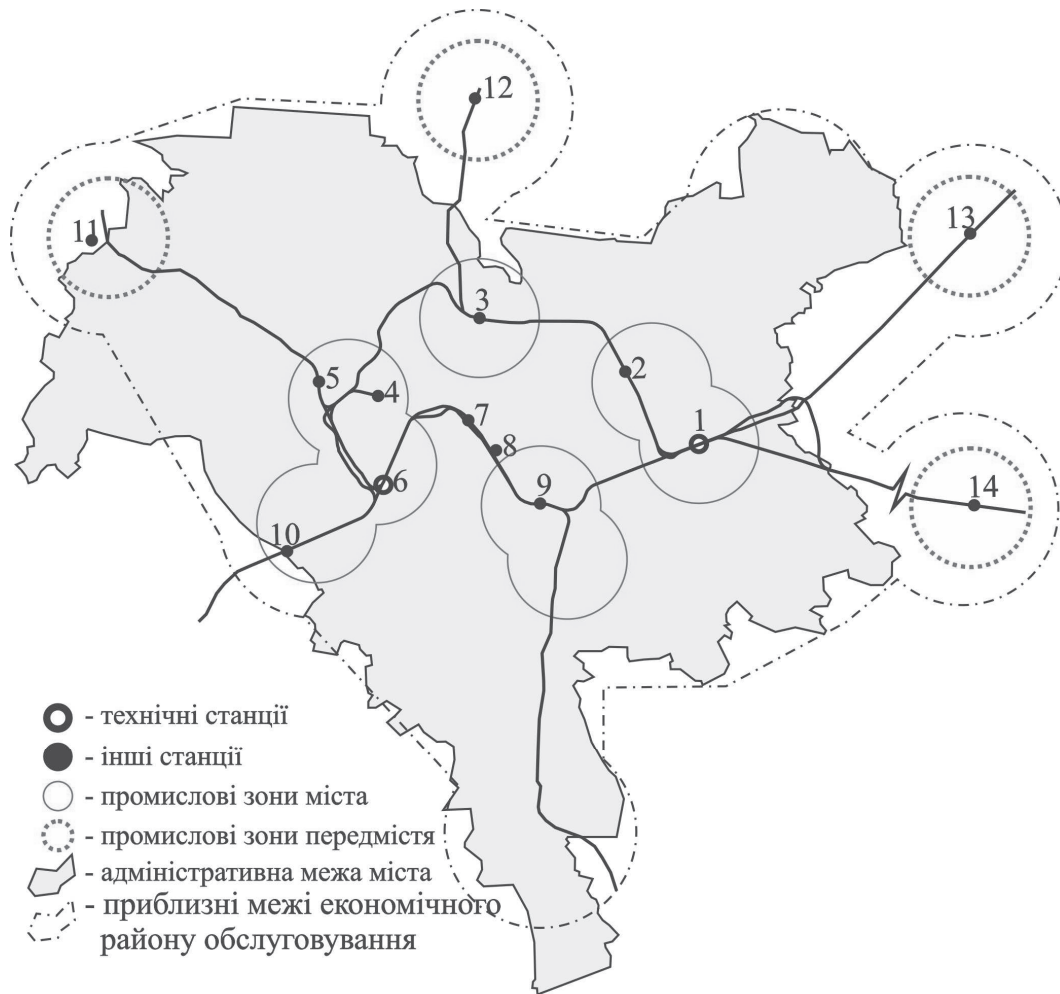


Рис. 1. Промислові зони міста та передмістя Києва в межах тяжіння до Київського залізничного вузла

При формуванні у залізничному вузлі баз із концентрації технічної переробки (сортування вагонів, формування та розформування складів місцевих поїздів, накопичення груп вагонів по промислових зонах, станціях, фронтах) місцевих вагонів на технічних станціях [1] можливі варіанти з обробки великих вантажовласників економічних зон передмістя.

Наприклад, технічна станція 6 може накопичувати та сортувати по групах передачі до пункту 11, а технічна станція 1 до пунктів 13 та 14. Критерієм ефективності зазначених передач буде технолого-економічна ефективність, тобто потенційні витрати від очікування у накопиченні вагонів на технічних станціях повинні бути більшими від потенційних витрат на формування окремого передавального / вивізного поїзда:

$$\sum E_{\text{накоп. } i} \geq \sum E_{\text{перед. } i}, \quad (1)$$

- $\sum E_{\text{накоп.}}$ – потенційні техніко-експлуатаційні витрати, що пов’язані із очікуванням у накопиченні вагонів до i -ї станції або i -го напрямку;
 $\sum E_{\text{перед.}}$ – потенційні техніко-експлуатаційні витрати, що пов’язані із формуванням окремого передаточного / вивізного поїзда до i -ї станції або i -го напрямку.

Висновок. Встановлення технологічних меж обслуговування залізничним вузлом промислових зон міста та передмістя є важливим технологічним завданням, оскільки саме на зазначені полігони припадає більший обсяг переробки місцевого вагонопотоку.

Для визначення технологічних меж обслуговування регіону залізничним вузлом, встановлення напрямків обслуговування та їх протяжності доцільно використовувати принцип мінімізації техніко-експлуатаційних витрат, пов'язаних із очікуванням вагонів під накопиченням на базах формування передавальних поїздів та витратами, що пов'язані із формуванням та відправленням окремого складу передавального поїзда.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Мацюк В. І.* Удосконалення системи розвозу місцевих вагонів в залізничному вузлі: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.01 / *Мацюк Вячеслав Иванович.* – К., 2009. – 181 с.
2. *Мацюк В. І.* Аналіз існуючої технології розвозу місцевих вагонів у великих залізничних вузлах // Проблеми економіки и управления на железнодорожном транспорте: Материалы II Международной научно-практической конференции. Судак, 19-22 июня 2007 г. – Судак; Киев. – 2007. – Т. 1. – С. 217–218.
3. *В. М. Акулиничев, Н. В. Правдин, В. Я. Болотный, И. Е. Савченко.* Железнодорожные станции и узлы: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1992. – 480 с.

*Віктор Мироненко
Надія Алексійчук*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ СИСТЕМИ КОНТЕЙНЕРНИХ ТЕРМІНАЛІВ

Існуючі методи оцінки пропускної спроможності контейнерних терміналів не дозволяють розрахувати пропускну спроможність усієї системи, що включає декілька терміналів і транспортні зв'язки між ними. У статті розглянуті різні методики розрахунку пропускної спроможності, що ґрунтуються на аналітичних методах, теорії масового обслуговування і мережах Петрі для отримання найбільш відповідних результатів та підвищення пропускної спроможності всієї системи контейнерних терміналів.

Существующие методики оценки пропускной способности контейнерных терминалов не позволяют оценить пропускную способность всей системы, включающей несколько терминалов и соединяющие их транспортные линии. В статье рассмотрены различные методики расчета пропускной способности, основанные на аналитических методах, теории массового обслуживания и сетях Петри для получения наиболее адекватных результатов и повышения пропускной способности всей системы контейнерных терминалов.

Actual methodologies of container terminal capacity estimation do not allow calculating the capacity of a system comprising a number of container terminal and transport links between them. The article discusses different methodologies of capacity calculation based on analytical methods, on queuing theory and Petri networks to obtain the most appropriate results for increasing the overall container terminal system capacity.

Ключові слова: контейнери, контейнерні перевезення, контейнерні поїзди, контейнерні термінали, сортувальна станція, прикордонна станція, пропускну спроможність, система контейнерних терміналів, модель, система масового обслуговування, мережі Петрі.

Постановка проблеми. Перевезення контейнерних вантажів є одним із найважливіших сегментів глобального транспортного ринку. Сьогодні позиція України на ньому не найкраща, адже контейнери так і не стали поки що масовим засобом доставки вантажів у країні. Відкритим залишається питання спроможності системи контейнерних терміналів України переробити та перевезти ті обсяги контейнерів, які формуються сьогодні, а тим більше зростання обсягів перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теорії та практиці функціонування та моделювання транспортних систем присвячені роботи вчених: Бутова А.С., Горєва А.Е., Дмитрієва І.А., А. Крячко К.В., Кулібанова Ю.М., Нечаєва Г.І. та ін.

Метою статті є визначення інтегрального показника пропускної спроможності системи контейнерних терміналів (КТ), що створюються на базі інфраструктури залізничного транспорту та розробка методики його розрахунку.

© Мироненко В. К., Алексійчук Н. М., 2012

Матеріали і результати дослідження. Контейнерний термінал – це вантажний термінал, спеціалізований на переробці контейнерних вантажів. Призначення контейнерних терміналів в транспортних мережах (або в логістичних ланцюгах контейнерних перевезень) полягає в перетворенні контейнерних потоків (розмірів транспортних партій, часу їх прибуття та відправлення та ін.) при передачі їх з одного виду транспорту на інший. Мета цього перетворення вантажопотоків полягає в тому, щоб забезпечити найефективніше подальше транспортування вантажів, товарів, матеріалів у контейнерах [1].

Систему контейнерних терміналів на базі залізничного транспорту, як і будь-яку іншу систему, згідно з базовими системними принципами можна ідентифікувати (технічно) як сукупність елементів, пов'язаних між собою визначеними залежностями [2].

Так система S складається з певної кількості елементів a_1 до a_n , параметрів приведених елементів h_1 до h_n , відношень r_1 до r_n між цими елементами і формально може бути представлена як:

- Сукупність елементів, $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$.
- Параметри елементів, $H = (h_1, h_2, \dots, h_n)$.
- Залежності між елементами (відношення), $R = (r_1, r_2, \dots, r_n)$.
- Система КТ, $S = (A, H, R)$.

Метою формалізації системи КТ загалом є досягнення рівномірного в часі і просторі потоку контейнерів між елементами системи з максимально можливою швидкістю проходження ланок. Водночас формалізація системи вимагає врахування її зв'язків з навколишнім середовищем. Систему КТ можна подати як:

$$S = (A, H, R, R^*),$$

де R^* – сукупність залежностей елементів системи A з елементами оточення A' . Це можна зобразити наведеною нижче схемою, на якій показано приклад системних зв'язків між елементами системи A : контейнерним терміналом, найближчою сортувальною станцією, що його обслуговує, які є елементами більшої системи КТ (обслуговує потоки контейнерів між конкретними морськими портами та/або прикордонними станціями сухопутних переходів). До елементів оточення A' можна віднести вантажні термінали, автомобільний транспорт, вантажовідправників і т.д.

Названі елементи слід розуміти у загальноприйнятому значенні. Так, сортувальна станція – це станція, призначена для масового розформовування та формування вантажних поїздів, виконання вантажних, комерційних та технічних операцій [3]. Прикордонна станція – станція, що розташована перед кордоном із суміжною державою. Наступною за цією станцією є станція суміжної держави [4].

Наявність в системі КТ таких елементів як контейнерний термінал, сортувальна станція, морський порт і прикордонна станція, передбачає складний характер взаємодії приведених елементів. Підсистемами можна вважати як взаємодію безпосередньо контейнерного терміналу із сортувальною станцією, з морським портом (динамічні системи), так і кожен елемент, наприклад, контейнерний термінал, сортувальна станція (статичні системи).

Спрощену формалізовану модель системи КТ можна подати як

$$S = (K, B, L, J, Z, W, R),$$

де K – обсяг контейнерів, що знаходяться в системі; B – матеріальна база системи; L – працівники, задіяні в системі КТ; J – інформаційно-обчислювальні системи управління перевізними процесами та системи управління транспортними потоками; Z – операції, що відбуваються з контейнерами; W – моменти часу початку та завершення операцій з контейнерами щодо досягнення цілей функціонування; R – сукупність залежностей між елементами та підсистемами.

У свою чергу, матеріальна база $B = (I, T, N)$,

де I – інфраструктура транспорту загального користування; T – транспортні та інші комунікації контейнерного терміналу; N – техніка транспорту, що включає в себе транспортні засоби і навантажно-розвантажувальні системи.

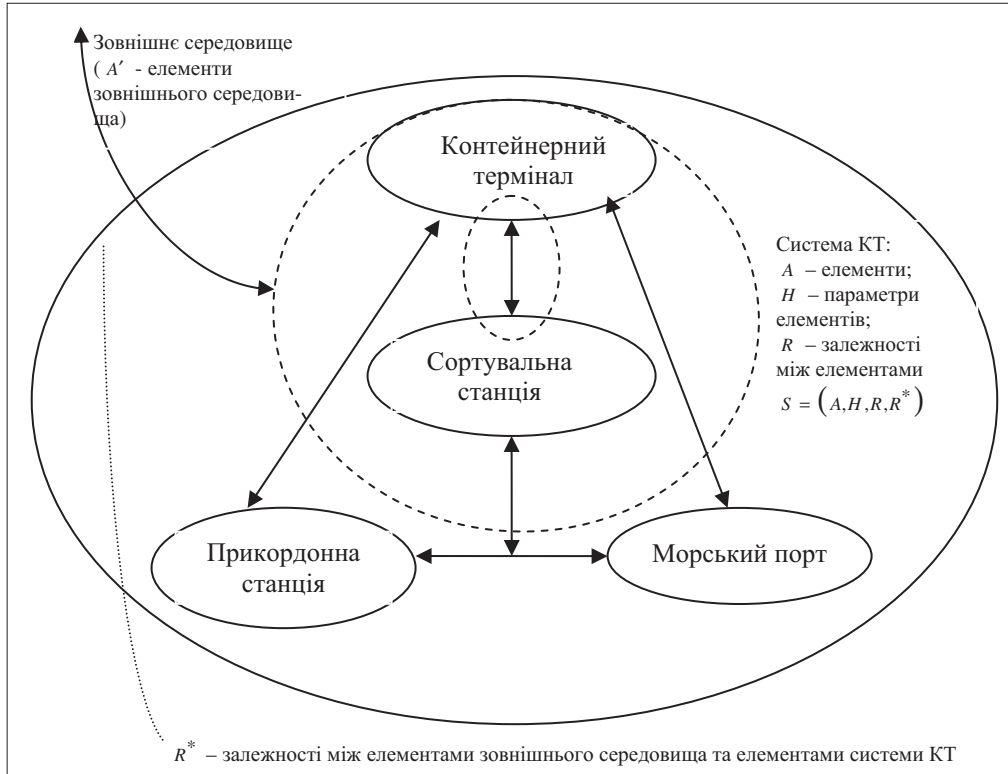


Рис. 1. Схематична інтерпретація моделі системи КТ $S = (A, H, R, R^*)$

Аналогічно можуть бути представлені інші підсистеми.

Стосовно поданого варіанта моделі системи КТ доцільно обмежитись розглядом таких видів залежностей:

- R_1 – залежності між елементами K і B ;
- R_2 – залежності між елементами K і L ;
- ...;
- R_w – залежність між елементами Z і W .

Подані залежності характеризуються як двосторонні. Водночас загальний підхід вимагав би ідентифікації і врахування m -сторонніх залежностей, наприклад K , B і L . У базовому варіанті систему КТ можна подати так, як зображено на рис. 2.

Приведена модель системи КТ повністю залежить від обраних принципів та процедури її структурування на підсистеми (складові елементи). Для забезпечення рівномірного потоку контейнерів з можливо найвищою швидкістю проходження ланок необхідно визначити спроможність системи КТ забезпечити перевезення наявних контейнерів.

На пропускну спроможність системи КТ ($ТС_{КТ}$) безпосередньо впливає переробна спроможність причалів в портах, пропускну спроможність на митних кордонах, стан транспортної інфраструктури, яка забезпечує контейнерні перевезення (залізниці, автошляхи, контейнерні термінали). Саме ці елементи виступатимуть як складові частини пропускну спроможності:

$$TC_{КТ} = f\{Pc_{КТ}, Pc_{МП}, Pc_{ПС}, Pc_{инфр}\},$$

де $Pc_{КТ}$ – переробна спроможність контейнерного терміналу;

$Pc_{МП}$ – переробна спроможність морського порту;

$Pc_{ПС}$ – пропускна спроможність прикордонних станцій;

$Pc_{инфр}$ – пропускна спроможність транспортної інфраструктури.

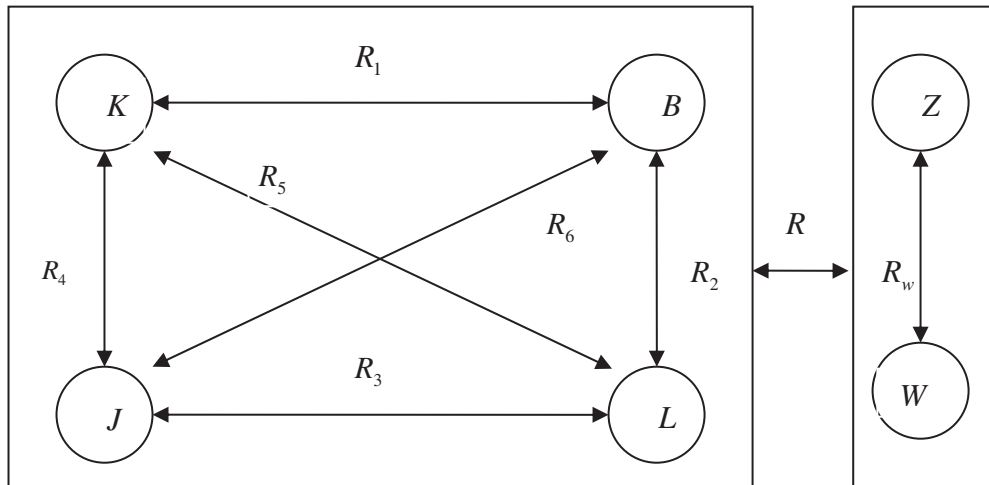


Рис. 2. Основні елементи і залежності системи КТ $S = f(A, R)$

Джерело [2]

Пошук «вузьких місць» у системі є важливим аспектом при визначенні пропускної спроможності системи. Пропускна спроможність системи КТ буде рівна мінімальній з пропускних спроможностей складових елементів. Під час аналізу велике значення має балансування потоків у системі КТ, тобто знаходження такої кількості контейнерів у вузлах (елементах), при якому середній час перебування в системі є мінімальним, або її пропускна здатність максимальна.

Під пропускну спроможністю транспортної інфраструктури мають на увазі розрахункову спроможність ліній залізниці, що задіяні в перевезеннях, за формулою [5]:

$$Pc_{инфр} = \frac{(1440 - t_{техн}^0) \alpha_M^0}{I_M}, \text{ поїздів/добу}, \quad (1)$$

де $t_{техн}^0$ – тривалість технологічних перерв (для ремонту основного шляху), хв.;

α_M^0 – коефіцієнт, який враховує вплив відмов у роботі технічних засобів, $\alpha_M^0 \leq 1$;

I_M – величина міжпоїздного інтервалу, хв.

Пропускна спроможність може розраховуватися різними методами. Наприклад, якщо тривалість обслуговування однієї транспортної одиниці описується нормальним законом розподілу, а розрахунковий період часу, який використовується для обслуговування транспортних одиниць – детермінована величина, то практична пропускна спроможність ділянки визначається за формулою:

$$n = \bar{n}_p - t_\beta \sigma_n, \text{ поїздів /добу}, \quad (2)$$

де t_β – чисельне значення стандартизованого відхилення інтегральної функції нормального розподілу;

σ_n – середньоквадратичне відхилення пропускної спроможності ділянки, поїздів/добу.

Пропускна спроможність прикордонних станцій принципово не відрізняється від сортувальної станції, але необхідно враховувати момент прийому/здачі вагонів за кордон, з урахуванням пов'язаних з цим контрольних процедур та можливостей прикордонної станції суміжної держави.

Контейнерні термінали в основному займаються переробкою вантажів (контейнерних вантажів), формуванням вантажних партій для відправки, відправкою вантажу під завантаження на інший вид транспорту, наданням експедиторських, митно-брокерських, фінансових послуг та страхування. Метою їх функціонування є надання послуг з прийому, зберігання, митного оформлення, формування вантажу для відправки, перевантаження та відправки вантажу з одного транспорту на інший для подальшого перевезення до пункту призначення.

Переробну спроможність контейнерних терміналів можна визначити по обробці вагонів з контейнерами як сумарну переробну здатність по його районах, окремих вантажних фронтах (ВФ) з урахуванням особливостей технологій їх роботи. В загальному вигляді переробна спроможність ВФ, які працюють за добовим циклом, визначається як [6]:

$$Pc_{KT} = \frac{E_{скл} + N_a^{\partial}}{q_v \left[1 - \frac{T_{приб}}{T_z} (1 + \varphi) \right] \mu} + \frac{N_a^{\mu}}{q_v}, \text{ вагонів/добу} \quad (3)$$

де $E_{скл}$ – експлуатаційна місткість складу, контейнерів (з урахуванням ярусності штабелювання контейнерів);

N_a^{∂} , N_a^{μ} – кількість вантажу, яка зберігається, відповідно в денну і нічну зміну на автомобільному рухомому складі, контейнерів;

q_v – статичне навантаження на вагон, конт./ваг;

$T_{приб}$ – тривалість прибирання (вивезення) вантажу на склад протягом доби, год;

T_z – тривалість надходження (завезення) вантажу на склад протягом доби, год;

φ – коефіцієнт безпосереднього перевантаження вантажів з рухомого складу одного виду транспорту на інший;

μ – коефіцієнт наявності оперативної вільної ємності, необхідної для раціональної роботи навантажувально-розвантажувальних машин і додержання спеціалізації складської площі (для контейнерних майданчиків з двоюрисним штабелюванням контейнерів – 1,15).

Аналогічно визначається пропускна спроможність морського порту, де в основному виконується перевантаження вантажу з наземного виду транспорту на судно та формування вантажних суднових партій для подальшого перевезення, або ці самі операції в зворотному порядку.

Розрахунки, подібні представленим формулами (1 – 3), можна узагальнено визначити як аналітичний підхід до визначення пропускної спроможності окремих елементів системи КТ, який дає можливість оцінити та порівняти їх, визначити «вузькі місця» системи. Однак такий підхід не дає змоги описати (моделювати) функціонування системи в цілому або в її обмежених рамках. Тут в нагоді можуть стати інші підходи і методи.

Для визначення пропускної спроможності розглянемо систему КТ як систему масового обслуговування (СМО).

Як відомо [7, 8], ключовою характеристикою будь-якої СМО, є коефіцієнт завантаження каналу (обслуговує пристрої, апарат) ρ . Вже сама його величина говорить про достатність (або недостатність) каналів та інтенсивність обслуговування, та про їх потрібну кількість.

ρ – коефіцієнт завантаження системи або середня кількість каналів, які необхідно мати, щоб обслуговувати за одиницю часу всі вимоги, що надходять:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda \cdot T_{обс}, \quad (4)$$

де λ – інтенсивність вхідного потоку заявок (середнє число вимог, що надходять за одиницю часу: за годину, добу і т.п.); μ – інтенсивність обслуговування заявок (середнє число вимог, що задовольняються за одиницю часу: за годину, добу і т.п.); $T_{обс}$ – середній час обслуговування одним каналом однієї вимоги.

Система КТ складається з n обслуговуючих каналів, кожен з яких може одночасно обслуговувати лише одну вимогу. В систему надходить простий (пуасонівський) потік вимог з параметром λ . Якщо в момент надходження чергової вимоги всі n каналів зайняті, то ця вимога ставиться в чергу, при умові що в ній стоїть менше n вимог, інакше – покидає систему. Іншими словами, вимога отримує відмову, якщо в системі знаходиться $s = n + m$ вимог. Час обслуговування кожної вимоги є випадковою величиною, яка підкоряється експоненціальному закону розподілу з параметром μ .

Таблиця 1.1. Технологічний і математичний зміст основних понять та елементів СМО стосовно контейнерного терміналу при взаємодії видів транспорту

Поняття або елемент СМО		Вид транспорту	
		Автомобільний	Залізничний
Вимога		Автомобіль з контейнером (або для вивозу контейнера)	Поїзд
			Маневровий состав
			Група вагонів
			Вагон
Вхідний потік вимог		Потік автомобілів	Маневрові состави для подачі на КТ
			Маневрові состави, що подаються на КТ
			Групи вагонів для різних ВФ
			Вагони під вивантаження, для навантаження
Обслуговування вимог		Перевірка документів та контейнера, зважування, вивантаження або завантаження контейнера	Підбір маневрових составів на КТ
			Подача маневрового состава на КТ
			Розстановка груп вагонів по ВФ
			Вантажні операції з вагонами на ВФ
Канал обслуговування		Працівники КПП, ваги, перевантажувач, кран або т.п. механізм	Маневровий локомотив
			Маневровий локомотив
			Маневровий локомотив
			Перевантажувач, кран або т.п. механізм
Інтенсивність	вхідного потоку вимог, λ		Величина, зворотна середньому інтервалу надходження заявок $I_{ВХЗ}$
	обслуговування заявок, μ		Величина, зворотна середньому часу обслуговування $t_{ОБС}$
			Величина, зворотна середньому інтервалу надходження заявок $I_{ВХЗ}$
Коефіцієнт завантаження каналу, ρ (математичний)			$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
Коефіцієнт завантаження каналу, ρ (технологічний)			$\rho = \frac{t_{ОБС}}{I_{ВХЗ}}$

Абсолютна пропускна спроможність системи – це кількість вимог (контейнерів), які система обслуговує за одиницю часу. Відносна пропускна спроможність системи – це відношення кількості вимог, що обслуговуються, до їх загальної кількості, що надійшла в систему. Під вимогою мають на увазі запит на задоволення потреби в перевезенні контейнерів, а обслуговування полягає в її задовільненні.

$$\text{Імовірність відмови в обслуговуванні: } P_{\text{отк}} = \frac{\rho^{n+m}}{n!n^m} P_0 \quad (5)$$

$$\text{Імовірність обслуговування («надійність»): } P_{\text{обс}} = 1 - P_{\text{отк}} \quad (6)$$

$$\text{Абсолютна пропускна здатність: } A = P_{\text{обс}} \lambda \quad (7)$$

Таблиця 1.2. Технологічний та математичний зміст основних понять і елементів СМО стосовно морського порту при взаємодії видів транспорту

Поняття або елемент СМО		Вид транспорту	
		Морський	Залізничний
Вимога		Судно	Поїзд
			Маневровий состав
			Група вагонів
			Вагон
Вхідний потік вимог		Потік суден	Маневрові состави для подачі на КТ
			Маневрові состави, що подаються на КТ
			Групи вагонів для різних ВФ
			Вагони під вивантаження, для навантаження
Обслуговування вимог		Швартування, вантажні та інші операції, відшвартування	Підбір маневрових составів на КТ
			Подача маневрового состава на КТ
			Розстановка груп вагонів по ВФ
			Вантажні операції з вагонами на ВФ
Канал обслуговування		Буксир, причал, контейнерний перевантажувач або т.п. механізм	Маневровий локомотив
			Маневровий локомотив
			Маневровий локомотив
			Перевантажувач, кран або т.п. механізм
Інтенсивність	вхідного потоку вимог, λ	Величина, зворотна середньому інтервалу надходження заявок $I_{ВХЗ}$	
	обслуговування заявок, μ	Величина, зворотна середньому часу обслуговування $t_{ОБС}$	
Коефіцієнт завантаження каналу, ρ (математичний)		$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	
Коефіцієнт завантаження каналу, ρ (технологічний)		$\rho = \frac{t_{ОБС}}{I_{ВХЗ}}$	

Можливий й інший підхід – з використанням мереж Петрі. Розглянемо приклад побудови мережі Петрі [9, 10, 11] для системи КТ, в якій переміщуються контейнери (рис.3).

З напрямків M (припортова станція Іллічівськ), K (станція, на якій розташований контейнерний термінал Київ-Ліски), ..., MK_n (інші припортові станції та станції, на яких розташовані контейнерні термінали, наприклад: Іллічівськ-Поромна, Одеса-Порт, Одеса-Ліски, Донецьк-Ліски, Луганськ-Ліски, Харків-Ліски, Дніпропетровськ-Ліски; станції, на яких навантажуються контейнери, наприклад: Нікополь, Запоріжжя-Ліве та ін.) нерівномірно прибувають контейнери на платформах, групи платформ з контейнерами, контейнерні поїзди на сортувальну станцію Козятин (СС). Напрямок MK_i , де $i = 1 \dots n$ змодельовано за допомогою позиції P_{MK_i} k_i рівня, де $i = 1 \dots n$ з фіксованим

часом затримання фішок (контейнерів, груп контейнерів, контейнерних поїздів) [12]. В позиції P_{MK_i} j -та заявка (контейнер, група контейнерів, контейнерний поїзд) затримується з фіксованим часом f_{i_j} для $j=1\dots k_i$, де $i=1\dots n$ (з напрямку MK_i на CC нерівномірно прибуває k_i контейнерів, груп контейнерів, контейнерних поїздів, де $i=1\dots n$).

Предикатний перехід $t_{1_n}^{\langle MK_{n_k}, CC_j \rangle}$ моделює прибуття контейнерів з k -го рівня позиції k_i -го рівня P_{MK_n} , з якого вилучається k_{1_n} фішок (контейнерів), де k_{1_n} – вага вхідної дуги переходу, на j -й рівень предикатної позиції m -го рівня P_{CC} , на який добавляється k_{2_n} фішок (контейнерів), де k_{2_n} – вага вихідної дуги переходу.

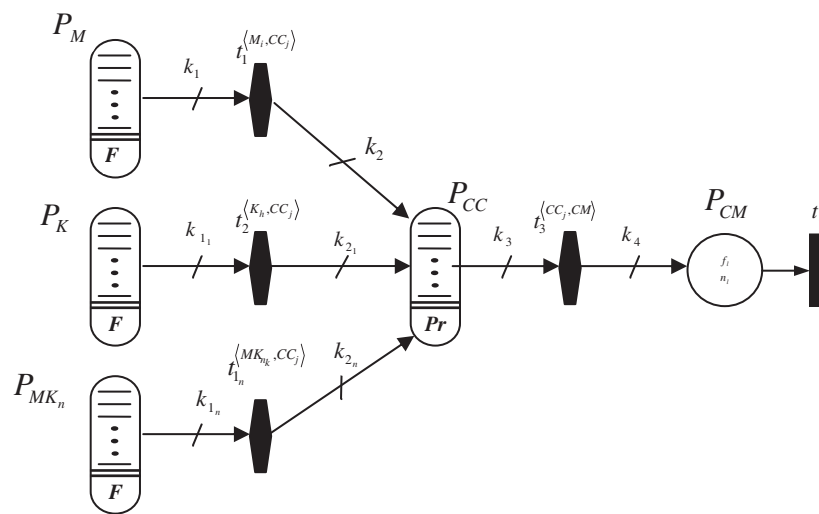


Рис. 3. Підсистема формування контейнерних поїздів у системі КТ

Позиція P_{CC} моделює CC . Предикатна позиція P_{CC} m -го рівня, де $m = \sum m_i$ моделює послідовність обслуговування заявок (обробка перевізних документів, відчеплення платформ з контейнерами та накопичення їх для формування групи вагонів для подальшого відправлення розробленим графіком на станцію, де буде проводитись митний огляд, наприклад, на станцію Коростень). Позицію P_{CC} будемо називати генератором з напрямків MK_i , де $i=1\dots n$, який регулює обслуговування заявок. На сортувальній станції здійснюється об'єднання основного складу поїзда, який сформований станціями Одеського регіону та групи вагонів з контейнерами, завантаження яких провадилось станціями Донецьк-Ліски, Луганськ-Ліски, Харків-Ліски, Дніпропетровськ-Ліски з контейнерними терміналами.

Вихідний предикатний перехід $t_3^{\langle CC_j, CM \rangle}$ задається предикатом $\langle CC_j, CM \rangle$: перший параметр CC_j вказує на j -й рівень позиції m -го рівня P_{CC} , з якого вилучається k_3 фішок (контейнерів), де k_3 – вага вхідної дуги переходу; другий параметр CM формально вказує на позицію P_{CM} , в яку добавляється k_4 фішок (контейнерів), де k_4 – вага вихідної дуги переходу.

Позиція P_{CM} моделює станцію, де проводиться митний огляд (станція Коростень). В позиції P_{CM} заявки затримуються з фіксованим часом f_2 (середній час митного огляду). Перехід t_4 моделює відправлення контейнерного поїзда за кордон.

Приведена мережа Петрі є обмеженою, оскільки всі позиції вузлів є обмеженими. Обмеженість досліджує виконання умови, що кількість «фішок» (контейнерів) в позиції не перевищує заданого числа (пропускна здатність елемента системи КТ) [11]. Пропускна спроможність системи КТ – це кількість контейнерних поїздів, яку може пропустити через себе система за одиницю часу. Контейнерні поїзди повинні мати свої нитки графіка і курсувати у визначений час, тоді це буде цікаво для вантажовідправника. Чіткий термін доставки є немаловажним фактором при виборі виду транспорту вантажовідправниками.

Висновки. Даний підхід до розрахунку інтегрального показника пропускної спроможності системи КТ дозволить визначити, які обсягів контейнерів можуть бути перевезені залізницями через контейнерні термінали в умовах взаємодії всіх видів транспорту, задіяних в перевезенні, що в свою чергу допоможе з визначенням «вузьких місць» та першочергових заходів з їх ліквідації. Це в цілому сприятиме розвитку контейнерних перевезень в Україні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Н. П. Журавлев, О. Б. Маликов. Транспортно-грузовые системы: учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2006. – 368 с.
2. Крикавський С. В., Чернописька Н. В. Логістичні системи: навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 264 с.
3. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: учебник для вузов/ Под ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 2002. – 543 с.
4. Правила технічної експлуатації залізниць України, затверджені наказом Міністерством транспорту України №411 від 20 грудня 1996 року, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 25 лютого 1997 р. за № 50/1854.
5. Методичні вказівки до самостійної роботи і практичних завдань з дисципліни «Взаємодія видів транспорту» (для студентів напряму підготовки 6.070101 «Транспортні технології») / Укл.: Бурко Д. Л., Прасоленко О. В. – Харків: ХНАМГ, 2009. – С. 36.
6. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України: Навч.-метод. посіб./ Розробники О. Ф. Вергун та ін. – К.: Транспорт України, 2002. – 376 с.: іл.
7. Дослідження операцій. Практичний курс: навч. посіб. / В. Є. Березовський, М.М. Гузій, В. М. Дякон, Л. Є. Ковальов, М. О. Медведєва – Умань: Видавець «Сочінський», 2011. – 238 с.
8. Ржевський С. В., Александрова В. М. Дослідження операцій: Підручник. – К.: Академвидав, 2006. – 560 с. (Альма-матер).
9. Смахов А. А. Введение в логистику. – М.: Транспорт, 1993. – 112 с.
10. Котов В. Е. Сети Петри. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.
11. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с., ил.
12. Селецький В. С. Застосування математичного апарату мереж Петрі на залізничному транспорті // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 2. – С. 3 – 6.

*Віктор Мироненко
Галина Висоцька
Оксана Родкевич
Розалія Щербина*

БАЗОВА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТРАНЗИТНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ

Проаналізовано динаміку та структуру транзитних перевезень залізницями України. На основі проведеного аналізу факторів, що впливають на обсяг транзитних перевезень, запропоновано базову математичну модель транзитного вантажопотоку.

Проанализирована динамика и структура транзитных перевозок железными дорогами Украины. На основе проведенного анализа факторов, влияющих на объем транзитных перевозок, предложено базовую математическую модель транзитного грузопотока.

The dynamics and structure of transit transportation by railways of Ukraine have been analyzed in the article. The basic mathematical model for transit freight flows has been proposed by authors having been grounded on the analysis of the factors influencing the transit traffic amount.

Ключові слова. Транзит вантажів, залізничний транспорт, пропускна спроможність, математична модель, транспортний тариф, швидкість транзиту.

Останні п'ять років відзначилися драматичними змінами на ринку транзитних вантажних перевезень залізничного транспорту та інших складових транспортно-логістичного комплексу України. Ці зміни не дають підстави і надалі оптимістично стверджувати: «Україна – транзитна держава». Адже транзитні потоки вантажів усе частіше їй обминають, про що свідчать дані, наведені в табл. 1 та на рис. 1.

Дані, наведені в табл. 1, вражають. Так, у першому півріччі 2012 року транзит вантажів морським транспортом скоротився порівняно з першим півріччям 2011 року більш як у 3 рази! Такого не було навіть у розпал світової економічної кризи, адже у 2009 році транзит вантажів морським транспортом скоротився порівняно з 2008-м менш як у 2 рази (54,5 % від 2008 року) [1].

Залізничний транспорт – основний перевізник міжнародних транзитних вантажів – так і не досяг докризових обсягів перевезень, при цьому поточний 2012 рік не дає підстав для оптимізму.

Структура перевезень транзитних вантажів за їх номенклатурою істотних змін не знає, як і раніше переважають масові вантажі (рис. 2), а от коливання обсягів їх перевезень носить «різноспрямований» характер (рис. 3).

Таблиця 1. Транзит вантажів транспортною системою України [1]

Перевезення транзитних вантажів	Перевезено транзитних вантажів за січень-червень 2012 р., тис. т	У % до січня-червня 2011р.
Всіма видами транспорту	68618,09	83,0
у тому числі:		
залізничним ²	22362,96	87,1
автомобільним ³	2928,61	127,9
морським ⁴	793,59	29,5
річковим	-	-
авіаційним	1,58	130,2
трубопровідним ⁵	42286,48	81,4
інше ⁶	244,87	457,2

¹ Дані наведено на основі інформації Державної митної служби України.

² З урахуванням контейнерів на залізничних вагонах.

³ З урахуванням контейнерів на вантажних автомобілях.

⁴ З урахуванням контейнерів на морських судах.

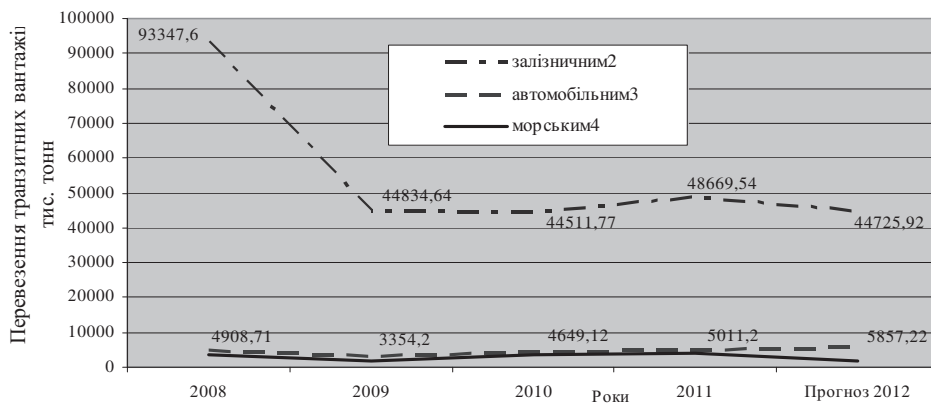
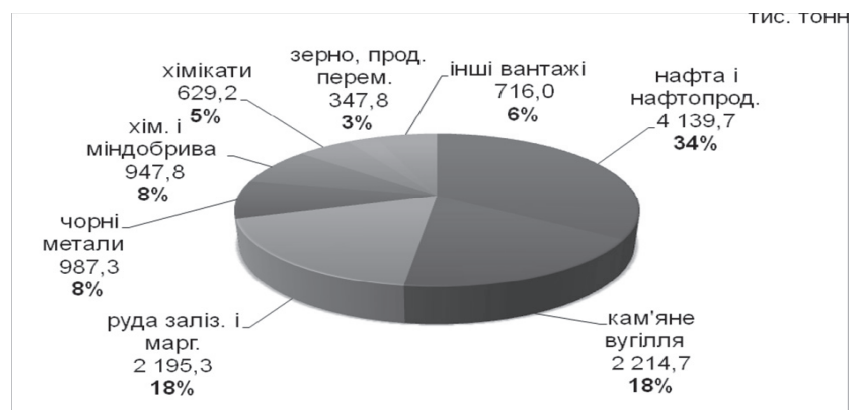


Рис. 1. Динаміка транзитних перевезень вантажів основними видами транспорту України



Всього: 12,2 млн. тонн

Рис. 2. Структура вантажних транзитних перевезень територією України залізничним транспортом у I кварталі 2012 року

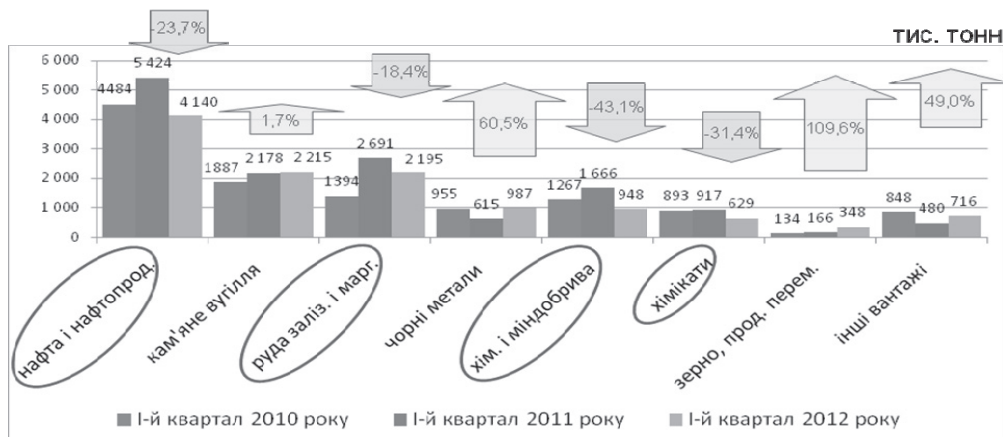


Рис. 3. Динаміка обсягів вантажних транзитних перевезень територією України залізничним транспортом за номенклатурою вантажів

Що відбувається з транзитом? Що впливає на транзит? Деякі причини нібито лежать на поверхні, про них можна дізнатися з різних аналітичних джерел, зокрема з інтернету (http://www.tracesca-org.org/fileadmin/fm-dam/TAREP/52jh/52jh6_ru.pdf та ін.).

Зокрема, у 2008-2010 роках відбулось драматичне скорочення обсягів транзитних вантажопотоків, які пройшли через українські порти – з 69 млн т у 2007 р. до 44,2 млн т у 2010 р. Однією з причин втрати 25 млн т транзиту стала відміна в 2008 р. знижок на перевалку транзитних вантажів. У 2011 р. транзит через українські порти і термінали збільшився після трьох років скорочення. Зростання склало 7,5% (3,34 млн т) – до 47,6 млн т, при цьому у державних морських торговельних портах обсяги транзиту зросли на 20,4% (до 39,8 млн т). Однак обсяги вантажопотоків з основної для України країни походження транзиту – Російської Федерації – не повернулись. Вони зросли лише на 0,3 млн т за рахунок зростання обсягів деяких сухих вантажів (зерна, хімічних, контейнерних). Якщо врахувати інтенсивне будівництво в південних російських портах нових перевалочних потужностей, то перспективи російського транзиту через українські порти не виглядають обнадійливими.

Разом з тим, перевалка російських зовнішньоторговельних вантажів як у російських, так і в іноземних портах за останнє десятиріччя більше ніж подвоїлась – з 270,5 млн т у 2001 р. до 639,4 млн т у 2011 р. (у т.ч. в Прибалтиці – 69,7 млн т і в Україні – 34,2 млн т). У чорноморсько-азовських портах Росії у 2011 р. перероблено 172,8 млн т. Однак відповідно до федеральної цільової програми «Розвиток транспортної системи Росії (2010–2015 рр.)» (http://rosavtodor.ru/information/Osnovnye_programmy/ftsp_razvitie_transportnoy_sistemy_rossii_2010_2015_godyi.html) пропускна спроможність портів Півдня Росії повинна перевищити 250 млн т вантажів. За оцінками керівника Федерального агентства морського і річкового транспорту Росії, це дозволить повністю задовольнити перспективні потреби російської економіки в перевалці зовнішньоторговельних вантажів на півдні країни, при цьому буде створено 15% резервних потужностей.

Додамо до цього активну конкурентну боротьбу за вантажі між портами України і Росії на Чорному морі.

Якщо на ці та інші зовнішні фактори, що суттєво впливають на транзитні вантажопотоки України, неможливо вплинути, то їх необхідно принаймні врахувати, щоб відповісти на запитання – від чого залежить величина і напрямок транзитного потоку. Спробуємо у цьому розібратися за допомогою схеми, наведеної на рис. 4.

Можна сказати, що суттєвих, основоположних факторів впливу на транзит не так і багато. Усі вони показані у верхній частині рис. 4 (від них виходять стрілки, безпосередньо спрямовані на блок, позначений як «ТРАНЗИТ, Q»). Назви цих факторів скорочені, при цьому вони відображають саму суть впливу фактора.

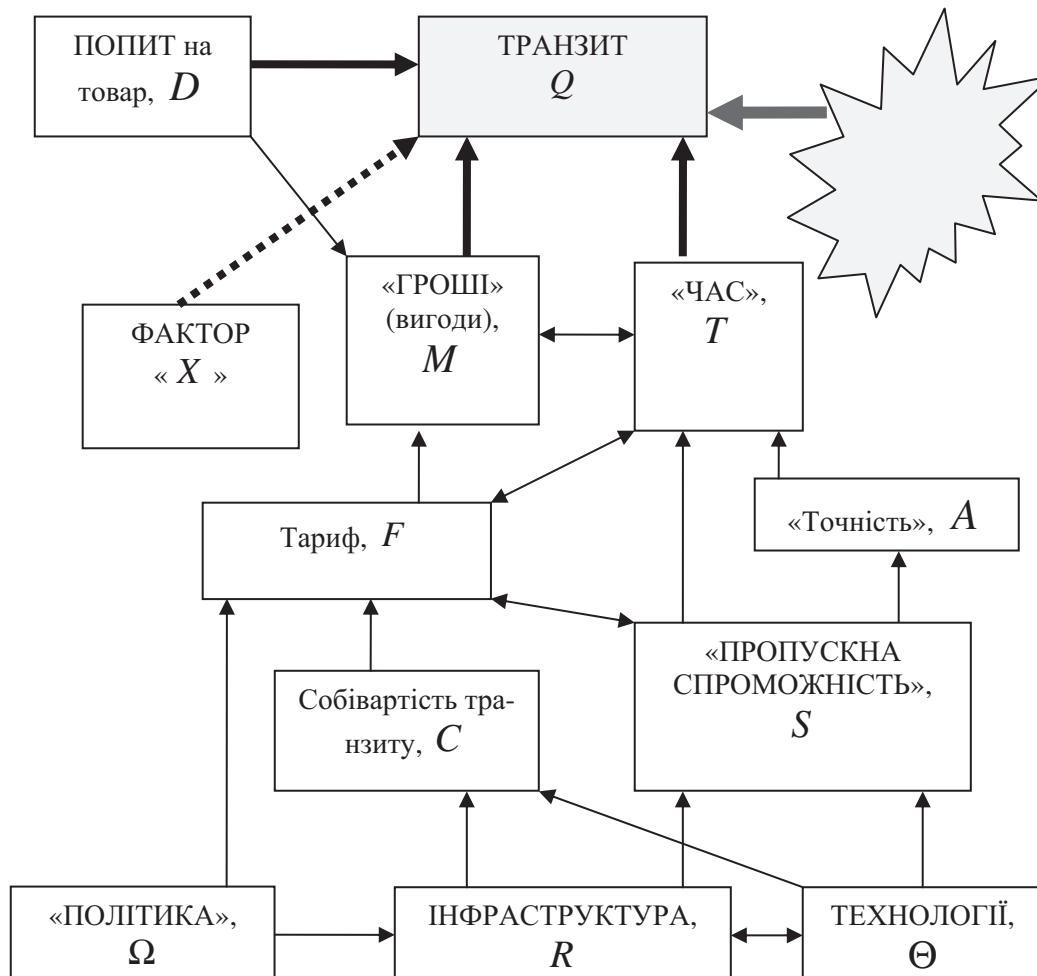


Рис. 4. Модель системи факторів впливу на транзит вантажу

Дійсно, аксіомою є те, що транзитні вантажопотоки і перевезення відбуваються не самі по собі, а виникають лише тоді, коли за їх допомогою переміщуються певні товари (для транспорту – вантажі) з товарного ринку, де вони продаються за однією ціною, на інший товарний ринок, де їх купують за ціною, вищою на величину ΔP (це питання розглянуто раніше [2]). Якщо такої ринкової різниці цін не існує, то не буде й перевезення, тому що відсутній «ПОПИТ на товар, D ».

Безпосередній (хоча не обов'язково лінійний, пропорційний) вплив на транзит мають фактори, які звичайно згадуються «в парі» – «ЧАС» і «ГРОШІ». Очевидно, чим більші вигоди в грошовому чи іншому вимірі отримує від транзитного перевезення вантажовласник, тим більшим (за інших рівних умов) буде транзитний потік. Чим менша тривалість транзиту, менші її відхилення від певної розрахункової чи договірної величини, тим більшим буде транзитний вантажопотік, знову ж таки за інших рівних умов. Очевидно, транзитні вантажопотоки зменшуються чи зникають при настанні форс-мажорних обставин, таких як військові дії, напади піратів на торговельні судна чи замерзання акваторії портів. Усі інші чинники, якими не можна пояснити зміну величини транзиту, належать до групи «ФАКТОР X ». Це можуть бути, наприклад, непередбачені або незадокументовані додаткові витрати, пов'язані з транзитом, у тому числі й витрати корупційного характеру.

Спробуємо пов'язати згадані фактори у математичну модель виду

$$Q = f(D, M, T, N, \dots),$$

де Q – транзитний вантажопотік, т/доба, а інші фактори впливу враховуються за допомогою таких параметрів:

N – максимальна (за станом інфраструктури і технологій) пропускна спроможність маршруту транзиту, т/доба;

D – попит на товар, що є вантажем на маршруті транзиту, який визначається ємністю ринку покупця (кінцевого імпортера);

y – ставка банківського кредиту, % річних;

T – розрахункова тривалість транзиту за маршрутом, доба;

Δ_T – «точність» виконання розрахункового терміну доставки, доба;

ΔP – різниця цін на товар на ринках покупця і продавця (ринковий потенціал товару, що перевозиться транзитом, \$/тонна або в інших грошових одиницях);

F – транспортний тариф та інші витрати, безпосередньо пов'язані з транспортуванням товару, що перевозиться, по усьому маршруту транзиту (крім витрат, що відносяться на «фактор X »), у тих самих грошових одиницях;

X – витрати, що відносяться на «фактор X » (корупція, злочинність, інші «тіньові» витрати), у тих самих грошових одиницях.

Економіко-математична модель транзиту базується на таких припущеннях.

1. Максимальний потік транзиту обмежується пропускною спроможністю маршруту транзиту.

2. Використання (заповнення) пропускної спроможності маршруту на всі 100 % неможливе (необхідні резерви пропускної спроможності), але воно буде тим більшим, чим більший попит на товар (вантаж), що перевозиться транзитом і менші відхилення від розрахункової тривалості транзиту.

3. Попит на товар (вантаж), що перевозиться транзитом, залежить прямо – від максимально можливої різниці цін на цей товар, що існує між товарними ринками, які поєднує маршрут транзиту і обернено – від величини транспортного тарифу та інших витрат, безпосередньо пов'язаних з транспортуванням товару, а також тривалості транспортування.

Такі логічні припущення відображаються базовою математичною моделлю, записаною за допомогою системи рівнянь (1) – (5).

$$Q = N(1 - e^{-Z}); \quad (1)$$

$$Z = \frac{D}{N} \left(\frac{w - X}{F} - 1 \right) \left(\frac{T - \Delta_T}{T + \Delta_T} \right); \quad (2)$$

$$w = \Delta P \cdot Y^{-y}; \quad (4)$$

$$Y = 1 + \frac{y \cdot T}{365 \cdot 100}, \quad (5)$$

Модель буде надалі уточнюватися на основі цих вихідних співвідношень величин факторів, що до неї входять.

Проміжна величина w , що розраховується за формулою (4) – це «максимальна вигода», яку може отримати вантажовласник завдяки переміщенню товару з ринку продавця на ринок покупця при ринковій різниці цін ΔP , з урахуванням плати за кредит y % річних і тривалості транзиту T діб.

З рівняння (2) витікає наведена нижче умова (6), без виконання якої ніякий транзитний потік взагалі неможливий, тому що перевезення буде економічно не доцільним:

$$w > F + X. \quad (6)$$

Маршрути, технології перевезень, ціни, тарифи, що не відповідають умові (6), не розглядаються.

Величина T (розрахункова тривалість транзиту за маршрутом) визначається за формулою (7) з урахуванням логістичної характеристики «точність» виконання розрахункового терміну доставки Δ_T (виведення формули (7) не наводиться):

$$T = \frac{1}{2} \left[\frac{L}{V} + \sqrt{\left(\frac{L}{V} \right)^2 + 4 \cdot \Delta_T \frac{L}{V}} \right], \quad (7)$$

де L – довжина маршруту транзиту вантажу, км;
 V – середня комерційна швидкість транзиту вантажу на маршруті, км/доба;
 Δ_T – «точність» виконання розрахункового терміну доставки, доба.

Ці величини визначаються як:

$$L = \sum_{i=1}^m l_i, \quad (8) \quad \text{та} \quad V = \frac{\sum_{i=1}^m l_i}{\sum_{i=1}^m (t_i + \frac{l_i}{v_i})}, \quad (9)$$

де l_i – довжина i -го відрізка маршруту ($i = 1, 2, \dots, m-1, m$), км;

v_i – середня комерційна (дільнична) швидкість транзиту на i -му відрізку маршруту, км/добу;

t_i – середня тривалість простою транспортного засобу з товаром (транзитним вантажем) на терміналі (в порту, на кордоні, на стику видів транспорту тощо), що є початком i -го відрізка маршруту, доба.

Після розрахунків за формулами (8) та (9) визначається проміжна величина L/V , потім відносно неї приймається така величина Δ_T , яка є досяжною з певною надійністю (ймовірністю) при даному стані інфраструктури та технологій, а також інших факторів, що впливають на транзит на даному маршруті.

Величина F (транспортний тариф та інші витрати, безпосередньо пов'язані з транспортуванням товару) визначається як:

$$F = \sum_{i=1}^m E_i + \sum_{i=1}^m G_i l_i, \quad (10)$$

де E_i – величина «потонних» (незалежних від відстані l_i) тарифів та інших витрат (крім «фактору X ») для i -го відрізка маршруту ($i = 1, 2, \dots, m-1, m$), \$/тонна або в інших грошових одиницях;

G_i – величина «тонно-кілометрових» (залежних від відстані l_i) тарифів та інших витрат (крім «фактору X ») для i -го відрізка маршруту, \$/тонно-км або в інших грошових одиницях.

Тарифи та витрати, що враховуються згідно з формулою (10) – це офіційні (відкриті, публічні) витрати, на відміну від витрат «фактора X ».

При аналізі формули (1) слід розглядати два випадки:

1) $N < D$, тобто пропускна спроможність маршруту N не задовольняє попит на перевезення D за величиною (пропускної спроможності недостатньо);

2) $N \geq D$, тобто попит D за величиною не більший за пропускну спроможність N (пропускної спроможності достатньо), є резерви пропускної спроможності.

Слід зазначити, що сучасним українським реаліям (зменшення обсягів транзиту) більше відповідає другий випадок. Хоча і перший випадок – нестача пропускних спроможностей на окремих напрямках – також є досить типовим.

ЛІТЕРАТУРА

1. Офіційний сайт Державної служби статистики України <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
2. Планування транзитних перевезень вантажів залізницями України з урахуванням конкуренції на транспортних і товарних ринках. – Мироненко В.К., Висоцька Г.С. // Вісник ЦНЦ ТАУ. Окремий випуск // № 13. – 2010. – С. 38 – 40.

*Віктор Мироненко
Олексій Горецький
Розалія Щербина
Ольга Якобчук*

СИСТЕМНІ ЧИННИКИ ВПЛИВУ НА МІЖНАРОДНІ ТРАНЗИТНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЦЯМИ УКРАЇНИ

В статті подано аналіз чинників, що впливають на динаміку та прогноз транзитних перевезень вантажів залізницями України через порти. Наводиться коротка характеристика національних стратегій України та Росії щодо подальшого розвитку та функціонування морського транспорту. Виявлено зв'язки між обсягами транзитних перевезень залізницями України та обсягами переробки всіх морських портів Російської Федерації та портів Чорноморсько-Азовського регіону Росії, України та Румунії (порт Констанца). Запропоновані математичні моделі для прогнозу транзитних перевезень вантажів залізницями України в цілому та через її порти.

В статье представлен анализ факторов влияния на динамику и прогноз транзитных перевозок грузов железными дорогами Украины через порты. Приводится краткая характеристика национальных стратегий Украины и России относительно дальнейшего развития и функционирования морского транспорта. Выявлены связи между объемами транзитных перевозок железными дорогами Украины и объемами переработки всех морских портов Российской Федерации и портов Черноморско-Азовского региона России, Украины и Румынии (порт Констанца). Предложены математические модели для прогноза транзитных перевозок грузов железными дорогами Украины в целом и ее порты.

The paper presents an analysis of the factors influencing the dynamics and forecast of transit cargo flows via Ukraine's ports and railways. A brief description of national policies in Ukraine and Russia for the further development and operation of maritime transport is also presented. The relationship between the volume of cargo transit by railways of Ukraine and the volumes of freight turnover in sea ports of Russia and in the Azov-Black Sea region, ports of Ukraine and Romania's Constanta port has been analyzed. The mathematical model for the prediction of freight transit flows via railways of Ukraine as a whole and via its ports is developed.

Ключові слова: транзит вантажів, залізниці України, вантажообіг порту, Чорноморські порти, Транспортна стратегія України, прогноз перевезень.

Аналіз сучасного стану транзитних перевезень залізничним транспортом, на жаль, свідчить про те, що залізниці України починають втрачати свої позиції на ринку транзитних транспортних послуг. Те саме стосується і транзитних перевезень через морські порти України, що нерозривно пов'язані із залізницею. Очевидно, що обсяги міжнародних транзитних перевезень вантажів залізницями та їх переробка морськими портами України є величинами, системно пов'язаними між собою. Разом з тим, вони знаходяться під впливом зовнішніх системних чинників, наприклад, ринкової кон'юнктури.

© Мироненко В. К., Горецький О. А., Щербина Р. С., Якобчук О. А., 2012

Проблеми, що виникли у сфері морського транспорту, спонукали Кабінет Міністрів України в 2008 р. схвалити Стратегію розвитку морських портів України на період до 2015 року [1]. Вона передбачає заходи щодо підвищення конкурентної спроможності морських перевезень України, такі як, наприклад, будівництво нових та модернізація існуючих потужностей портів, підвищення ефективності управління галузі, створення логістичних центрів тощо. Привабливість морських перевезень через Україну буде стимулюватися і транзитними перевезеннями залізничним транспортом, що підвищить і його доходи.

Стосовно взаємодії залізниць з морськими портами Транспортна стратегія України [2] передбачає розбудову міжнародних транспортних коридорів, створення єдиних логістичних центрів у місцях зародження великих вантажопотоків, здійснення структурних реформ на транспорті, удосконалення системи безпеки та формування державного нагляду в даній сфері. Очевидно, що для підвищення ефективності транспортної системи необхідна ще й програма комплексного оновлення та модернізації транспорту, яка передбачатиме комплекс заходів з нормативно-правового забезпечення та створення сприятливого інвестиційного клімату з урахуванням бюджетних та небюджетних джерел інвестування.

Основним конкурентом на регіональному міжнародному транспортному ринку для України є, звичайно, Росія. Вона інтенсивно рухається в бік здійснення своїх експортних відправок через потужності своїх морських портів. Для підвищення потужності та покращення своєї інфраструктури Урядом Російської Федерації було прийнято «Постановление о федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010 – 2015 годы)» [3]. Зростання переробної спроможності морських портів півдня Росії і створення її резерву надзвичайно негативно впливає на транзитні перевезення залізничним транспортом України, що призводить до втрат обсягів перевезень та доходів як залізничного, так і морського транспорту. Дійсно, статистика останніх років, дослідження свідчать [4], що з кожним роком падає переробка транзитних вантажів в портах України.

Наслідки світової економічної кризи спонукали уряди України та Російської Федерації переглянути і стратегію розвитку морських портів України і федеральну цільову програму. Результатом оптимізації стали «Транспортна стратегія України на період до 2020 року» та «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года» [5].

Наведемо стислий порівняльний аналіз цих Стратегій для залізничного та морського видів транспорту Російської Федерації та України в цілому та її портів.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз заходів щодо забезпечення збільшення експорту транспортних послуг відповідно до програмних документів України та Російської Федерації

Україна	Російська Федерація
Мета Транспортної стратегії	
Створення умов для соціально-економічного зростання, підвищення конкурентоспроможності національної економіки і життєвого рівня населення завдяки забезпеченню якості транспортних послуг та задоволенню соціальних, зовнішньоторговельних, оборонних та природоохоронних потреб суспільства	Сприяння економічному зростанню та підвищенню добробуту населення через доступ до безпечних і якісних транспортних послуг і перетворення географічних особливостей Росії в її конкурентні переваги
Стратегічні цілі	
1. Розвиток транспортної інфраструктури та модернізація рухомого складу для забезпечення зростаючої мобільності населення та прискорення переміщення товаропотоків. 2. Забезпечення якості та конкурентоспроможності транспортних послуг для економіки.	1. Розвиток сучасної, розвиненої і ефективною транспортної інфраструктури. 2. Підвищення доступності послуг транспортного комплексу для населення. 3. Підвищення конкурентоспроможності транспортної системи Росії і реалізація тран-

<p>3. Інтеграція до Європейського Союзу і розвиток експорту транспортних послуг.</p> <p>4. Підвищення ефективності державного управління та розвиток конкурентного середовища</p>	<p>зитного потенціалу країни.</p> <p>4. Підвищення комплексної безпеки і стійкості транспортної системи.</p> <p>5. Поліпшення інвестиційного клімату і розвиток ринкових відносин у транспортному комплексі</p>
<p>Пріоритети Транспортної стратегії для залізничного (ЗТ) та морського (МТ) транспорту</p>	
<p>ЗТ: - реформування залізничного транспорту;</p> <ul style="list-style-type: none"> - розмежування господарських функцій та функцій державного управління; - впровадження рухомого складу нового покоління та модернізація існуючого, з більш високим рівнем сервісних, технічних та економічних показників експлуатації; - подальший розвиток залізничної інфраструктури який здійснюватиметься; - інтенсифікація та вдосконалення технологій перевезень пасажирів і вантажів здійснюватимуться; - інноваційний розвиток і вдосконалення науково-технічного та кадрового потенціалу. <p>МТ: - технічна та технологічна модернізація морського транспорту відповідно до міжнародних стандартів та вимог до портів;</p> <ul style="list-style-type: none"> - підвищення конкурентоспроможності транспортної системи України і реалізація транзитного потенціалу країни; - реформування системи управління морським транспортом, ефективне використання державного майна, залучення приватного капіталу для розвитку портових комплексів; - підвищення безпеки мореплавства та забезпечення екологічної безпеки; - інноваційний розвиток і формування національного кадрового потенціалу 	<p>ЗТ: - оновлення і модернізація основних виробничих фондів;</p> <ul style="list-style-type: none"> - розвиток інформаційно-керуючих систем; - модернізація та впровадження пристроїв автоматики, сигналізації, телемеханіки, зв'язку, електропостачання, що дистанційно діагностуються і мало обслуговуються; - розвиток комплексних систем, що забезпечують безпеку залізничних перевезень; - розширення пропускної спроможності основних напрямків мережі залізниць, завершення заходів щодо інтеграції з інфраструктурою міжнародних транспортних коридорів; - розширення існуючих і будівництво нових залізничних підходів до великих промислових районів, родовищ, портів і аеропортів; - реконструкція та розвиток прикордонних залізничних станцій для забезпечення безперешкодного пропуску поїздів у міжнародному сполученні та створення умов для проведення прикордонного та митного огляду, посилення залізничних підходів до існуючих і споруджуваних морських портів; - розвиток швидкісного (160-200км / год) і високошвидкісного (250-350км / год) пасажирського руху. <p>МТ: - диверсифікація портової індустрії відповідно до перспективних сценаріїв розвитку зовнішньої торгівлі і відповідної їм структурою вантажопотоків, нарощування потужностей для забезпечення експорту наливних вантажів, вугілля, добрив, а також для переробки контейнерів;</p> <ul style="list-style-type: none"> - полегшення формальностей у портах для суден закордонного плавання; - впровадження системи автоматичної обробки даних (ADP) у міжнародному морському судноплаванні; - вдосконалення систем безпеки мореплавства; - відновлення інфраструктури, що забезпечує безпечне судноплавання на трасі Північного морського шляху; - створення нового покоління атомних криголамів; - будівництва інспекційно-доглядових комплексів для митного контролю великогабаритних вантажів; - оновлення і будівництво портового флоту, включаючи портові криголами

Основні напрями реалізації Транспортної стратегії	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Модернізація транспортної системи. 2. Забезпечення конкурентоспроможності та якості транспортних послуг для економіки, шляхом. 3. Підвищення якості послуг пасажирського транспорту загального користування. 4. Європейська інтеграція та розвиток експортного потенціалу транспортних послуг. 5. Підвищення ефективності державного управління 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розвиток ринку транспортних послуг. 2. Розвиток транспортної інфраструктури. 3. Посилення ролі Росії на світовому ринку транспортних послуг. 4. Удосконалення транспортної техніки і транспортних технологій, розвиток транспортного машинобудування. 5. Гармонізація розвитку транспортної системи, підвищення її безпеки. 6. Державне регулювання транспортної діяльності
Проекти	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Збільшення пропускної спроможності залізничного руху в напрямку Криму, а також на напрямку Київ – Трипілля – Миронівка, розвиток паралельного залізничного напрямку Долинська – Миколаїв – Херсон – Джанкой. 2. Впровадження технологій енергозбереження при перевезеннях залізничним транспортом на напрямку Знамянка – Долинська – Миколаїв – Херсон – Джанкой. 3. Будівництво та реконструкція терміналів (перш за все контейнерних) у морських портах. 4. Оновлення портового допоміжного і криголамного флоту та модернізація засобів портової механізації. 5. Створення логістичних центрів у транспортних вузлах зі значними вантажопотоками. 6. Будівництво другої черги глибоко-водного суднового ходу Дунай – Чорне море 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розвиток поромних ліній на Балтиці. 2. Вихід на повну проектну потужність Балтійської трубопровідної системи в поєднанні зі створенням системи управління рухом суден на Балтиці. 3. Модернізація арктичної транспортної системи. 4. Вихід на проектну потужність портового комплексу в Усть-Лузі. 5. Модернізація Астраханського водотранспортного вузла і портів Махачкала і Оля, розвиток системи поромного сполучення на Каспії в рамках розвитку МТК «Північ-Південь». 6. Комплексна системна модернізація портів Далекого Сходу і залізничних підходів. 7. Будівництво системи трубопроводів з виходом на узбережжя Баренцового моря і причальних комплексів з нафтовими терміналами
Результати реалізації Транспортної стратегії	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Підвищення якості та доступності транспортного обслуговування для населення відповідно до державних соціальних стандартів і нормативів та для економіки держави. 2. Підвищення швидкості руху в межах міжнародних транспортних коридорів на 25 – 30 %, що сприятиме скороченню часу доставки вантажів та пасажирів. 3. Ліквідація вузьких місць та збільшення пропускної спроможності транспортної мережі, в тому числі у морських портах – на 61 % (із 199 до 320 млн тонн). 4. Зменшення рівня зносу рухомого складу за рахунок його оновлення, підвищення рівня комфортності пасажирських перевезень. 5. Скорочення загального обсягу викидів шкідливих речовин в атмосферу на 30 %. 6. Зменшення енергоємності транспорту на 10 – 20 % (залізничного – з 9,57 грамів у.п./прив.ткм до 8,61 грамів у.п./прив.ткм). 7. Транспортна галузь зможе задовольнити потреби економіки і суспільства в якісних транспортних послугах, які відповідають світовим аналогам і створять передумови для подальшого успішного розвитку країни 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Буде завершено створення єдиної опорної транспортної мережі без розривів і «вузьких місць». 2. Потужності портової інфраструктури дозволять забезпечувати до 90-95% зовнішньоторговельних операцій. 3. Вантажоемність ВВП знизиться на 8-10%. 4. Швидкість вантажного сполучення зросте на 15-20%, а в основних міжнародних транспортних коридорах – на 20-30%. 5. Індекс зростання транспортних тарифів не перевищить 0,8-0,9 темпів інфляції. 6. Більше 50% тоннажу контрольованого Росією торгового флоту буде зареєстровано в національних реєстрах. 7. Частка транспорту в забрудненні навколишнього середовища знизиться в півтора рази і складе 22% (в 2003 році в Росії вона становила – 33%, в розвинених країнах - менше 20%). 8. Транзитні перевезення через територію Росії складуть 90-100 млн тонн на рік

Цей порівняльний аналіз свідчить про більш ніж серйозні наміри Росії щодо використання власного транспортного, і особливо транзитного потенціалу (див. п. 8 «Результатів реалізації транспортної стратегії», табл. 1). Ці наміри підкріплені відповідними ресурсами. Неважко побачити географічну спрямованість експортних та транзитних вантажопотоків Росії, в якій жодного разу не згадується про Україну з її транспортними можливостями. Ще більш прагматичний підхід до планування міжнародних вантажопотоків (не на користь України) відображено в транспортній політиці ЄврАзЕС [6]. Тому Україні теж слід шукати адекватних відповідей у транспортній сфері, опираючись на свої ресурси.

Поки ж ситуація з транзитними транспортними вантажопотоками Чорноморсько-Азовського регіону така:

за 9 місяців 2012 р. морськими портами України оброблено 113195,4 тис. т вантажів, з них транзитних – 28946,0 тис. т, експортних – 70667,8 тис. т, імпортних – 12381,5 тис. т, у внутрішньому сполученні – 1200,1 тис. т вантажу. Порівняно з аналогічним періодом 2011 р. спостерігається загальне збільшення обробки вантажів морськими портами на 0,8 %, але за деякими видами сполучень обробка вантажів суттєво скоротилася: імпортні – на 12,4 %, внутрішні – на 45,6 %, транзитні – на 20 %.

Вантажообіг українських портів протягом 2002 – 2011 рр. та прогноз на 2012 р. за існуючими тенденціями за видами сполучень досить неоднорідний, що можна побачити на рис. 1.

Таблиця 2. Прогноз вантажообігу портів України, млн тонн

Роки	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Прогноз 2012
Експорт	65,436	70,698	68,391	63,86	76,261	88,082	87,574	85,9975	84,80136
Імпорт	11,675	13,331	15,231	18,784	21,139	12,839	17,598	19,6922	14,8578
Транзит	50,004	50,556	53,198	69,167	66,286	52,164	43,209	47,6164	34,7352
Внутрішні перевезення	4,646	4,401	3,79	6,108	5,909	4,096	7,178	8,3409	1,44012
Всього	131,761	138,986	140,61	157,919	169,595	157,181	154,832	162,264	135,8345

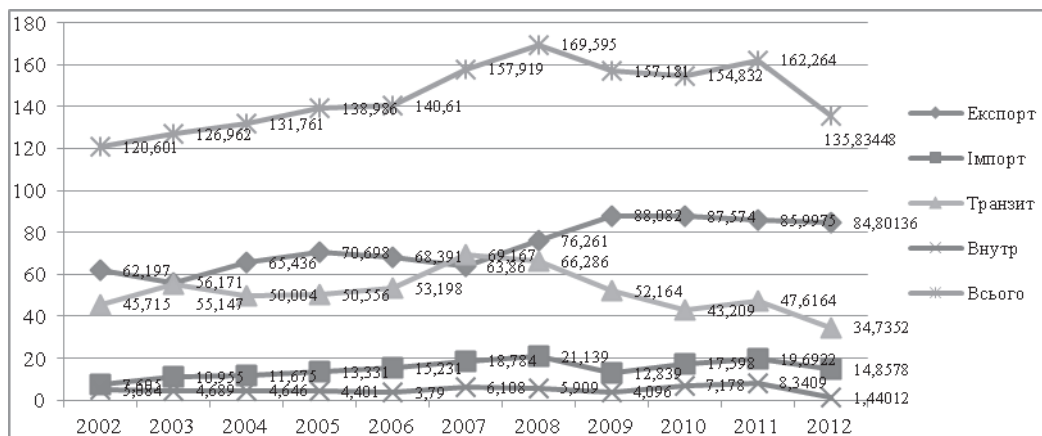


Рис. 1. Вантажообіг українських портів у 2002 – 2012 рр.

З 2008 р. спостерігається поступове падіння транзитних перевезень морським транспортом, що відображається на завантаженні переробних потужностей портів та транзитних перевезень залізничним транспортом. В чому причини цього падіння? З цих причин наочевидніша відображена на рис. 2 – це значне збільшення переробки вантажів російським чорноморськими портами саме в кризові та післякризові роки. Відомо, що цей процес відбувався цілеспрямовано, саме шляхом перенаправлення російського експорту на

російські чорноморські морські порти, в яких під час кризи звільнилися переробні спроможності, а не українські, як було перед кризою.

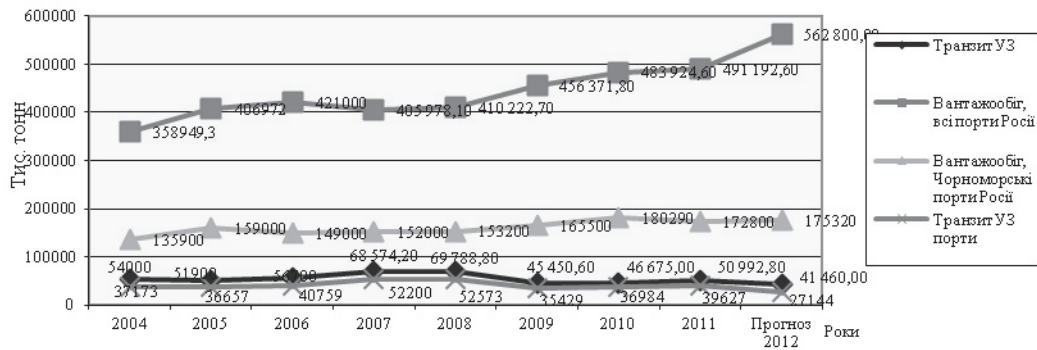


Рис. 2. Динаміка транзиту вантажів УЗ через порти у співставленні з вантажообігом морських портів Російської Федерації

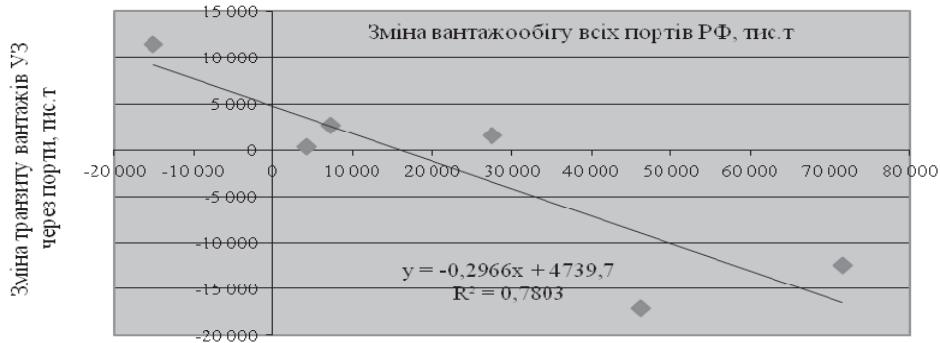


Рис. 3. Залежність зміни транзиту вантажів УЗ через порти від зміни вантажообігу всіх портів РФ

Як видно з рис. 2 та 3, існує суттєва залежність між зміною транзиту УЗ через порти України та загальним вантажообігом всіх портів Російської Федерації. Наслідок цього – зниження транзиту через порти України та через її залізниці. Існує незаперечна кореляція між збільшенням переробки вантажів російськими портами і зменшенням перевезень транзитних вантажів українськими залізницями. Ця кореляція досить сильна, коефіцієнт апроксимації дорівнює $R^2 = 0,7803$.

Таблиця 3. Прогноз вантажообігу портів України та Чорноморських портів РФ, млн тонн

Вантажообіг	Роки							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Прогноз 2012
Вантажообіг, Чорноморські порти Росії	131,76	267,66	152	153,2	165,5	180,29	172,8	175,32
Вантажообіг, порти України	138,99	297,99	157,9	169,6	157,2	154,83	162,26	135,8345
Загальний вантажообіг	140,6	289,6	309,9	322,8	322,7	335,12	335,06	311,1545

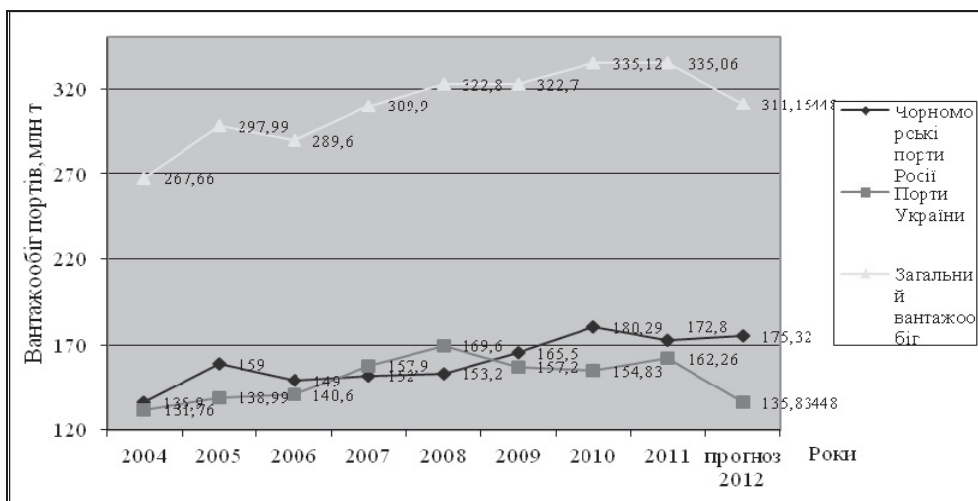


Рис. 4. Динаміка вантажообігу портів Чорноморсько-Азовського басейну Росії та України, млн тонн

Рис. 4 відображає зниження вантажообігу портів Чорноморсько-Азовського басейну у зв'язку зі значним зменшенням вантажообігу саме українських портів. Це не могло не вплинути на транзит залізниць України як в цілому, так і через її порти. Цитуємо за першоджерелом: «В 2011 году через морские порты и терминалы Украины, по данным Госстата, прошло 47,6 млн тонн транзитных грузов, что составляет 30,6 % всего грузооборота. Основные транзитные грузы сегодня — это нефть, нефтепродукты, руда, уголь, зерно, металл, химические, контейнерные грузы. 71,8 % всего транзита приходится на долю внешнеторговых грузов России. И именно за эти грузопотоки реально идет борьба с российскими морскими портами» [7].

Таблиця 4. Прогноз транзиту залізниць України з урахуванням вантажообігу портів Росії, тис. тонн

Вантажообіг	Роки							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Прогноз 2012
Транзит УЗ	51900	56700	68574,20	69788,80	45450,60	46675	50992,8	41 460
Вантажообіг, всі порти Росії	406972	421000	405978,1	410222,7	456371,8	483924,6	491192,6	562 800
Транзит УЗ порти	36657	40759	52200	52573	35429	36984	39627	27144

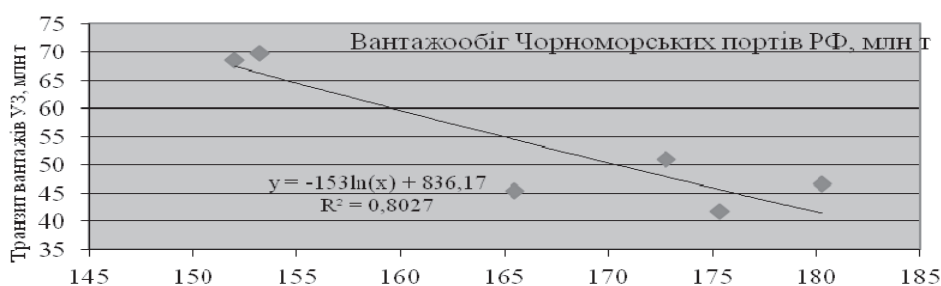


Рис. 5. Залежність транзиту вантажів залізниць України від вантажообігу Чорноморських портів РФ

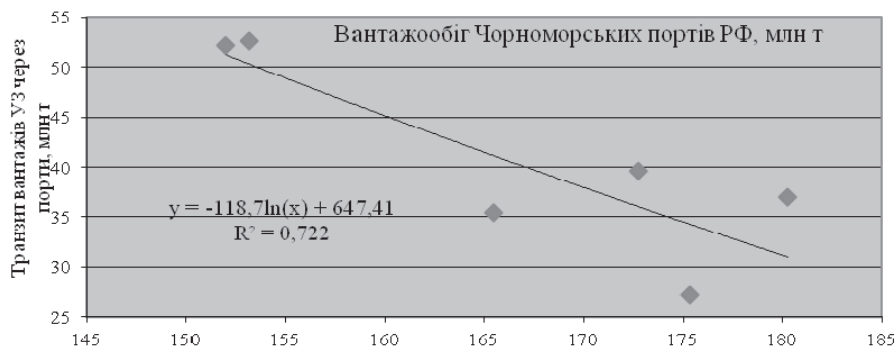


Рис. 6. Залежність транзиту вантажів залізниць України через порти від вантажообігу Чорноморських портів РФ

Як видно з рис. 5 та рис. 6, спостерігається очевидна, сильна залежність падіння транзиту залізниць України від вантажообігу російських портів Чорноморсько-Азовського регіону. При цьому кореляція транзиту залізницями в цілому дорівнює $R^2 = 0,8027$, а через порти $R^2 = 0,722$.

Час від часу виникає питання про можливу конкуренцію з українськими портами ще й з боку румунського порту Констанца [7]. Однак, як свідчить дослідження, у зв'язку з суттєвою залежністю вантажообігу самого порту Констанца від вантажообігу Чорноморських портів Російської Федерації, а також з тим, що цей порт значною мірою орієнтований на переробку «дунайського» вантажопотоку, вплив цього румунського порту на транзит залізниць України через порти майже відсутній (рис. 7).

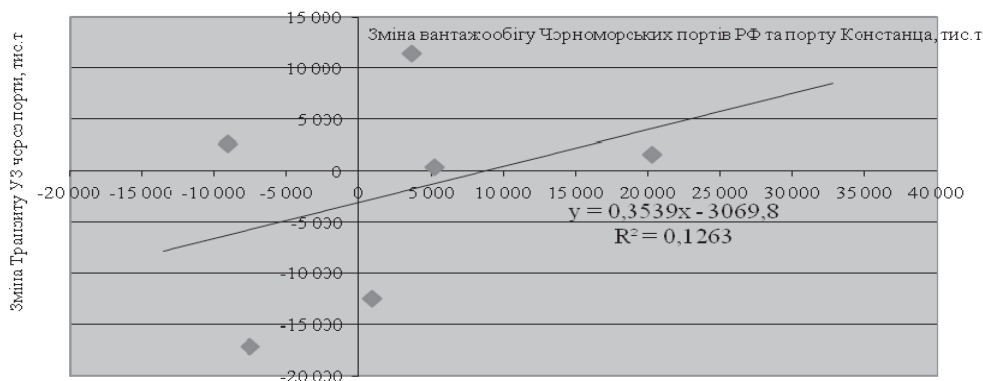


Рис. 7. Зміна транзиту залізниць України через порти залежно від зміни вантажообігу Чорноморських портів РФ та вантажообігу порту Констанца (Румунія)

Для визначення прогнозованих значень обсягів транзитних перевезень залізницями України в цілому та через порти можна використати досить прості моделі прогнозу з високим ступенем достовірності. Використовуючи дані лише про вантажообіг портів Чорноморсько-Азовського регіону Росії, можна визначити загальні обсяги транзитних перевезень вантажів залізницями України.

$$Q_m^{УЗ} = -153 \ln Q_{ЧАП}^{РФ} + 836,17 \quad (1)$$

$$Q_{m\text{ порт}}^{УЗ} = -118,7 \ln Q_{ЧАП}^{РФ} + 647,41 \quad (2)$$

де $Q_m^{УЗ}$ – вантажообіг транзитних перевезень залізницями України в цілому;

$Q_{m\text{ порт}}^{УЗ}$ – вантажообіг транзитних перевезень залізницями України через її порти;

$Q_{ЧАП}^{РФ}$ – вантажообіг чорноморсько-азовських портів Російської Федерації.

Виникає питання достовірності прогнозу за формулами (1) і (2). Її можна оцінити, враховуючи те, що транзит залізниць, вантажообіг портів є випадковими величинами, що залежать від великої кількості факторів, жоден з яких не можна вважати вирішальним. Навіть неповний перелік цих факторів – використання транспортних засобів, продуктивність, провізна здатність, пропускні спроможності залізниць і портів, тарифи, вартість перевантаження, портові збори, час та швидкість доставки, коефіцієнт перевалки, погодні умови, укладені договори, середня відстань перевезень тощо – свідчить, що в сукупності своєї дії на величину транзиту залізниць України ці фактори можна вважати, випадковими (стохастичними). Отже, для описання транзитного вантажопотоку можна використати нормальний закон розподілу, який посідає центральне місце в теорії ймовірностей. Це обумовлено тим, що цей закон проявляється у всіх випадках, коли випадкова величина є результатом дії великої кількості різних факторів. До нормального закону наближаються всі інші закони розподілу [8].

Використовуючи закон нормального розподілу випадкової величини, можемо встановити, що з ймовірністю більш ніж 68 % транзит-залізниць через порти України буде коливатися в межах від 33,2 до 48,2 млн тонн з інтервалом відхилення 7,5 млн тонн. Але, як свідчить тенденція транзитних перевезень, це буде скоріше зниження вантажообігу, ніж його зростання.

Висновки

1. Прогноз транзитних перевезень вантажів залізницями України можна здійснити з урахуванням вантажообігу чорноморських портів Російської Федерації за формулами (1) і (2).

2. Достовірність прогнозу може бути оцінена методами математичної статистики, і в наведеному прикладі вона є задовільною.

3. Прогноз транзитних перевезень вантажів залізницями України за участі морських портів з урахуванням вантажопереробки чорноморських портів Росії показує збільшення резервів пропускної спроможності залізниць України і деяке уповільнення зростання вантажопереробки в портах Росії після 2009 р., що свідчить про можливе збільшення переробки та перевезення транзитних вантажів транспортною системою України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії розвитку морських портів України на період до 2015 року» від 16 липня 2008 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>

2. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року [Електронний ресурс] Затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. N 2174-р. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-p>

3. Правительство Российской Федерации. Постановление от 5 декабря 2001 г. № 848 о федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010 - 2015 годы)»

4. International Political Economy of Black Sea Port Sector: Rivalry between Russia and Ukraine [Електронний ресурс] : HATTORI Michitaka 服部倫卓 / Institute for Russian & NIS Economic Studies (Tokyo) – Режим доступу: www.geocities.jp/.../20100304seoul.pdf

5. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [Електронний ресурс] Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р. – Режим доступу: http://www.mintrans.ru:8080/prensa/TransStrateg_VV.htm

6. Стратегия создания и развития системы международных логистических центров Евразийского экономического сообщества (на период с 2009 по 2020 годы) [Електронний ресурс]. Одобрена 2 декабря 2008 года Решением 15-го заседания Совета по транспортной политике при Интеграционном Комитете ЕвразЭС – Режим доступу: <http://www.evrases.com/docs/view/434>

7. Мифы о порте Констанца Конкуренты // *Константин Ильницький* // [Електронний ресурс] Порты Украины, № 02 (114) 2012 – Режим доступу: <http://www.uports.odessa.ua>

8. Кальман О. Г., Христич І. О. Правова статистика: Підручник для студентів юридичних спеціальностей вищих закладів освіти. – Харків: Право, 2004. – 304 с. – Режим доступу: <http://radnuk.info/pidrychnuku/statustuka/509-kalman/11102-s-2-----.html>

Тетяна Пічкур

СТРАТЕГІЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Розглянуто питання щодо необхідності розробки Стратегії екологічної діяльності на залізничному транспорті України.

Рассмотрен вопрос необходимости разработки Стратегии экологической деятельности на железнодорожном транспорте Украины.

An issue of necessity of developing the Ecologic activity strategy for Ukraine's railways was discussed.

Ключові слова. Залізничний транспорт, довкілля, природоохоронні заходи, екологічна діяльність, стратегія.

Залізничний транспорт є складним виробничо-господарським комплексом. До його складу входять виробничі об'єкти, які безпосередньо виконують перевізний процес, та такі, що забезпечують ритмічну роботу галузі.

Незважаючи на те, що залізничний транспорт серед інших видів транспорту є найекологічнішим, його частка у забрудненні навколишнього природного середовища залишається високою. В першу чергу це проявляється забрудненням повітря, води і ґрунту при будівництві та експлуатації залізниць, а також в результаті викиду шкідливих речовин. По-друге, залізничний транспорт створює шумове та вібраційне забруднення в середовищі проживання людей.

Негативний вплив діяльності залізничного транспорту на навколишнє природне середовище можна знизити лише при планомірному запровадженні природоохоронних заходів. Перш за все, мова повинна йти про реалізацію принципів системного підходу при вирішенні екологічних проблем залізничного транспорту. Відсутність у правовому полі України цілісного системного документа щодо природоохоронної діяльності в залізничній сфері вимагає розроблення Стратегії екологічної діяльності на залізничному транспорті.

Окремі аспекти екологічної діяльності залізничного транспорту знайшли відображення у працях українських вчених та фахівців Диканя В.Л., Дейнеки О.Г., Позднякової Л.О., Каграманяна А.О. [1], Чернюк Л.Г., Пепа Т.В., Чеховської М.М., Ейтутіса Г.Д., Двудіт З.П., Зеленько Ю.В., Процько Я.І., Рибіної О.І. та ін., однак питання необхідності розробки стратегії екологічної діяльності на залізничному транспорті поки що залишилося поза увагою.

Метою статті є обґрунтування необхідності розробки Стратегії екологічної діяльності на залізничному транспорті, визначення основних принципів її побудови, напрямів, основних завдань та механізмів реалізації. Одним з основних пріоритетів Транспортної стратегії України на період до 2020 р., схваленої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р, є стимулювання стійкого розвитку екологічно чистих та енергоефективних видів транспорту і зниження техногенного навантаження транспорту на навколишнє природне середовище [2].

Залізничний транспорт вважається найбільш екологічно чистим видом транспорту, особливо в порівнянні з автомобільним.

© Пічкур Т. В., 2012

Екологічні переваги залізничного транспорту пояснюються широким застосуванням електричної тяги (оскільки викиди забруднюючих речовин від рухомого складу відсутні), низькою питомою витратою палива на одиницю транспортної роботи, меншим відчуженням земель під залізницю в порівнянні з автомобільними дорогами.

Попри це, залізничний транспорт має досить відчутний негативний вплив на стан природного середовища, зокрема, викликає порушення стійкості ландшафтів транспортної інфраструктури шляхом розвитку ерозії та зсувів; забруднює атмосферу відпрацьованими газами; постійно зростає рівень забруднення землі нафтою, свинцем та іншими важкими металами, продуктами видудання та падіння сипучих вантажів (вугілля, цемент). Особливу небезпеку для навколишнього середовища становлять аварії на залізничних шляхах [3].

На залізничному транспорті джерелами викидів шкідливих речовин в атмосферу є об'єкти виробничих підприємств і рухомого складу. Значної шкоди навколишньому середовищу завдають виробничі котельні [4]. Залежно від застосовуваного палива при його згорянні виділяються різні кількості шкідливих речовин. Приготування в депо сухого піску для локомотивів, його транспортування та завантаження в тепловози супроводжується виділенням в повітряне середовище пилу і газоподібних речовин. Нанесення лакофарбових покриттів сприяє виділенню в атмосферу парів розчинників, аерозолів, фарби. Колійна техніка та тепловози при спалюванні палива з вихлопними газами також виділяють шкідливі речовини.

Вода використовується в багатьох технологічних процесах залізничного господарства. В процесі використання на підприємствах вода забруднюється домішками і переходить в розряд виробничих стічних вод, які найчастіше, токсичні для навколишнього природного середовища. Наприклад, виробничі стічні води локомотивного депо, які утворюються в процесі зовнішньої обмивки рухомого складу, при промиванні вузлів деталей, акумуляторів, миття оглядових каналів, прання спецодягу, в основному містять завислі частки, нафтопродукти, бактеріальні забруднення, кислоти, луги, поверхнево-активні речовини (ПАР) [4].

Підприємства залізничного транспорту (локомотивні та вагонні депо, території промивних станцій, залізничні станції, пункти підготовки пасажирських вагонів, шпалопроочувальні заводи та ін.) займають значні території. Найпоширенішими їх забруднювачами є нафта, нафтопродукти, мазут, паливо, мастильні матеріали. Причиною забруднення залізничних шляхів нафтопродуктами є витік їх з цистерн, несправних котлів, при заправці колісних букс.

Забруднення навколишнього середовища в результаті аварій при перевезеннях екологічно небезпечних вантажів, різними сипучими вантажами при їх завантаженні, розвантаженні і транспортуванні, сміттям і відходами підприємств залізничного транспорту, все це негативно позначається на стані навколишнього природного середовища.

Не менш важливий забруднюючий фактор – шум і вібрації. Інтенсивний рух поїздів поблизу ліній житлової зони негативно впливає на акустичний клімат населених пунктів та житлових приміщень. Рівні шуму від рухомого складу ліній залізниці, що проходять поблизу житлової зони, перевищує всі припустимі норми. Одним з джерел вібрації в будинках є транспортні засоби, що при роботі створюють великі динамічні навантаження і викликають поширення вібрації в ґрунті та будівельних конструкціях будинків. Ці вібрації дуже часто є причиною виникнення шуму в приміщеннях будинків.

Останнім часом в залізничній галузі розробляється та реалізовується низка заходів, спрямованих на підвищення ефективності її природоохоронної діяльності. Але ці заходи та чинні нормативні документи в частині екологічної безпеки залізничного транспорту не повною мірою забезпечують необхідний комплексний підхід для вирішення поставлених перед галуззю питань з охорони навколишнього середовища. Інтеграція України до Європейського Співтовариства вимагає приведення українського законодавства до норм та політики екологічного законодавства ЄС, яке налічує більше 200 директив по врегулюванню всіх специфічних питань, пов'язаних із збереженням, захистом та поліпшенням стану довкілля, охороною здоров'я людей, виваженням та раціональним використанням

природних ресурсів, а також вирішенням проблем довкілля регіонального та глобального масштабу. В цих умовах вирішення екологічних проблем стає одним з першочергових завдань в діяльності залізничного транспорту і потребує розробки довгострокового комплексу природоохоронних заходів, а саме Стратегії екологічної діяльності на залізничному транспорті.

Документ має стати основою при встановленні вимог для всіх підприємств та структурних підрозділів залізничного транспорту, включаючи розробку структури і функцій підрозділів з питань екології, формування порядку і регламенту їх взаємодії, планування і спільну реалізацію заходів з охорони навколишнього середовища, навчання, моніторинг та контроль у сфері екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища та раціонального використання природних ресурсів.

Стратегія екологічної діяльності на залізничному транспорті має будуватись на принципах:

- першочерговості вимог екологічної безпеки та неухильності додержання стандартів і нормативів в цій сфері;

- запобігання забруднення навколишнього середовища та негативного впливу на здоров'я людей;

- застосування міжнародного законодавства в частині перевезення небезпечних вантажів;

- розвитку енергозбережних і екологічно безпечних технологій.

В документі повинні бути визначені напрями природоохоронної діяльності залізничного транспорту, основними з яких є:

- захист повітряного середовища;

- охорона водних ресурсів та їх раціональне використання;

- охорона земель та зниження негативного впливу на ґрунт;

- утилізація та переробка відходів;

- захист живих організмів і природи від фізичного впливу [5].

Зазначений документ має визначити завдання по кожному напрямку діяльності та шляхи їх вирішення.

У сфері захисту повітряного середовища одним з найважливіших завдань є зниження рівня забруднення атмосфери викидами шкідливих речовин від стаціонарних і пересуваних джерел. Для цього потрібно:

- впроваджувати сучасні екологічно чисті і ресурсозбережні технології;

- широко використовувати екологічно чисті види палива;

- застосовувати альтернативні джерела тепло- та електропостачання;

- реконструювати котельні на більш екологічні та економні, та впроваджувати сучасні котельні агрегати, що використовують вторинні енергоресурси;

- більш широко використовувати електротягу;

- впроваджувати нові технології з очищення продуктів горіння від шкідливих речовин (каталізатори, фільтри, нейтралізатори);

- застосовувати нові технології фарбування вагонів;

- використовувати рухомий склад, що не має випарів або витоків при перевезенні небезпечних вантажів, пилоутворення при перевезенні сипучих вантажів, протікання на залізничне полотно нафтопродуктів;

- переводити пасажирські вагони на електроопалення.

У сфері охорони водних ресурсів та їх раціонального використання першочерговими завданнями можна визначити економне споживання водних ресурсів; збільшення обсягу оборотної і повторно використовуваної води; недопущення скидання забруднених стічних вод без очистки. Ці питання повинні вирішуватись шляхом:

- будівництва та реконструкції очисних споруд і запровадження нових ефективних технологій збору, очищення і повторного використання води;

- застосування оборотних систем водопостачання і систем повторного використання води, що дозволить знизити споживання води і припинити скидання забруднених стічних вод;

- впровадження обліку спожитої води та водовідведення.

-
- У сфері охорони земель та зниження негативного впливу на ґрунт необхідно:
- створювати нові лісозахисні насадження шляхом очищення та озеленення смуги відведення;
 - впроваджувати нові технології просочення дерев'яних шпал з меншим негативним впливом на навколишнє середовище та застосовувати екологічно чисті залізобетонні шпали;
 - застосовувати нові екологічно чисті матеріали при будівництві і ремонті колії;
 - використовувати новий рухомий склад, що виключає витікання масел і мастил, пилоутворення при перевезенні сипучих вантажів, протікання і висипання на земляне поло-тно небезпечних вантажів;
 - широко впроваджувати екологічно чисті туалетні комплекси в пасажирських поїздах і на станціях.

У сфері утилізації та переробки відходів потрібно впроваджувати екологічно та еко-номічно ефективні технології поводження з відходами виробництва і споживання, специ-фічних для залізничного транспорту, з метою подальшого використання їх як вторинних ресурсів та як палива.

У сфері захисту живих організмів і природи від фізичного впливу важливим є забезпечення відповідності шуму і вібрації від рухомого складу чинним нормативам та викорис-тання найефективніших технологій захисту від шуму.

Організаційний механізм реалізації Стратегії екологічної діяльності повинен включати в себе прийняття в залізничній галузі узгоджених екологічних програм з визначенням конкретних природоохоронних заходів, термінів, обсягів та джерел фінансування, а та-кож впровадження на залізничному транспорті єдиної інформаційно-аналітичної системи в сфері охорони навколишнього середовища.

Стратегія екологічної діяльності має бути однією з функціональних областей галузі, органічно поєднуватися із загальною стратегією розвитку залізничного транспорту, забез-печувати взаємодію екології з іншими функціональними сферами діяльності, сприяти ви-никненню синергетичного ефекту і в результаті принести конкурентні переваги залізнич-ному транспорту в порівнянні з іншими видами транспорту та сприяти екологічній стій-кості розвитку залізничного транспорту.

Таким чином, прийняття Стратегії екологічної діяльності в залізничній галузі задасть рівень екологічної відповідальності та масштаб зобов'язань залізничного транспорту що до навколишнього середовища, відповідно до яких будуть оцінюватися всі його подальші дії. Враховуючи те, що останнім часом у розвинених країнах при розгляді будь-яких тех-нічних, економічних і соціальних проектів все більше значення надається питанням еко-логії та охорони навколишнього середовища, ведення ефективної екологічної діяльності сприятиме формуванню позитивної екологічної репутації галузі та сприятливого став-лення суспільства, держави і потенційних інвесторів до залізничного транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основы экологии и природопользования: Учебное пособие / Дикань В. Л., Дейнека А. Г., Позднякова Л. А., Михайлов И. Д., Каграманян А. А. – Харьков: ООО «Олант», 2002. – 384 с.
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року» від 20 жовтня 2010 року № 2174-р.
3. *Процько Я. І.* Проблема впливу залізничного транспорту на екологію // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2009. – № 3. – С. 168–170.
4. *Двуліт З. П.* Економіко-екологічні аспекти впливу залізничного транспорту на довкілля / Збірник нау-кових праць ДЕГУТ. Серія «Економіка і управління». – 2011. – Вип.18 – С.132-143.
5. Распоряжение Правительства РФ «О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» от 17.06.2008 № 877-р.

Олена Сорочинська

ВПЛИВ ВТОМИ І СТРЕСУ НА БЕЗПЕКУ ПРАЦІ ПРАЦІВНИКІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

В статті коротко розглянуто аналіз впливу втоми і стресу на безпеку праці працівників залізничного транспорту. Здійснено оцінку впливу втоми та перевтоми на здоров'я та нервово-емоційний стан працівника. Проаналізовано основні види профілактики втоми та стресу на робочих місцях.

В статье кратко рассмотрена система управления охраной труда на уровне предприятия, а также ее совершенствования, на основании разработки и воплощения организационных нововведений. Осуществлена оценка системы стимулирования охраны труда на предприятии. Исследованы экономические и социальные аспекты улучшения условий и охраны труда.

In the article control system by a guard labour is shortly considered at the level of enterprise, and also its perfection, on the basis of development and embodiment of organizational innovations. The estimation of the system of stimulation of labour protection is carried out on an enterprise. Investigational economic and social aspects of improvement of terms and labour protection.

Ключові слова: втома, стрес, умови праці, перевтома, нервово-емоційне навантаження, трудова діяльність, профілактика втоми.

Праця – це сукупність фізіологічних та психічних процесів, які спонукають, програмують і регулюють діяльність людини (фізіологічний процес витрачання людської енергії). І тому, праця людини є функціональним процесом, в якому використовуються фізіологічні та психологічні якості працівника, тобто залучаються всі органи і системи організму людини – мозок, м'язи, судини, серце, легені та ін. При цьому витрачається нервова та м'язова енергія, але при цьому, в процесі праці активізуються усі психічні функції людини такі як сприймання, мислення, пам'ять, відчуття, уява, вольові якості, уважність, зацікавленість, задоволення, зосередженість, напруження, втома тощо.

У процесі праці людина сприймає і переробляє:

- інформацію, в тому числі інформацію про наявність шкідливих і небезпечних чинників на робочому місці;
- приймає і реалізує рішення;
- осмислює різні варіанти дій;
- використовує засвоєні знання, навички і вміння;
- аналізує відповідність умов, знарядь та предметів праці правилам, нормам;
- прогнозує можливі ситуації, оптимально мобілізує свої резервні можливості;
- концентрує вольові зусилля на досягненні поставленої мети і в цілях підвищення безпеки праці.

Також у процесі праці реалізується комунікативна функція психіки, яка виявляється у спілкуванні працівників і є основою міжособистих відносин, способом організації спільної діяльності та методів пізнання людини людиною. В ній враховуються індивідуальні властивості особистості, які проявляються у відмінностях поведінки людей у тих чи інших небезпечних ситуаціях [1, с. 53].

В галузі залізничного транспорту залежно від особливостей технологічного процесу, застосованих матеріалів та виробничого обладнання на людину в процесі праці переважно діють фізичні та хімічні небезпечні та шкідливі чинники. Але також крім різноманітних несприятливих чинників зовнішнього виробничого середовища, на працівників діє велика кількість психофізіологічних чинників, зумовлених фізичними та нервово-психічними перевантаженнями працівника, його індивідуальними якостями та психічним станом.

Автоматизація, механізація та комп'ютеризація виробничих процесів в галузі залізничного транспорту, різке зростання швидкості та обсягів виробничих, інформаційних та соціальних взаємодій у сучасному виробництві збільшили навантаження на центральну нервову систему працівника, і психофізіологічні фактори почали належати до найнебезпечніших і шкідливих виробничих чинників. Крім того, сучасний етап реформування залізниці, збільшення частки підприємств, організацій де переважно вимагає розумової праці, під час якої домінують психофізіологічні навантаження.

Отже, вивчення комплексу психофізіологічних небезпечних і шкідливих факторів трудової діяльності та захисту від їх дії на сьогодні є актуальним питанням охорони праці.

До небезпечних психофізіологічних та шкідливих виробничих чинників належать фізичні (статичні, динамічні та гіподинамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове, зорове, емоційне) [1, с. 57].

Праця працівників залізничного транспорту (машиністів, операторів, чергових по станції, поїзних диспетчерів тощо) пов'язана з впливом на них негативно діючих стресорів, таких як: інтенсивність праці; зростання потоку інформації, яку необхідно опрацювати і використовувати у повсякденній практиці; дефіцит часу; відповідальність за прийняття рішень; гіподинамія; різні зовнішні впливи (шум, забруднення, випромінювання тощо); монотонність праці; порушення стереотипної системи праці (ломки техніки) тощо.

Тривала робота на комп'ютеризованому робочому місці призводить до значного навантаження на всі елементи зорової системи і зумовлює втому та перевтому зорового аналізатора.

Напружена зорова робота викликає «очні» (біль, печія та різь в очах, почервоніння повік та очей, ломота у надбрівній частині тощо) та «зорові» (пелена перед очима, подвоєння предметів, мерехтіння, швидка втома під час зорової роботи) порушення органів зору, що може викликати головний біль, посилення нервово-психічного напруження, зниження працездатності.

Надмірні фізичні та нервово-психічні перевантаження зумовлюють зміни у фізіологічному та психічному станах працівника, призводять до розвитку втоми та перевтоми.

Втома – це сукупність тимчасових змін у фізіологічному та психологічному стані людини, які з'являються внаслідок напруженої чи тривалої праці і призводять до погіршення її кількісних і якісних показників, нещасних випадків. Втома буває загальною, локальною, розумовою, зоровою, м'язовою та ін. Оскільки організм – єдине ціле, то межа між цими видами втоми умовна і нечітка. Хід збільшення втоми та її кінцева величина залежать від індивідуальних особливостей працюючого, трудового режиму, умов виробничого середовища тощо [2, с. 87]. Стан втоми виникає через ставлення людини до праці, звички до фізичного та розумового напруження. Якщо ці звички не відпрацьовані, то втома може виникнути до початку фізичного втомлення, навіть на початку роботи. Втома після важкої, але потрібної людям праці, пов'язана з емоційним станом. Відпочинок, особливо активний, зміна виду діяльності поновлюють силу, створюють можливість продовження діяльності. Об'єктивним показником втомлення є уповільнення темпу роботи, а

також зниження її якості. Дослідженням працездатності доведено, що в перші дві години продуктивність праці підвищується, досягає максимального рівня, а потім поступово знижується. Монотонна, нецікава робота призводить до того, що втома настає раніше, ніж у тих випадках, коли робота зацікавлює людину.

Залежно від характеру вихідного функціонального стану працівника втома може досягати різної глибини, переходити у хронічну втому або перевтому. Перевтома - це сукупність стійких несприятливих для здоров'я працівників функціональних зрушень в організмі, які виникають внаслідок накопичення втоми. Основною відмінністю втоми від перевтоми є зворотність зрушень при втомі і неповна зворотність їх при перевтомі. При перевтомі період оптимальної працездатності скорочується, а період нестійкої компенсації збільшується. Порушуються і відновлювані процеси в організмі.

Відомо, що розвиток втоми та перевтоми веде до порушення координації рухів, зорових розладів, неуважності, втрати пильності та контролю реальної ситуації. При цьому працівник порушує вимоги технологічних інструкцій, припускається помилок та неузгодженості в роботі; у нього знижується відчуття небезпеки. Крім того, перевтома супроводжується хронічною гіпоксією (кисневою недостатністю), порушенням нервової діяльності.

Проявами перевтоми є головний біль, підвищена стомлюваність, дратівливість, нервозність, порушення сну, а також такі захворювання, як вегето-судинна дистонія, артеріальна гіпертонія, виразкова хвороба, ішемічна хвороба серця, інші професійні захворювання. Прикмети перевтоми не зникають до початку роботи наступного дня. Посилюється роздратованість, реакції стають неадекватними. При наявності хронічної перевтоми часто зменшуються маса тіла, підвищується сухожилкові рефлекси, пітливість, зростає лабільність показників серцево-судинної системи, знижується опір організму до інфекції, погіршується продуктивність праці, збільшується кількість помилок, брак у роботі.

Втома характеризується фізіологічними та психічними показниками її розвитку. Фізіологічними показниками розвитку втоми є артеріальний кров'яний тиск, частота пульсу, зміни у складі крові. Психічними показниками розвитку втоми є: погіршення сприйняття подразників, внаслідок чого працівник окремі подразники зовсім не сприймає, а інші сприймає із запізненням; зменшення здатності концентрувати увагу, свідомо її регулювати; посилення мимовільної уваги до побічних подразників, які відволікають працівника від трудового процесу; погіршення запам'ятовування та труднощі пригадування інформації, що знижує ефективність професійних знань; сповільнення процесів мислення, втрата їх гнучкості, широти, глибини і критичності; підвищення дратівливості, поява депресивних станів; порушення сенсомоторної координації, збільшення часу реакцій на подразники; зміни частоти слуху, зору.

Характер втоми залежить від виду трудової діяльності, тому що функціональні зміни в організмі при втомі переважно локалізуються в тих ланках організму, які несуть найбільше навантаження. На підставі цього втома поділяється на фізичну та розумову за співвідношенням глибини функціональних змін у різних аналізаторах, фізіологічних системах, відділах центральної нервової системи тощо. Як зазначено вище, особливістю фізичної праці є те, що вона викликає фізичне напруження організму при виконанні роботи. При сильному напруженні продовження роботи стає неможливим, і виконання її автоматично припиняється, а організм одразу переходить у фазу відновлення працездатності. Відновлення сил відбувається інтенсивно і за досить короткий період. Тому втому можна розглядати як сформоване в ході еволюції біологічне пристосування організму до навантажень. Однак, залежно від важкості роботи, потрібен певний час на відпочинок [3, с. 158].

Помірна розумова праця може виконуватися досить довго. Розумова праця не має чітких меж між напруженням організму під час роботи і переходом у фазу відновлення сил. Втома при розумовій праці виявляється в нервовому напруженні, зниженні концентрації уваги і зменшенні свідомого її регулювання, погіршенні оперативної пам'яті і

логічного мислення, сповільненні реакцій на подразники. Нервове напруження впливає на серцево-судинну систему, збільшуючи артеріальний тиск і частоту пульсу, а також на терморегуляцію організму та емоційні стани працівника.

Відновлювальні процеси після розумової праці відбуваються повільніше, ніж після фізичної праці. Несприятливі порушення в організмі працівника часто не ліквідуються повністю, а акумулюються, переходячи в хронічну втому, або перевтому та різні захворювання. Найпоширенішими захворюваннями працівників розумової праці є неврози, гіпертонії, атеросклерози, виразкові хвороби, інфаркти та інсульти.

Втома породжує у працівника стан, який призводить до помилок у роботі, небезпечних ситуацій і нещасних випадків. Вчені наводять дані, які вказують, що кожному четвертому нещасному випадку передувала явно виражена втома. Але, як зазначалося раніше, виробнича втома, як наслідок впливу на організм працівника трудових навантажень і умов виробничого середовища, відіграє, в першу чергу, захисну роль і стимулює відновлювальні процеси. Тому заходи щодо запобігання втоми ні в якому разі не мають за мету ліквідувати це явище. Вони спрямовуються на віддалення в часі розвитку втоми, недопущення глибоких стадій втоми і перевтоми працівників, прискорення відновлення сил і працездатності.

Люди зі станом перевтоми характеризуються порушенням сну, відсутністю повного відновлення працездатності до наступного робочого дня, зниженням опору до дії несприятливих факторів довкілля, підвищенням нервово-емоційної збудливості. Такий стан може призвести до загострення багатьох захворювань – серцево-судинних, ендокринних, бронхо-легеневих, хронічних тощо. Розробляючи критерії професіографічної оцінки (опис характеристик праці), ступеня нервового напруження у процесі праці, користуються характеристиками, що відображають напруження сенсорного апарату, вищих нервових центрів, що забезпечують функції уваги, мислення, регуляції рухів. На сьогодні складено спеціальні таблиці класифікації праці за ступенем нервово-емоційного напруження. В їх основу входять такі показники:

- інтелектуальне та емоційне навантаження;
- тривалість зосередженого спостереження;
- кількість об'єктів одночасного спостереження, що є виробничо-важливими;
- число сигналів на годину;
- темп;
- час активних дій;
- необхідність самостійного пошуку полумок;
- монотонність праці;
- напруження зору;
- точність виконання роботи;
- змінність;
- режим праці та відпочинку.

Ступінь працездатності визначається також типом нервової системи. Сильний тип має найбільшу працездатність, слабкий – незначну. Працездатність залежить від таких факторів, як вік, здоров'я людини, стать, навички у роботі, санітарно-гігієнічні умови тощо. Певною мірою на неї впливають і мотивація, і моральні та матеріальні стимули. На процес працездатності великий вплив мають емоції: негативні (страх, невпевненість, поганий настрій) знижують працездатність; позитивні (впевненість, спокій, бадьорий настрій) – значно продовжують період стійкої працездатності. Подовжити період стійкої працездатності можна за рахунок оптимального рівня напруження психофізіологічних функцій, комфортних умов праці, правильного поєднання режимів праці та відпочинку, проведення фізкультурних пауз та емоційного розвантаження, використання спеціальних психофармакологічних засобів, спеціального інформування людини про результати її діяльності, нагляду і контролю за її роботою. Комфортні умови забезпечують крім високої

працездатності і добре самопочуття; при цьому не виникають небезпечні напруження компенсаторних систем організму; здоров'я людини не погіршується довгий період часу.

При аналізі психофізіологічних небезпечних та шкідливих чинників велике значення приділяється також стресу, що виникає внаслідок тривалого впливу на працюючого комбінованої дії психоемоційних перевантажень та небезпечних виробничих чинників.

Під стресом (англ. stress – тиснення, натискання, напруження) мають на увазі стан психічної напруженості, викликаний небезпеками, що виникають у людини при розв'язанні важливої для неї задачі. Термін «стрес» часто застосовується не тільки в охороні праці, але й у повсякденному житті. За останні роки психоемоційний стрес став глобальною проблемою виживання людства. Це підтверджується тією увагою, яка приділяється стресу на міжнародному рівні. Так, у 1995 р. у Москві Європейським бюро ВООЗ була проведена міжнародна конференція «Суспільство, стрес, здоров'я»; у 1995 р. у Вашингтоні пройшов міжнародний конгрес під девізом «Праця, стрес та здоров'я. Створення більш здорових робочих місць»; у 1996 р. у Стокгольмі пройшов міжнародний конгрес щодо професійного здоров'я; у 1999 р. у Токіо пройшов міжнародний конгрес з питань хронічного робочого стресу за збереження здоров'я; у 1999 р. в Німеччині пройшов XI міжнародний конгрес, присвячений питанням професійної психіатрії [4, с. 395].

Стрес характеризують як захисне явище, як вісник захворювання, як причину порушень низки життєво важливих психофізіологічних функцій. Стрес проявляється як необхідна і корисна реакція організму на різке збільшення загального зовнішнього навантаження. Він характеризується зростанням біоелектричної активності мозку, підвищенням частоти серцебиття, ростом потоку крові, розширенням кровоносних судин, збільшенням вмісту лейкоцитів у крові, тобто цілою низкою фізіологічних змін в організмі, що сприяють підвищенню його енергетичних можливостей, успішності виконання складних і небезпечних дій. Тому стрес є не тільки доцільною захисною реакцією людського організму, але й механізмом, який сприяє успіху трудової діяльності в умовах перешкод, труднощів і небезпек.

Між рівнем стресу і активацією нервової системи, яка породжується ним, з одного боку, та результативністю трудової діяльності – з іншого, немає пропорційної залежності. Відомо, що з ростом активації нервової системи до певного рівня продуктивність праці підвищується, тоді як при подальшому зростанні активації вона починає падати, і рівень небезпеки зростає. Отже, стрес позитивно впливає на результати праці (мобілізує організм і сприяє подоланню перешкод, які виникають у процесі праці) лише доти, доки не перевищить певного критичного рівня. При перевищенні цього рівня в організмі людини розвивається так званий процес гіпермобілізації, який викликає порушення механізмів саморегуляції та погіршення результатів діяльності аж до її зриву. Тому стрес, який перевищує критичний рівень, називають дистресом. Особливо небезпечним, як свідчать дослідження, є стрес у трудовій діяльності.

Як зазначалося раніше, стресові впливи можуть стати причиною виникнення фізіологічних і психологічних змін, що призводять до небезпечних ситуацій, нещасних випадків та професійних захворювань.

Фізіологічні порушення можуть супроводжуватися розладами нервової та серцево-судинної систем, шлунково-кишкового тракту та ін. До психологічних розладів належать агресивність, фрустрація, нервозність, роздратування, тривога, нерішучість, швидкий розвиток втоми тощо. Фрустрація (лат. «обман», марне чекання) - мотивація досягти мети за існуючої сильною перешкодою. Крім того, стрес є причиною багатьох психосоматичних захворювань: психозів, неврозів, захворювань судин мозку, серцево-судинних захворювань та інфаркту міокарда, гіпертонічної хвороби, виразково-дистрофічних уражень шлунково-кишкового тракту, нейроциркуляторної дистонії, зниження імунітету, онкологічних захворювань. Стрес впливає на статеві функції, генетичний апарат клітин, призводячи до вроджених порушень розвитку дітей, тощо [5, с. 119].

На сучасному етапі сильним стресом, який впливає на стан працівника та можливість виникнення небезпечних ситуацій, є мобінг. Мобінг – це «війна» на робочому місці, яка

призводить до виникнення у працівників стресового стану [6, с. 274]. Значна частина робітників та службовців реагують на моббінг фізіологічними (виразка шлунку, серцево-судинні та онкологічні захворювання тощо) та психічними розладами, а інколи він призводить до травмування й самогубства.

Причин появи моббінгу досить багато, розглянемо основні з них:

- процес постійної модернізації, раціоналізації виробництва, який вимагає концентрації сил і уваги в процесі праці, що зумовлює високу продуктивність праці і, як наслідок, соціальну незахищеність працюючого;

- страх втратити робоче місце;

- психологічний терор, зумовлений заздрістю, марнославством і, як наслідок, створення інтриг, пліток, фізичного впливу. Все це створює поганий виробничий клімат і впливає на продуктивність праці та безпечність її умов;

- нудьга на роботі, коли процес праці не вимагає творчих зусиль.

Моббінг і його наслідки настільки поширились, що стали світовою проблемою 21 століття. Вчені пропонують вважати моббінг психо-соціальним нещасним випадком на робочому місці.

Вивчення умов, що впливають на продуктивність праці, свідчить, що існує багато факторів, які не позначаються на продуктивності праці: організація робочого місця, режим напруження і відпочинку під час роботи, забарвлення стін приміщень, ставлення до праці. Вони складають загальний настрій на працю та полегшують або ускладнюють появу трудових зусиль.

Період втягування в роботу, який може тривати до 1 години й більше, виражається у поступовому підвищенні працездатності з певними коливаннями продуктивності праці.

Цей період нерідко характеризується вираженими функціональними змінами, які полягають у підвищенні частоти пульсу, артеріального тиску, дихання тощо. Особливо вираженими подібні зміни можуть бути при виконанні робіт зі значним нервово-емоційним компонентом. У зв'язку з цим необхідно скорочувати тривалість періоду втягування в роботу і якомога швидше переводити організм у стан оптимальної працездатності. За періодом працювання настає період власної і стійкої працездатності. У цей час усі зміни в організмі людини адекватні робочому навантаженню і перебувають у межах фізіологічних норм. Після цього працездатність знижується. Спочатку не завжди помітно, бо може компенсуватися вольовими зусиллями. Тривалість цього періоду найбільша порівняно з іншими періодами і визначається гігієнічними умовами праці, інтенсивністю, нервово-психічним напруженням, індивідуальними особливостями працівника, тренуваністю, фізичним станом, віком. Початкове зниження працездатності і розвиток утоми характеризується нестійкою компенсацією функцій організму. З'являються відчуття втоми й різні зміни показників фізіологічних систем. Швидше настають зміни у тих органах і системах, що забезпечують виконання конкретної роботи. Якщо в цей період не перервати роботу, то працездатність швидко знижуватиметься, втома стане більш відчутною, фізіологічні зміни – неадекватними виконуваний роботі.

Відомо, що на працездатність, продуктивність праці, на життєдіяльність у цілому впливає відпочинок. Відпочинок може бути двох типів – активний і пасивний. Активний відпочинок – це, наприклад, заняття спортом, туристичні поїздки, подорожі, плавання в басейні тощо. Саме активний відпочинок сприяє підвищенню працездатності, покращанню психічного стану особистості, настрою.

Пасивний відпочинок – сидячи, лежачи, читання книг тощо. Особливим, але і обов'язковим видом такого відпочинку є сон. Відомо, що неспокійні ночі, неприємні сновидіння – все це негативно позначається на стані людини, а відповідно, і на активності її життєдіяльності. На працездатність людини впливають і пори року. Наприклад, зниження працездатності відчувається весною, особливо у працівників з нервово-емоційним перенапруженням.

Отже, психофізіологічні фактори небезпек безпосередньо впливають на людину – на фізичні та фізіологічні процеси, працездатність, настрій, продуктивність праці і її життєдіяльність у цілому.

Боротьба зі втотою, в першу чергу, зводиться до покращення санітарно-гігієнічних умов виробничого середовища (ліквідація забруднення повітря, шуму, вібрації, нормалізація мікроклімату, раціональне освітлення тощо). Особливу роль у запобіганні втомі працівників відіграють професійний відбір, організація робочого місця, правильне робоче положення, ритм роботи, раціоналізація трудового процесу, використання емоційних стимулів, впровадження раціональних режимів праці і відпочинку тощо [5, с. 118].

Крім того, для профілактики втоми працівників застосовуються специфічні методи, до яких можна віднести засоби відновлення функціонального стану зорового та опорно-рухового апарату, зменшення гіподинамії, підсилення мозкового кровообігу, оптимізацію розумової діяльності.

З точки зору медицини, для профілактики, попередження та реабілітації наслідків психоемоційного стресу рекомендується застосовувати вправи, що включають психотерапію, фізичні, водно-повітряні процедури, фізіотерапевтичні процедури, масаж, адекватне харчування, приймання вітамінів та мінеральних речовин, релаксуючу музику та вправи, медитацію, аутогенне тренування тощо.

У профілактиці стомлення і перевтоми працівника значна роль належить також організації раціонального режиму праці і відпочинку. Фізіологи обґрунтували п'ять умов підвищення працездатності, що сприяють ефективному попередженню стомлення:

- у будь-яку роботу потрібно входити поступово;
- умовою успішної працездатності є розміреність і ритмічність;
- звичність, послідовність і плановість;
- недбалість і квапливість у праці не припустима;
- фізіологічно обґрунтоване чергування праці і відпочинку, а також зміна форм діяльності (найефективнішим є відпочинок, пов'язаний з активним станом);
- сприятливе відношення суспільства до праці (мотивація праці і соціальні умови) [7, С. 144].

ЛІТЕРАТУРА

1. *Зеркалов Д. В.* Основи охорони праці: Навч. посіб. – К.: Науковий світ, 2000. – 278 с.
2. *Гандзюк М. П., Желібо Є. П., Халімовський М. О.* Основи охорони праці: Підручник для студ. вищих навч. закладів, 3-те вид. / За ред. Гандзюка М. П. – К.: Каравела, 2003. – 392 с.
3. *Гогіташвілі Г. Г., Латін В. М.* Основи охорони праці: Навч. посіб. – 4-те вид. випр. і доп. – К.: Знання, 2005. – 408 с.
4. *Агеев Є.Я.* Основи охорони праці: Навчально-методичний посібник для самостійної роботи по вивченню дисципліни – Львів: «Новий Світ – 2000», 2009. – 404 с.
5. *Гандзюк М. П., Желібо Є. П., Халімовський М. О.* Основи охорони праці: Підручник для студ. вищих навч. закладів. – К.: Каравела, 2005. – 408 с.
6. *Москальова В. М.* Основи охорони праці: Підручник. – К.: ВД Професіонал, 2005. – 672 с.
7. *Основи охорони праці: Підручник. 3-те видання, доповнене та перероблене / За ред. К.Н Ткачука. – К.: Основа, 2011. – 480 с.*

АВТОРИ СТАТЕЙ ВИПУСКУ

Азарков Олександр Володимирович – старший викладач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Алексійчук Надія Михайлівна – Державне підприємство «Український транспортно-логістичний центр».

Бабенко Андрій Іванович – начальник технічного управління Головного управління колійного господарства Укрзалізниці.

Байдак Сергій Юрійович – аспірант кафедри «Проектування і будівництво доріг» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Бслевицова Наталя Леонідівна – кандидат технічних наук, професор кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Бердиченко Юлія Анатоліївна – асистент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Білан Степан Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Білюк Ігор Юстиніанович – аспірант кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Бондаренко Ірина Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Валігура Микола Якимович – доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Велінець Віталій Петрович – аспірант кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Водянніков Юрій Якович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», м. Кременчук.

Возний Сергій Петрович – головний технолог, начальник групи технологічної підготовки монолітного виробництва в СП «Основа-Солсф».

Воронко Ірина Олександрівна – аспірант, старший викладач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Висоцька Галина Сергіївна – асистент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Габа Василь Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень», декан факультету післядипломної освіти Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Грисенко Марина Віталіївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри загальної математики механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Горецький Олексій Анатолійович – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Даніленко Едуард Іванович – доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Дмитрієв Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, ст. н. с., доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Донченко Анатолій Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, член-кореспондент Транспортної академії наук України, академік МАНЖКПГ, директор ДП «Український науково-дослідний інститут вагобудування».

Дорошенко Олександра Юрївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Дорошенко Юрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Будівельні матеріали та хімія» Національного транспортного університету.

Іваннікова Вікторія Юрївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри організації авіаційних перевезень факультету менеджменту і логістики Інституту економіки і менеджменту Національного авіаційного університету.

Іванов Вадим Борисович – кандидат технічних наук, доцент Національного транспортного університету.

Козак Володимир Сергійович – здобувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Косенко Віталій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Кириченко Анна Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника Головного комерційного управління «Укрзалізниці».

Кульбовський Іван Іванович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Курган Дмитро Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Колія та колійне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Курган Микола Борисович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Проектування і будівництво доріг» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Крижановська Тетяна Васиївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Левківський Сергій Анатолійович – старший викладач кафедри «Дорожні машини» Національного транспортного університету.

Лобас Леонід Григорович – доктор фізико-математичних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент ТАНУ, дійсний член Нью-Йоркської академії наук.

Лобас Людмила Геннадіївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Лупіна Тетяна Олексіївна – аспірант кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту, старший викладач кафедри природних і технічних дисциплін Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного.

Мараховський Леонід Федорович – доктор технічних наук, професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Мацюк В'ячеслав Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Мироненко Віктор Кімович – доктор технічних наук, завідувач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Москвін Максим Вікторович – здобувач кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Незліна Олена Анатоліївна – старший викладач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Орлов Олег Васильович – науковий співробітник лабораторії статичних та динамічних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

Пічкур Тетяна Валеріївна – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Приданніков Юрій Олександрович – інженер кафедри менеджменту Національного транспортного університету.

Родкевич Оксана Григорівна – старший викладач кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Соляник Михайло Іванович – провідний інженер лабораторії статичних та динамічних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

Сорочинська Олена Леонідівна – кандидат історичних наук, старший викладач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Тарасюк Василь Миколайович – заступник головного технолога ВАТ «Київський електровагоноремонтний завод».

Твердомед Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Трихліб Олексій Дмитрович – начальник відділу «Нормування паливно-енергетичних ресурсів» служби локомотивного господарства Південної залізниці.

Тютін Віктор Миколайович – старший викладач кафедри «Дорожні машини» Національного транспортного університету.

Федосов-Ніконов Дмитро Вячеславович – старший науковий співробітник лабораторії статичних та динамічних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

Хмелевська Нела Петрівна – аспірант кафедри «Проектування і будівництво доріг» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Черняков Микола Миколайович – асистент кафедри «Проектування і будівництво доріг» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.

Шелейко Тетяна Володимирівна – науковий співробітник Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», м. Кременчук.

Щербина Розалія Степанівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

Якобчук Ольга Анатоліївна – магістр, науковий співробітник у транспортній галузі.

Науково-виробниче видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**ДЕРЖАВНОГО ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ТРАНСПОРТУ**

Серія «Транспортні системи і технології»
Випуск 21

Відповідальний за випуск В. І. Данилевський

Директор РВВ ДЕТУТ Л. В. Пономаренко
Головний редактор О. В. Ємець
Редактор Н. В. Щербак
Комп'ютерна верстка: І. І. Колбасовська, В. О. Полічев

Підписано до друку 25.12.2012 р. Формат 60x84¹/₈.
Папір офсетний. Гарн. Таймс.
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 24,0. Обл.-вид. арк. 21,0.
Наклад 150 прим. Зам. № 275-2/12.

Надруковано в Редакційно-видавничому відділі ДЕТУТ.
Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 3079 від 27.12.07.
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.