

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

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

**СЕРІЯ**

**«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»**

**ВИПУСК 22**

**Київ·2013**

**Збірник наукових праць** Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 22. – К.: ДЕТУТ, 2013. – 204 с.

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

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

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

**Редакційна колегія:**

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

**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 № 10 від 21 червня 2013 р.).

Засновник і видавець – Державний економіко-технологічний університет транспорту  
Свідоцтво про державну реєстрацію КВ 19979-9779ПР від 28.05.2013 р.

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

---

## ЗМІСТ

### ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Донченко А. В., Сулим А. О.</i> До питання витрат електроенергії на тягу вагонів метрополітену КП «Київський метрополітен» .....	5
<i>Даніленко Е. І., Йосифович Р. М., Олійник О. А., Сорока О. О.</i> Дослідження впливу динамічних колісних навантажень, вантажонапруженості і швидкостей руху поїздів на міцність, стійкість і строки служби рейок, скріплень та інших елементів ВБК.....	10
<i>Даніленко Т. П.</i> Урахування форми структурних складових у стереологічному аналізі .....	21
<i>Карпінський С. Л.</i> Аналіз технологій і способів розрядки температурних напружень у рейкових плітях безстикової колії .....	29
<i>Карпов М. І., Молчанов В. М.</i> Технологічна послідовність покладання рейок у кривій з переминою робочою грані .....	38
<i>Кияшко В. Т.</i> Фібра для армування залізобетонних будівельних виробів ...	44
<i>Косарчук В. В., Азарков О. В., Катерищук В. О., Рафальський О. Ю.</i> Експериментальна перевірка визначальних співвідношень структурної моделі пружно-пластичного середовища в умовах простого циклічного навантаження .....	47
<i>Кулешов В. П.</i> Использование плазменного упрочнения боковой поверхности гребней бандажей колесных пар .....	53
<i>Кульбовський І. І.</i> Соціально-психологічні аспекти впровадження стандартів ДСТУ ISO 9000 у проектах сертифікації персоналу метрополітену .....	57
<i>Марінцева К. В.</i> Засоби автоматизації та механізації технології обслуговування пасажирів в аеропортах .....	61
<i>Пугачов Г. С., Загородній О. П.</i> Взаємодія колісної пари з рейкою у кривих. Умова недопущення вкочення гребеня на рейку .....	67
<i>Пугачов Г. С., Романюк А. С.</i> Кут нахилу гребеня як чинник зношення поверхні бандажа .....	71
<i>Талавіра Г. М., Демченко В. О., Козуч О. Й.</i> Довговічність сучасних прогнових споруд залізобетонних залізничних мостів .....	77

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

<i>Водяников Ю.А., Сафронов А. М., Свистун С. М.</i> Расчетно-экспериментальный метод определения характеристик процессов торможения пассажирских и грузовых вагонов .....	86
<i>Кільчинський О. О., Крижановська Т. В., Семененко Т. М.</i> Задача про еліптичну упаковку .....	97
<i>Ковальчук В. В.</i> Біфуркації та стійкість маятникових систем зі слідкуючими силами .....	104
<i>Конопля О. В.</i> Проблеми формування просторового мислення в процесі вивчення інженерної графіки студентами-залізничниками .....	108
<i>Семененко В. Н., Семененко Т. Н., Клецкая Т. С.</i> Компьютерное моделирование пространственного маневрирования суперкавитирующих аппаратов .....	111

---

---

<b>Тюнін В. Д.</b> До питання графічного розв'язування задачі побудови найкоротшої відстані АВ, розташованої на бічній поверхні правильного конуса, якщо пряма АВ задана проекціями $A_1B_1$ та $A_2B_2$ .....	123
<b>Водяников Ю. А., Шелейко Т. В., Макеева Е. Г.</b> Оценка риска при принятии решения о соответствии тормозной эффективности вагона нормативным требованиям .....	126

#### ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<b>Габа В. В.</b> .....	137
<b>Герцїй О. А.</b> Математичне моделювання та оцінка параметрів якості зв'язку IP-мереж .....	144
<b>Кокряцкая Н. И.</b> Метод прогнозирования характеристик динамических изображений с использованием параллельно-иерархической сети .....	152

#### ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

<b>Грушевська Т. М.</b> Технологія приміських перевезень залежно від інтервалу відправлення і дальності перевезення пасажирів .....	164
<b>Козаченко Д. М.</b> Методи збільшення області допустимих швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій .....	171
<b>Костюшко В. П.</b> Регуляторное управление развитием железнодорожного транспорта .....	171
<b>Мельниченко О. І., Кішка С. П.</b> Стохастична модель системи керування безпекою руху .....	180
<b>Петриковець О. В.</b> Пропозиції щодо оптимізації взаємодії різних видів транспорту при змішаних перевезеннях .....	185
<b>Пічкур Т. В., Висоцька Т. І.</b> Пріоритети державної політики у забезпеченні екологічної безпеки .....	189
<b>Сорочинська О. Л.</b> Соціальні та економічні аспекти охорони праці .....	194
<b>Автори статей випуску</b> .....	201
<b>Хроніка</b> .....	204

---

УДК 629. (431+432). 004.163

*Анатолій Донченко  
Андрій Сулим*

### ДО ПИТАННЯ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ТЯГУ ВАГОНІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ КП «КИЇВСЬКИЙ МЕТРОПОЛІТЕН»

*У роботі наведено аналіз витрат електроенергії КП «Київський метрополітен» на тягу та виробничі потреби електродепо за останні п'ять років. Зазначені основні напрямки зі зменшення витрат електроенергії на тягу у поїздах метрополітену.*

*В работе приведен анализ расходуемой электроэнергии КП «Киевский метрополитен» на тягу и производственные нужды электродепо за последние пять лет. Обозначены основные направления по уменьшению расхода электроэнергии на тягу в поездах метрополитена.*

*The paper provides the analysis of excess electricity KP «Kiev subway» in to the cravings and production needs electrodepot for the last five years. Identify the major areas for reducing the consumption of electricity for traction on the trains of the underground.*

**Ключові слова:** метрополітен, витрати електроенергії, тяга, електрорухомий склад, система тягового електрозабезпечення, накопичувач енергії.

Однією з важливих ланок в сучасній транспортній інфраструктурі міст-мегаполісів є метрополітен, який має найбільші перевізні можливості у порівнянні з іншими видами міського транспорту, екологічно чистий, швидкісний та комфортний перевізник, що дозволяє його класифікувати як перспективний вид пасажирського транспорту на досить тривалий період. Слід також зазначити, що обсяги перевезень пасажирів та частка метрополітену в міських перевезеннях зростають [1], у зв'язку з чим, майбутній розвиток метрополітену в Україні залишається важливим питанням в його практичній реалізації. Одним із важливих питань в теперішній час залишається зменшення витрат електроенергії на тягу метрополітену, оскільки споживання на тягу складає близько 70 % від загальної кількості споживаної енергії [2]. Через постійне підвищення тарифів на електроенергію актуальність вирішення питання зі зменшення витрат електроенергії на тягу метрополітену очевидна. Метою роботи в статті є аналіз питання витрат електроенергії на тягу вагонів метрополітену.

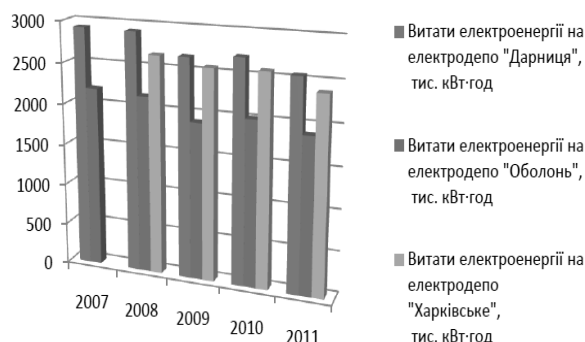
Для кількісної оцінки спожитої електроенергії виконано аналіз витрат енергії на КП«Київський метрополітен» за останні п'ять років. На рис. 1 подано кількість спожитої

© Донченко А. В., Сулим А. О., 2013

електроенергії на тягу поїздів метрополітену. На рис. 2 зображені графіки споживання електроенергії на виробничі потреби відповідно електродепо «Дарниця», «Оболонь» і «Харківське». Відсоткове співвідношення витрат електроенергії на виробничі потужності електродепо до тяги за останні п'ять років подані на рис. 3.



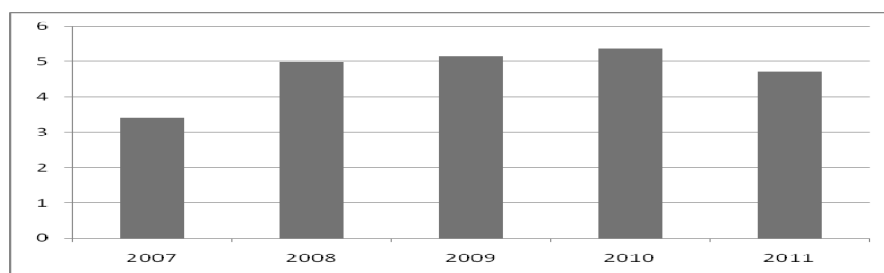
*Рис. 1. Графік витрат електроенергії на тягу вагонів метрополітену за останні п'ять років*



*Рис. 2. Графік витрат електроенергії на виробничі потужності метрополітену за останні п'ять років*

З наведених даних на рис. 1 та 2 помітно, що динаміка зменшення витрат на виробничі потреби електродепо присутня, в той час як на тягу вагонів метрополітену відсутня. Це явище можна пояснити використанням на вагонах метрополітену застарілого тягового обладнання з низьким коефіцієнтом корисної дії та його зношеним ресурсом, як наслідок, за останні роки відсутнє впровадження енергозберігаючих технологій в даному напрямку.

Слід також зазначити, що під час аналізу витрат не представлені дані кількості споживання електроенергії на потреби станцій метрополітену (ескалатори тощо). На практиці ці витрати складають близько 15 – 25 % від загальної кількості споживаної енергії на метрополітені [2].



**Рис. 3. Відсоткове співвідношення витрат на виробничі потужності електродепо метрополітену до тяги та за останні п'ять років**

Враховуючи, що тариф за 1 кВт·год електроенергії для міського електрифікованого транспорту складав у 2007 р. – 0,2436 грн., а з 2011 р. – 0,3648 грн., в табл. 1 наведені результати розрахунків витрат електроенергії на тягу поїздів метрополітену та виробничі потреби електродепо у грошовому еквіваленті.

**Таблиця 1. Витрати на тягу поїздів та виробничі потреби електродепо**

Рік	2007	2008	2009	2010	2011
Витрати на тягу, млн грн	36,4	37,7	33,7	33,1	52,8
Витрати на виробничі потужності електродепо, млн грн	1,25	1,88	1,74	1,78	2,49

З даних, що наведені на рис. 1 – 3 та табл. 1 видно, що найбільшу частку витрат складають витрати на тягу вагонів метрополітену. Крім того, порівнюючи витрати електроенергії на тягу поїздів метрополітену та виробничі потреби електродепо за 2010–2011 рр., встановлена динаміка підвищення витрат на тягу на 6 %, зокрема як витрати електроенергії на виробничі потреби електродепо зменшились на 6,4 % (рис.1 – 2). Слід зазначити, що електрифікований міський транспорт користується пільговим тарифом, встановленим аналогічно як і для населення. Враховуючи закони та стандарти [3-5], а також постанову Кабінету Міністрів України № 745 від 15.08.2005 р., яка зобов'язує до постійного підвищення тарифів на електроенергію, слід очікувати в найближчі роки збільшення матеріальних затрат метрополітенів за споживання електроенергії. Як наслідок, потрібна розробка комплексних заходів щодо зменшення витрат на тягу вагонів метрополітену. До вищезазначених заходів належать :

- закупка нового електрорухомого складу (ЕРС) з сучасним тяговим обладнанням, яке має високий коефіцієнт корисної дії та забезпечує режим рекуперації;
- модернізація ЕРС з заміною тягового обладнання з контакторною системою управління на сучасне з регульованими тяговими перетворювачами та мікропроцесорною системою управління;
- використання накопичувальних пристроїв безпосередньо на ЕРС або тягових підстанціях.

Закупка нового електрорухомого складу вітчизняного виробництва на базі електроприводу змінного струму дозволить досягти зменшення витрат електроенергії за рахунок: підвищення коефіцієнта корисної дії тягового обладнання, впроваджен-

---

ня мікропроцесорної системи управління та забезпечення режиму рекуперації. Слід зазначити, що закупка нового ЕРС потребує також і значних капіталовкладень.

Під час модернізації ЕРС, що експлуатується, з заміною тягового обладнання економічний ефект можна досягти аналогічний як і при закупівлі нового. Кількість капіталовкладень при цьому буде меншою, ніж при закупці нового ЕРС. Визначальними факторами, які впливатимуть на капіталовкладення під час модернізації будуть: зношеність конструкції кузовів вагонів та інших систем вагонів метрополітену.

Використання накопичувальних пристроїв безпосередньо на ЕРС або тягових підстанціях метрополітену дозволить підвищити енергоефективність та забезпечити можливість руху вагонів метрополітену під час аварійних відключень електроенергії в системах тягового електрозабезпечення (СТЕ). Таким чином, впровадження накопичувачів електроенергії дозволить вирішити два важливі питання: зменшити витрати електроенергії на тягу вагонів метрополітену та забезпечити виведення вагонів метрополітену із тунелів під час виникнення аварійних ситуацій. Слід також зазначити, що використання накопичувачів є можливим тільки при здатності ЕРС забезпечити режим рекуперації. Економічний ефект від впровадження накопичувачів енергії досягається за рахунок зменшення встановленої потужності елементів СТЕ та накопичення енергії рекуперації.

За результатами приведених даних витрат електроенергії на КП «Київський метрополітен» та виконаного аналізу щодо зменшення витрат електроенергії на тягу вагонів метрополітену можна зробити такі висновки:

- витрати електроенергії на тягу електропоїздів КП «Київський метрополітен» складають найбільшу частку від загальних витрат електроенергії та не мають динаміки зменшення;

- закупка нових вагонів метрополітену (за датою виготовлення) з тяговим обладнанням без можливості реалізації режиму рекуперації принципово не вирішує проблеми зменшення витрат електроенергії;

- закупка нових вагонів або модернізація існуючого парку вагонів метрополітену з можливістю тягового обладнання забезпечити режим рекуперації енергії дозволить істотно зменшити кількість споживання електроенергії;

- використання накопичувачів в режимі рекуперації дозволить додатково зменшити кількість споживання електроенергії за рахунок її зберігання та подальшого використання під час відсутності на перегоні інших споживачів;

- використання накопичувачів енергії в СТЕ дозволить забезпечити можливість руху вагонів метрополітену під час аварійних відключень електроенергії;

- вимагається обґрунтування місця встановлення накопичувачів енергії в СТЕ та розрахунок їх потужності для кожного перегону з урахуванням профілю шляху графіку руху та місця встановлення;

- доцільність установки накопичувачів електроенергії в СТЕ потребує детальних теоретичних та експериментальних досліджень для кожного перегону з урахуванням профілю шляху, режиму ведення ЕРС, інтервалу руху поїздів тощо;

- потрібно виконати розрахунок економічного ефекту від впровадження накопичувачів енергії з урахуванням умов експлуатації вагонів метрополітену на КП «Київський метрополітен».

---

---

## ЛІТЕРАТУРА

1 *Шаповал В. П.* Вагон метрополитена с усовершенствованным тяговым электроприводом переменного тока повышенной электроэнергетической эффективности: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.09. – Харьков, 2008. – 184 с.

2 *Шевлюгин М. В., Желтов К. С.* Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии. // «НТТ – Наука и техника транспорта» [научно-технический и производственный журнал]. – РГОТУПС. – Москва.– №1. – 2008.

3 Закон України «Про енергозбереження» // Постанова Верховної Ради України №75/94-ВР від 01.07.1994 р.

4 ДСТУ 2155-93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів з енергозбереження. Чинний від 01.01.2005 р. – К.: Держстандарт України, 1993. – 20 с.

5 ДСТУ 3886-99. Енергозбереження. Системи електроприводу. Метод аналізу та вибору. Чинний від 01.07.2000 р. – К.: Держстандарт України, 2000. – 54 с.

Едуард Даніленко  
Роман Йосифович  
Олена Олійник  
Ольга Сорока

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ КОЛІСНИХ  
НАВАНТАЖЕНЬ, ВАНТАЖОНАПРУЖЕНОСТІ І ШВИДКОСТЕЙ РУХУ  
ПОЇЗДІВ НА МІЦНІСТЬ, СТІЙКІСТЬ І СТРОКИ СЛУЖБИ РЕЙОК,  
СКРІПЛЕНЬ ТА ІНШИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВБК**

*На основі експериментальних досліджень і розрахунків на міцність доведено, що напруження в елементах верхньої будови колії (ВБК) не перевищують допустимих значень при всіх, які реалізуються на українських залізницях, швидкостях руху поїздів, тобто умови міцності від дії рухомого складу забезпечені. Також забезпечені умови стійкості рейкової колії при сучасних конструкціях скріплень. Наведено методики розрахунку строків служби рейок по зносу і дефектності при різних експлуатаційних умовах. Дано рекомендації щодо максимальних допустимих навантажень для сучасних експлуатаційних умов українських залізниць.*

*На основе экспериментальных исследований и расчетов на прочность показано, что напряжения в элементах верхнего строения пути (ВБК) не превышают допустимых значений при всех реализуемых на украинских железных скоростях движения поездов, то есть условия прочности от воздействия подвижного состава обеспечены. Также обеспечены условия устойчивости рельсового пути при современных конструкциях скреплений. Приведены методики расчета сроков службы рельсов по износу и дефектности при различных эксплуатационных условиях. Даны рекомендации относительно максимальных допустимых нагрузок для современных условий эксплуатации украинских железных дорог.*

*Based on experimental studies and calculations of the strength shown that stress in the elements of the upper track structure (UTS) do not exceed the allowable values all them that sold on the Ukrainian railways train speeds, in terms of the strength of rolling stock provided. Also provided stability conditions for modern rail track construction fasteners. The method of calculating the service life of rails for wear and defects under different operating conditions. The recommendations regarding the maximum allowable loads for modern Ukrainian railways operating conditions.*

**Ключові слова:** динамічні колісні навантаження, міцність, стійкість, вихід рейок, дефектність, знос, строки служби, осьові навантаження.

© Даніленко Е. І., Йосифович Р. М., Олійник О. А., Сорока О. О.

---

Результати експериментальних досліджень та розрахунків на міцність елементів верхньої будови колії, виконані для ВБК з рейками Р65, Р50, при дії на колію практично усіх типів рухомого складу (локомотиви, вантажні вагони) свідчать про те, що діючі напруження в рейках, шпалах, баласті і на основній площадці земляного полотна не перевищують допустимих значень напружень при всіх швидкостях, що реалізуються, аж до максимально допустимих, встановлених ПТЕ: для рейок Р65: для пасажирських поїздів 140 км/год, для вантажних – 100 км/год., для рефрижераторних – 120 км/год; для рейок Р50: для пасажирських поїздів 120 км/год., для рефрижераторних – 90 км/год.

За допомогою теоретичних та експериментальних досліджень доведено, що:

при впровадженні нової менш щільної рейко-шпальної решітки на залізобетонних шпалах 1680 шп/км замість 1840 шп/км повністю забезпечена міцність і достатня пружність конструкції ВБК;

при впливі колісних навантажень у спектрі осьових навантажень до  $2P=230$  кН (вагони) і до  $2P=235$  кН (локомотиви),

при встановлених швидкостях руху вантажних поїздів до  $V=90$  км/год, пасажирських до  $V=140$  км/год – напруження в рейках, шпалах, баласті і на основній площадці земляного полотна не перевищують допустимих значень і залишається запас міцності 40–50%. (При цьому розглянуті конструкції колії в прямих і в кривих радіусами  $R=1000$  м, 800 м, 600 м і 400 м; зі скріпленнями: КБ, КПП-1, КПП-5 і рейками типів Р65 і UIC60).

Величини згинальних моментів у рейках при зміні епюри шпал з 1840 шп/км на 1680 шп/км збільшуються несуттєво: для вагонів це зростання коливається в межах 2,5%, для локомотивів – в межах 3,5-4%. Заміна рейок з типу Р65 на тип UIC60 (при незмінній епюрі шпал) викликає збільшення напружень вигину приблизно на 11,5% у подошві і на 6% у головці.

Напруження в шпалах при зміні епюри збільшуються приблизно на 9,5-10,0% незалежно від типу рейок і скріплень. При зміні рейок з Р65 на UIC60 (при однакових скріпленнях і однаковій епюрі шпал) напруження в шпалах збільшуються на 3,0%.

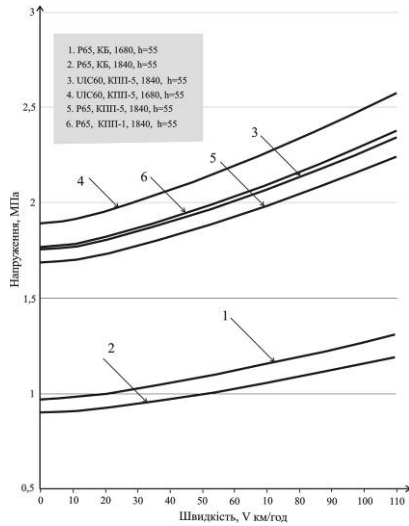
Зміна напружень в баласті і на основній площадці земляного полотна при зміні епюри 1840 на 1680 шп/км відбувається в бік зростання приблизно так само, як і в шпалах на 10%.

Динамічні прогини рейок і залізобетонних шпал змінюються несуттєво при зміні епюри з 1840 шп/км на 1680 шп/км. А саме: вони збільшуються на 8,5-9,0% для рейок і на 10,2% для шпал.

При заміні рейок Р65 на UIC60 і незмінній епюрі шпал прогини залізобетонних шпал збільшуються лише на 3,8-4,1%. (Динамічні прогини дерев'яних шпал є суттєво більшими в порівнянні з залізобетонними в 1,5÷1,6 рази).

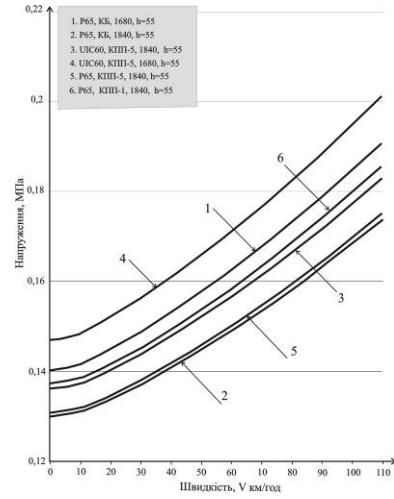
На рис. 1, а, б, в зображено вплив швидкості руху і конструкції колії на напруження в елементах ВБК: а) в шпалах; б) в баласті; в) в рейках.

а)  $[\sigma_w] = 4,0 \text{ Мпа}$



Напруження в шпалах, що виникають під дією локомотива ВЛ-82м для умов літа

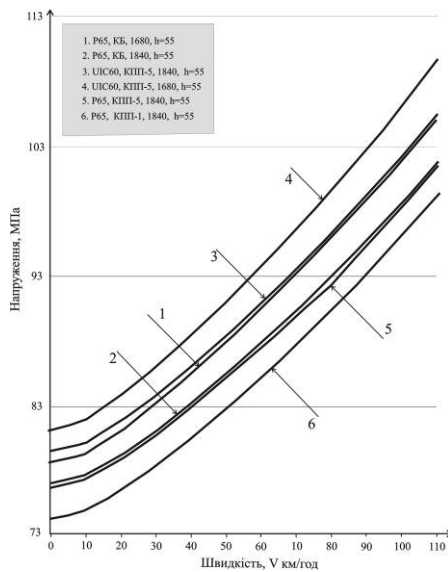
б)  $[\sigma_b] = 0,4 \text{ Мпа (лок.)}; [\sigma_b] = 0,3 \text{ Мпа (ваг.)}$



Напруження в баласті, що виникають під дією локомотива ВЛ-82м для умов літа

в) термозміцнені  $[\sigma_p] = 320 \text{ Мпа (лок.)}$   $[\sigma_p] = 280 \text{ Мпа (ваг.)}$

нетермозміцнені  $[\sigma_p] = 235 \text{ Мпа (лок.)}$   $[\sigma_p] = 205 \text{ Мпа (ваг.)}$



Кромочні напруження в підшві рейки, що виникають під дією локомотива ВЛ-82м для умов літа

*Таким чином доведено, що умови міцності від впливу рухомого складу, що обертається на залізницях України, забезпечені.*

Рис. 1. Результати розрахунків на міцність залежно від швидкості руху поїздів для різних конструкцій ВБК

---

Результати порівняльних розрахунків поздовжньої стійкості проти уgonу рейкових ниток для типової епюри шпал 1840 шп/км і дослідної епюри 1680 шп/км свідчать, що:

– величина погонного опору рейкових ниток при зміні епюри шпал з 1840 шп/км до 1680 шп/км зменшується при усіх видах скріплень приблизно на 9 – 10%;

– сумарні діючі поздовжні сили уgonу рейкових ниток (температурні від вигину і гальмування) при службовому та екстремому гальмуваннях вантажних і пасажирських поїздів масою 2500÷4000 т не перевищують сил погонного опору, що забезпечуються скріпленнями при всіх конструкціях скріплень, які розглянуті в розрахунках (в тому числі при скріпленнях пружного типу марок КПП-1 і КПП-5). При обох епюрах укладання шпал, які розглядаються, 1840 шп/км і 1680 шп/км. Тобто стійкість проти уginу рейкових ниток при зниженні щільності епюри шпал до 1680 шп/км у всіх випадках забезпечена;

– сумарні діючі поздовжні сили уgonу також не перевищують сил погонного опору.

В екстремальних умовах: у випадку сумісної дії колісного навантаження, максимальних температурних сил і рекуперативного гальмування від вантажних поїздів масою 4000 т, лише 4 види скріплень повністю на 100% забезпечують достатні сили погонного опору проти уgonу рейкових ниток при обох епюрах укладання шпал 1840 шт/км і 1680 шт/км, а саме: Пендрол, Фоссло, КПП-7 і КБ тах (при максимальному зтягуванні).

При скріпленнях типу КПП-5 поздовжня стійкість проти уgonу в цьому випадку забезпечується на 98% при епюрі 1840 шп/км і на 93% при епюрі 1680 шп/км, тобто можна вважати, що при скріпленнях типу КПП-5 стійкість, навіть у вказаних екстремальних умовах, практично забезпечується.

При інших типах скріплень поздовжня стійкість проти уgonу в цьому випадку незабезпечена: для скріплень КБ min (в ослабленому стані) на 11% при епюрі 1840 шп/км і на 15% при епюрі 1680 шп/км; для скріплень КПП-1 (СБ-3) – відповідно на 8,5% і на 13%.

Результати порівняльних розрахунків поперечної стійкості рейкової колії і рейко-шпальної решітки для типової епюри шпал 1840 шп/км і дослідної епюри шпал 1680 шп/км дозволяють зробити такі висновки:

– при взаємодії колії з рухомим складом вантажних поїздів забезпечуються усі вимоги по умові стійкості проти викиду безстикової колії при рейках типу Р65 і UIC60 при максимально можливій для українських залізниць амплітуді змін температури від  $T_{\max}=+62^{\circ}\text{C}$  до  $T_{\min}=-40^{\circ}\text{C}$  як для прямих ділянок колії, так і для кривих з мінімальним радіусом до  $R_{\min}=400$  м.

– при взаємодії колії з локомотивами, які мають найбільше серед інших колісне навантаження (ДЕ-1 і ДЕ-2;  $P_k=130\text{кН}$ ) при рейках типу Р65 вимоги по умові стійкості також забезпечуються. При незагартованих рейках типу UIC60 можуть мати місце обмеження по поперечній стійкості колії при максимальних швидкостях руху  $V_{\max}=100$  км/год для кривих малого радіуса  $R=400$  м і при недостатньому рівні ущільнення баласту (наприклад, безпосередньо після ремонту). Але у зв'язку з тим, що швидкості руху по кривих радіусу  $R=400$  м обмежені умовами безпеки руху до  $V_{\max}=80$  км/год, можна робити висновок, що при взаємодії колії з локомотивами, що мають колісне навантаження до  $P_k=130\text{кН}$ , забезпечуються усі вимоги по умовам поперечної стійкості рейкової колії, укладеної при обох епюрах шпал 1840 шп/км і 1680 шп/км;

– поперечна стійкість рейкової колії під час руху поїздів в прямих ділянках більше забезпечена. При переході з епюри шпал 1840 шп/км на 1680 шп/км граничний опір переміщенню шпал в баласті зменшується приблизно на 1,2%, що несутєво впливає на забезпечення поперечної стійкості рейко-шпальної решітки.

**Таблиця 1. Сили уgonу для вантажного поїзда вагою 4000 т, який складається з 4-вісних вагонів з навантаженням на вісь 235 кН/вісь і локомотива ВЛ-82м при гальмуванні від швидкості 90 км/год. до 0 км/год.; (рейки Р65, залізобетонні шпали, епюра шпал 1840 шт/км, щебеневий баласт)**

	КПП-5	Фоссло SKL-14	Пендрол	КПП-1 СБ-3	КБ max <sup>*)</sup>	КБ min <sup>*)</sup>
1	2	3	4	5	6	7
Поздовжня горизонтальна жорсткість основи СШ-6, Н/мм	89037,8	87968	82726,3	84500	94198,8	91913,4
Поздовжня жорсткість вузла скріплення Суз, Н/мм	9700	11500	13000	8320	11300	8000
Модуль поздовжньої пружності Ux, МПа	14,7	16,8	18,3	12,9	16,9	12,6
При екстреному гальмуванні Розрахункова сила $p_{угона}$ (при сумісній з температурною і пружною поздовжніми силами) $p_{угона} = p_{упр} + p_t + p_{тор}^{екстр}$ , кН/м	13,7	15,4	17,3	12,2	15,3	11,8
При службовому гальмуванні Розрахункова сила $p_{угона}$ (при сумісній з температурною і пружною поздовжніми силами) $p_{угона} = p_{упр} + p_t + p_{тор}^{служ}$ , кН/м	12,1	13,8	15,7	10,6	13,7	10,2
При рекуперативному гальмуванні	16,9	18,6	20,5	15,4	18,5	15,0
Гарантований погонний опір по підшві без урахування опору в накладках $[r]$ , кН/м	17,9	21,2	23,9	15,3	20,8	14,7
Запас поздовжньої стійкості (%) при службовому гальмуванні (чисельник), при екстреному гальмуванні (знаменник)	$\frac{48}{30,6}$ 6	$\frac{53,6}{37,6}$ 14	$\frac{52}{38}$ 16,5	$\frac{44}{25,4}$ -1	$\frac{52}{36}$ 12,4	$\frac{44,1}{24,5}$ -2

<sup>\*)</sup> КБ min – відповідає стану скріплень в середньому стані експлуатації  
КБ max – відповідає стану скріплень при максимальному затягуванні клемних болтів

На строки служби рейок і стрілочних переводів дуже великий вплив чинять експлуатаційні умови і, перш за все, динамічні колісні навантаження  $P_{дин}^{кол}$ , що реалізуються, пропущений тоннаж і план колії. У нормальних умовах, тобто при належній якості рейок (яка відповідає вимогам встановлених колісних навантажень), а також при правильній технічній експлуатації колії і нормальному (безаварійному) впливі технічно справного рухомого складу, рейки повинні виходити з ладу по зносу поверхні кочення їх головки при досяганні регламентованих норм зносу.

Однак, внаслідок різних причин, пов'язаних з недоліками виготовлення рейок, утримання колії або ненормальним впливом рухомого складу в сучасних умовах експлуатації, рейки виходять з ладу передчасно, до досягнення регламентованого зносу – по дефектності.

На вітчизняних залізницях лише в кривих малих радіусів ( $R \leq 650$  м) строк служби, як правило, визначається зносом, а в інших випадках – дефектністю.

Визначаючими експлуатаційними факторами, що впливають на довговічність є: осьові навантаження рухомого складу, що обертається ( $P_{oc}$ ) на даній ділянці, швидкості руху поїздів ( $V$ ), вантажонапруженість на ділянці ( $\Gamma$ ), особливості плану і профілю колії (крива або пряма; площадка; спуск або підйом). Визначаючими факторами, що залежать саме від рейок, є їх тип (визначається погонною масою) і якість рейок (визначається вихідними механічними властивостями металу і наявністю або відсутністю термічної обробки).

Інтенсивність зносу головки рейок значною мірою залежить від величини колісних навантажень, пропущеного тоннажу і плану колії, а також суттєвою мірою залежить від особливостей конструкції колії, профілю колії, якості металу рейок тощо.

Виконані розрахунки щодо прогнозування строків служби рейок свідчать, що середній нормативний строк служби рейок по зносу може відрізнитися для кривих ділянок малих радіусів  $R=350-300$  м від прямих в 6-6,5 разів, тобто в кривих він значно більший, разом з тим в прямих ділянках строки служби рейок по зносу можуть до 2-х разів перевищувати строки служби по дефектності.

Таблиця 2. Середньосітьові значення питомого зносу головки рейки  $\beta_{cp}$

Радіус кривої R, м	$\beta_{cp}$ мм <sup>2</sup> /млн. т. брутто				
	P65	P50	P43	P65	P50
	нетермозміцнені			термозміцнені	
300	3,87	4,42	5,89	2,13	2,43
400	2,86	3,26	4,35	1,57	1,79
500	2,08	2,38	3,17	1,14	1,31
600	1,62	1,85	2,47	0,89	1,02
700	1,17	1,34	1,79	0,64	0,74
800	0,93	1,01	1,42	0,51	0,56
900	0,85	0,97	1,29	0,47	0,53
1000	0,80	0,91	1,22	0,44	0,50
1100	0,75	0,86	1,14	0,41	0,47
1200	0,73	0,83	1,11	0,40	0,46
більше 1200 і прямі	0,71	0,81	1,09	0,39	0,45

**Примітки:** 1) Для термооброблених рейок слід ввести корективи у вигляді коефіцієнта  $K_0$ , що входить у формулу (5.16).  $K_0=0,55$  для рейок 1 класу загартування,  $K_0=0,66$  для рейок 2 групи 2 класу загартування.

2) Для середньосітьових умов прийнято  $P_{oc}^{sp} \leq 160$  кН (для рейок P65) і  $P_{oc}^{sp} \leq 135$  кН (для рейок P50).

При відомому значенні  $\beta_{cp}$  і допустимій площі зносу  $[\omega]$  тоннаж, який може бути пропущений за термін служби рейок, визначається за формулою 1:

$$T_{доп.зн.} = \frac{[\omega]}{\beta_{cp}}. \quad (1)$$

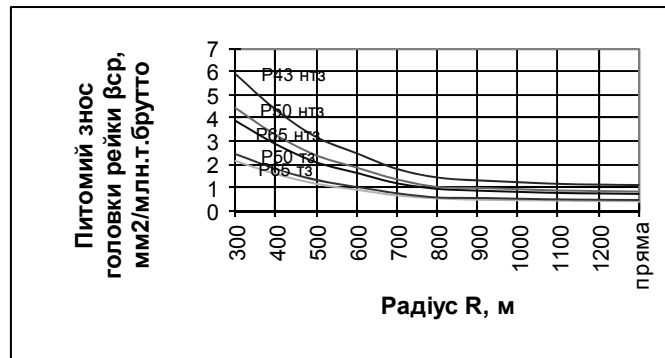


Рис. 2. Залежність питомого зносу головки рейки від радіуса кривизни колії

Формула для визначення питомого зносу головки рейки від дії коліс рухомого складу має вигляд

$$\beta_k = 1,3 \cdot \lambda \cdot C_{\text{об}} \cdot K \cdot n_{\psi} \cdot \frac{P_k}{r_k} \cdot \frac{\Sigma(1+9S^2)}{n} \quad (2)$$

де  $\lambda$  – середнє значення параметра, який враховує вплив кривих ділянок колії радіусом  $R$ ;

$P_k$  – колісне статичне навантаження, т;

$r_k$  – радіус колеса, см;

$C_{\text{об}}$  – параметр, який враховує вплив конструкції верхньої будови колії;

$U$  – модуль пружності підрейкової основи, МПа;

$k$  – коефіцієнт відносності жорсткості підрейкової основи та рейки,  $\text{см}^{-1}$ ;

$K$  – коефіцієнт якості сталі, який залежить від технології виготовлення рейок (параметр  $K_0$ ) та від кількості вуглецю в сталі (параметр  $K_1$ ). Для термічно необроблених рейок  $K_0=1$ , для загартованих  $K_0=0,55 \div 0,66$  (перше значення стосується 1-го класу термообробки, друге – 2-го класу);

$n_{\psi}$  – коефіцієнт, який враховує умови зчеплення коліс з рейками. У звичайних умовах  $n_{\psi}=1$ . Під час несприятливих умов (ожеледь) Правила тягових розрахунків допускають зниження коефіцієнта зчеплення до 85%, тобто  $n_{\psi}=0,85$ . В зимовий час при від'ємних температурах (нижче  $-10$  °С) коефіцієнт зчеплення різко знижується у порівнянні з літніми умовами і його можна приймати  $n_{\psi}=0,67$ ;

$S$  – відносне ковзання колеса по рейці;

$n$  – кількість осей одиниці рухомого складу, що розглядається.

Дослідження характеру накопичення зносу головок рейок різних типів довели, що інтенсивність зносу суттєво збільшується у міру наростання пропущеного тонунажу тільки в кривих ділянках до радіусів кривих приблизно  $R=800-850$  м. У кривих радіусів  $R \geq 800$  м інтенсивність наростання зносу при збільшенні пропущеного тонунажу менше приблизно в 2 рази.

На основі наших досліджень вперше для українських залізниць, розраховані і запропоновані прогностичні нормативи питомого зносу головки рейки і прогностичні строки служби рейок залежно від типу і якості рейок і радіусів кривизни колії (для середньосітових експлуатаційних умов експлуатації при підвищених колісних навантаженнях).

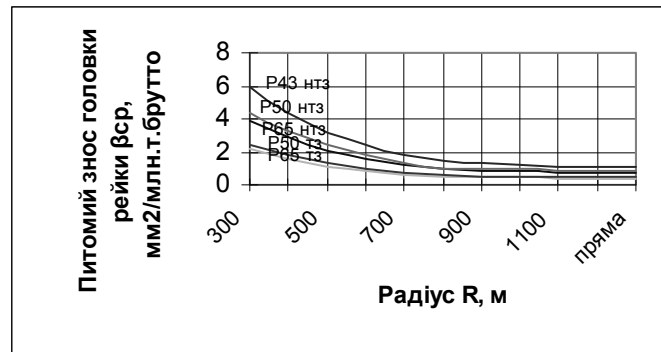


Рис. 3. Залежність питомого зносу головки рейки від радіуса кривизни колії

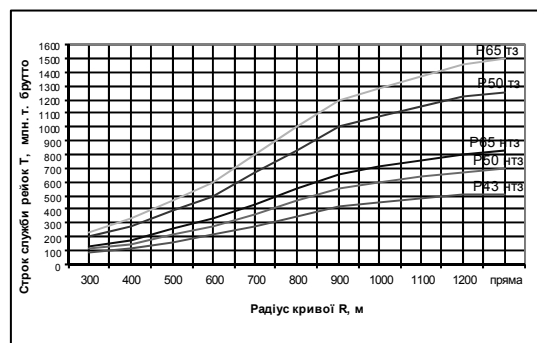


Рис. 4. Строк служби рейок за зносом залежно від радіуса кривої

Таблиця 3. Прогнозні середні нормативні строки служби рейок за зносом  $T_{\text{норм. зн.}}$  (млн. т. брутто)

Радіус кривої R, м	Строк служби рейок $T_{\text{норм. зн.}}$ , млн. т. брутто				
	P65	P50	P43	P65	P50
	нетермозміцнені			термозміцнені	
прямі і криві при $R > 1200$ м	823,94	691,36	513,76	1498,08	1257,01
1200	801,37	674,70	504,50	1457,04	1226,73
900	658,82	551,55	420,16	1197,86	1002,81
600	330,25	275,68	212,15	600,45	501,23
400	180,07	150,31	116,48	327,40	273,28
300	130,49	108,60	84,55	237,26	197,45

Дефектостійкість сучасних вітчизняних рейок значно гірша у порівнянні із зносостійкістю, тому, в основному і, як правило, їх доводиться вилучати із експлуатації по дефектності раніше досягнення нормативного зносу.

Згідно з раніше виконаними дослідженнями лише в кривих малих радіусів  $R \leq 650$  м строк служби рейок, як правило, визначається зносом, в інших випадках – дефектністю.

Виконані розрахунки строків служби рейок різних типів і різної якості, свідчать, що встановлені нормативні строки служби рейок по дефектності не відповідають нормативам по зносостійкості, починаючи: для рейок типу P65 з радіусу  $R \leq 800$  м, а

для рейок типу Р50 – з радіусу  $R \leq 650$  м. Тобто при зазначених значеннях радіусів кривих слід встановлювати нормативні строки служби рейок по зносу.

Строк служби рейок  $T_{\text{деф}}$  за сумарною дефектністю на 1 км за весь період експлуатації (млн т бруто пропущеного тоннажу) можна визначити за формулою [1]:

$$T_{\Sigma\text{деф}} = \sqrt{\frac{[\gamma_{\text{ос}}] \cdot q^4 \cdot \prod_{i=1}^{i=1} \lambda_i^2}{A \cdot P_D^{3/2} \cdot T_0^{1/5}}} \quad (3)$$

де  $[\gamma_{\text{ос}}]$  – встановлений норматив (шт/км) допустимого сумарного одиночного виходу рейок за дефектністю на 1 км за весь період експлуатації (після проходження тоннажу –  $T_{\Sigma\text{деф}}$ ).  $[\gamma_{\text{ос}}]$  – установлюється «Положенням про систему ведення колійного господарства» залежно від типу та якості рейок, умов експлуатації і категорії колії [4].

Сумарний вихід рейок за дефектністю на 1 км за час пропущеного тоннажу  $T_i$  (на будь-який розрахунковий рік) визначається за формулою, отриманою на основі тривалих досліджень за роботою рейок у різних експлуатаційних умовах [1]:

$$\gamma_{\text{ос}} = A \frac{P_D^{3/2} T_0^{1/5} T_i^2}{q^4 \prod_{i=1}^{i=1} \lambda_i^2} \quad (4)$$

У формулах (3–4) береться:  $A \approx 0,85$ ;  $q$  – погонна маса рейки, кг/пог. м;

$T_0$  – річна вантажонапруженість в рік перед ремонтом, млн т км/км за рік;

$T_{0-i}$  – річна вантажонапруженість на будь-який розрахунковий рік, млн т км/км за рік;

$P_D$  – середньозважене по тоннажу динамічне навантаження на вісь, т/вісь.

На рис. 5 і 6 за даними експериментальних досліджень російських залізниць подані в графічному вигляді залежності сумарного одиночного виходу рейок по дефектності  $\gamma$ , шт/км від пропущеного по них тоннажу (млн т), для рейок типів Р50, Р65, Р75 (термічно не зміцнених і об'ємно загартованих), укладених в безстикової колії на залізобетонних шпалах і в ланкової колії на дерев'яних шпалах.

На рис. 7 і 8 в графічному вигляді наведені результати розрахункових досліджень українських залізниць по одиночному виходу рейок по дефектності  $\gamma$ , шт/км, залежно від пропущеного тоннажу для сучасних термозміцнених рейок типів Р65 і UIC60, укладених в безстикову колію на залізобетонних шпалах, з сучасними конструкціями скріплень типів КБ і КПП-5 і сучасними епорами укладання шпал 1680 шп/км і 1840 шп/км. Сумарний вихід рейок  $\gamma$  на 1 км за час пропущеного тоннажу  $T_i$  розраховано за формулою (3). Розрахунки виконані для середніх умов експлуатації: вантажонапруженість на 1-й рік – 35,0 млн т/км на км за рік; приріст вантажонапруженості за рік  $\alpha = 0,02$ ; середнє динамічне навантаження на вісь рухомого складу  $P_D = 150-160$  кН.

Аналіз порівняння результатів на графіках 6, 7 і 8 свідчить про досить близьку схожість експериментальних даних (криві № 8, 9 на рис. 6) і теоретичних розрахунків (рис. 7), що свідчить про допустимість практичного використання розрахункових формул (3 і 4) при визначенні одиночного виходу рейок по дефектності.

Дослідження впливу колісних навантажень на строки служби рейок по дефектності дозволяє зробити висновок, що середнє статичне осьове навантаження, рівне приблизно 135 кН, є свого роду умовною межею при роботі на витривалість сучасних нетермозміцнених рейок Р50, перевищення якої свідчить про необхідність застосування більш потужних і сучасних конструкцій верхньої будови колії (в першу

чергу рейок) для забезпечення встановлених розмірів пропускної і провізної спроможності залізничного напрямку.

#### Дослідження в експлуатаційних умовах

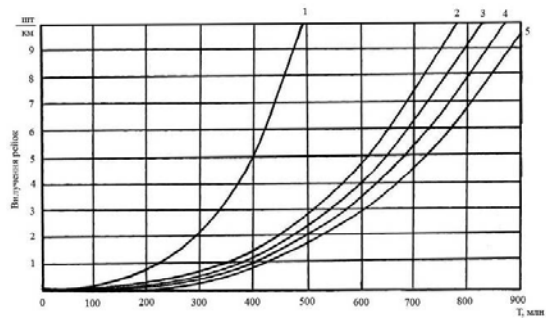


Рис. 5. Графіки сумарного одиночного вилучення рейок типу P50, P65, P75 на ланковій колії з дерев'яними шпалами:

1 – термічно не зміцнені рейки P50 ( $n=8,0 \cdot 10^{-8} T^3$ ); 2, 3 – термічно не зміцнені рейки P65 ( $n=2,1 \cdot 10^{-8} T^3$ ) і P75 ( $n=1,8 \cdot 10^{-8} T^3$ ); 4, 5 – об'ємно загартовані рейки P65 ( $n=1,5 \cdot 10^{-8} T^3$ ) і P75 ( $n=1,3 \cdot 10^{-8} T^3$ )

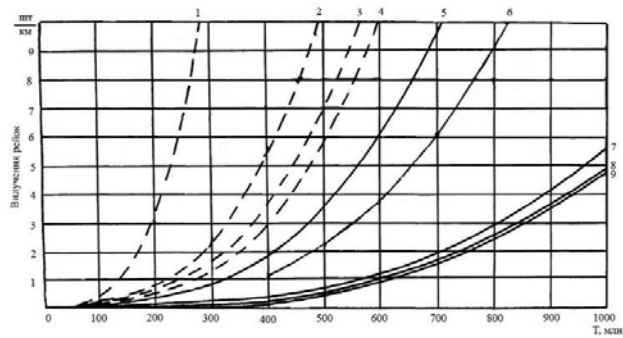


Рис. 6. Графіки сумарного одиночного вилучення рейок типу P50, P65, P75 на безстиківій колії із залізобетонними шпалами на ділянках:

1, 2 – температурно зміцнені кінці плит і зрівнювальні ланки для термічно не зміцнених рейок P50 ( $n=38,6 \cdot 10^{-8} T^3$ ) і P65 ( $n=8,52 \cdot 10^{-8} T^3$ ); 3, 4 – те саме для об'ємно загартованих рейок P65 ( $n=5,5 \cdot 10^{-8} T^3$ ) і P75 ( $n=4,6 \cdot 10^{-8} T^3$ ); 5, 6 – середні частини плит для термічно не зміцнених рейок P50 ( $n=2,8 \cdot 10^{-8} T^3$ ) і P65 ( $n=1,78 \cdot 10^{-8} T^3$ ); 7, 8, 9 – те ж для об'ємно загартованих рейок P50 ( $n=0,56 \cdot 10^{-8} T^3$ ), P65 ( $n=0,48 \cdot 10^{-8} T^3$ ) і P75 ( $n=0,46 \cdot 10^{-8} T^3$ )

#### Результати теоретичних розрахунків

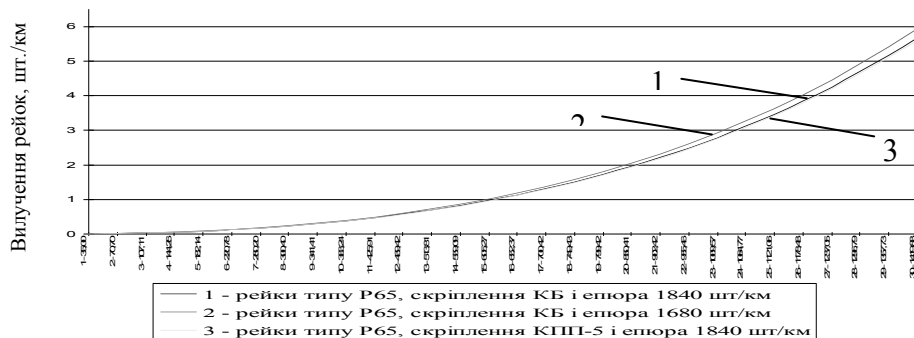


Рис. 7. Сумарний одиночний вихід т/з рейок типу P65,  $\gamma$  шт./км, залежно від пропущеного тонування, млн. т брутто ( $T_0=35,0$ ;  $\alpha=0,02$ , безст. колія, з/б шпали)

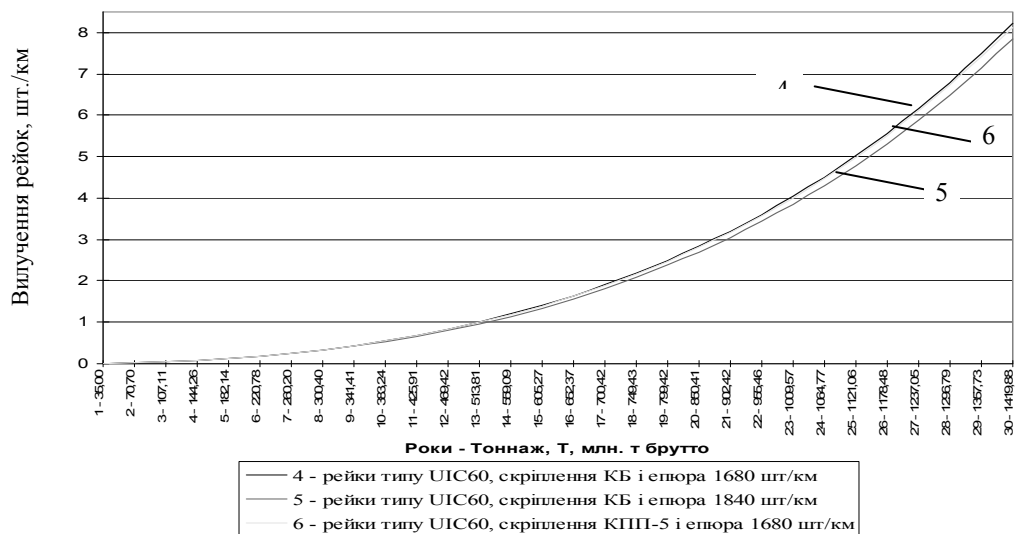


Рис. 8. Сумарний одиничний вихід (вилучення) т/з рейок типу UIC60,  $\gamma$  шт./км, залежно від пропущеного тоннажу, млн. т бруто  $T_0=35,0$ ;  $\alpha=0,02$ , безст. колія, з/б шпали)

Середнє статичне навантаження, рівне приблизно 160 кН, є свого роду, межею при роботі на витривалість сучасних нетермозміцнених рейок типу Р65. Перевищення цієї межі свідчить про необхідність застосування більш міцних або більш потужних рейок. А середнє статичне навантаження, рівне приблизно 190 кН можна вважати як рекомендовану межу при роботі на витривалість для рейок типу Р65 термозміцнених.

Аналіз результатів досліджень європейських залізниць свідчить, що доцільно для українських залізниць встановити диференційовані максимально допустимі осьові навантаження залежно від типів рухомого складу і категорійності колій. Такі нормативи слід розробити для нового Положення про систему ведення колійного господарства українських залізниць, і прийняти після експлуатаційної перевірки.

При розробці рекомендацій по максимально допустимих навантаженнях для сучасних експлуатаційних умов слід особливо враховувати, що мають бути окремі нормативи: для ліній швидкісного руху, ліній пасажирського руху, ліній вантажного руху і ліній суміщеного вантажного і пасажирського руху.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Даніленко Е. І. Залізнична колія./Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомих складом: Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х т.) – К.: Інпрес, 2010.
2. Даніленко Е. І., Возненко А. Д., Талавіра Г. М. Розробка та обґрунтування технічних параметрів та характеристик рейкових скріплень типу КПП для залізобетонних шпал.//Звіт з НДР №605/03-74.03. – К.: КУЕТТ, 2005. – 144 с.
3. Твердомед В. М. Вплив поперечних та поздовжніх сил горизонтальних сил на роботу без підкладкової та підкладкової конструкції рейкової колії: автореферат дис. к.т.н.– К.: ДЕТУТ, 2010. – 21 с.
4. Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, В. О. Яковлев, Ю. Л. Тулей та ін. Положення про систему ведення колійного господарства на залізницях України. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2011. – 96 с.

Тетяна Даніленко

## УРАХУВАННЯ ФОРМИ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ У СТЕРЕОЛОГІЧНОМУ АНАЛІЗІ

*Представлено результати застосування методу стереологічної реконструкції розподілу розмірів структурних складових, який дозволяє враховувати їх геометричну форму. Експериментальним дослідженням доведена вірність вихідних положень методу і способу визначення коефіцієнтів форми на етапі переходу від розподілу довжин хорд  $P_i(l)$  до розподілу розмірів плоских перерізів  $P_i(d)$  поліедрів.*

*Представлены результаты применения метода стереологической реконструкции распределения размеров структурных составляющих, который позволяет учитывать их геометрическую форму. Экспериментальным исследованием доказана верность исходных положений метода и способа определения коэффициентов формы на этапе перехода от распределения длин хорд  $P_i(l)$  к распределению размеров плоских сечений  $P_i(d)$  полиэдров.*

*The results of the stereological reconstruction method application for definition of the structure component size distribution is presented. Method allows take into account the structure component geometric shape. Experimental research have proved of the method basic assumptions correctness and the way correctness of determining the coefficients of the shape in the transition from chord length distribution  $P_i(l)$  to the plane sections size distribution  $P_i(d)$  of polyhedral structure.*

**Ключові слова:** стереологічна реконструкція розподілу розмірів, моделювання структур, металева зеренна структура, моделі структурних складових, форма структурних складових

Методи стереології дозволяють реконструювати розподіл розмірів тривимірних структурних складових (3-D структур) непрозорих матеріалів, виходячи з розподілів їх плоских або лінійних перерізів на плоскому перерізі матеріалу, наприклад, на металографічному шліфі. Найвідоміші стереологічні методи розроблені для сферичних структурних складових [1 – 3], якими не є більшість об'єктів дослідження у різних матеріалах (металеві зерна, неметалеві вclusions в металах, складові у бетонах, гранітах, дисперсні частинки в композитних матеріалах тощо).

Описанню форми несферичних структурних складових присвячено чимало робіт [4 – 8], але це питання продовжує лишатися актуальним. У даному дослідженні представлені результати застосування опублікованого в [9 – 15] методу стереологічної реконструкції 3-D структури, в якому можна використовувати два види вихідної інформації – розподіл розмірів плоских або лінійних перерізів 3-D структур і який дозволяє враховувати форму структурних складових.

© Даніленко Т. П., 2013

---

У даному дослідженні представлені результати застосування опублікованого в [9 – 15] методу стереологічної реконструкції 3-D структури, в якому можна використовувати два види вихідної інформації – розподіл розмірів плоских або лінійних перерізів 3-D структур і який дозволяє враховувати форму структурних складових. Урахування форми здійснюється введенням коефіцієнтів форми  $\alpha_i$  і  $\beta_i$  в розрахункові формули методу, які встановлюють взаємозв'язок між розподілами розмірів сфер  $P(D_k)$  та їх плоских перерізів (кругів)  $P_i(d)$  і хорд  $P_i(l)$ :

$$P_i(d) = \sum_{k=i}^n \alpha_{k-i+1} P(D_k) \left( \sqrt{D_k^2 - d_{i-1}^2} - \sqrt{D_k^2 - d_i^2} \right), \quad (1)$$

$$P_i(l) = \sum_{k=i}^n \beta_{k-i+1} P_k(d) \left( \sqrt{d_k^2 - l_{i-1}^2} - \sqrt{d_k^2 - l_i^2} \right). \quad (2)$$

Дане дослідження належить до аналізу структурних елементів поліедричної форми, передусім, зерених металевих структур, які складаються з поліедрів різних форм і розмірів. Такі структури на плоскому перерізі (металографічному шліфі) представлені багатокутниками різних форм і розмірів, а результатом перерізу цих багатокутників січними лініями є хорди. Якщо вихідною інформацією є розподіл хорд  $P_i(l)$ , який легше визначити ніж розподіл розмірів плоских перерізів  $P_i(d)$ , то згідно з методом [9], спочатку за формулою (2) складають і вирішують відповідну систему рівнянь відносно невідомих  $P_i(d)$ , а потім, використовуючи знайдені  $P_i(d)$ , за формулою (1) складають і вирішують систему рівнянь відносно невідомих  $P(D)_k$ . Тому дуже важливою є правильність визначення  $P_i(d)$  на цьому етапі.

Задачею даного експериментального дослідження був доказ правильності способу визначення коефіцієнтів форми на етапі переходу від розподілу довжин хорд  $P_i(l)$  до розподілу розмірів плоских перерізів  $P_i(d)$  поліедрів і перевірка вихідного положення методу про те, що ймовірність потрапляння плоского перерізу на січну лінію прямо пропорційна розміру плоского перерізу.

Згідно з методом [9 – 15], коефіцієнти форми  $\beta_i$  визначають по кожному  $i$ -му розмірному інтервалу із співвідношення відносних часток хорд від багатокутника і кола, яке є плоским перерізом сфери, відповідно до формули:

$$\beta_i = P_i(l)_{\text{багатокутника}} / P_i(l)_{\text{кола}}. \quad (3)$$

У даному дослідженні моделлю плоского перерізу зеренної структури обрана полідисперсна сукупність правильних п'ятикутників, представлених 5-ма розмірними групами. Кожна група п'ятикутників монодисперсна, тобто п'ятикутники однієї групи мали однаковий розмір, який оцінювався довжиною максимальної хорди ( $l_{max}$ ), яку можна отримати на п'ятикутнику, а саме 9,51; 19,02; 28,53; 38,04; 47,55 мм.

П'ятикутники були створені в комп'ютерній програмі «Компас» у кількості 80 шт., по 16 шт. у кожній групі, тобто в однаковій кількості по групах (рис. 1). Розташування п'ятикутників на рис. було випадковим, а орієнтація кожного наступного в одній розмірній групі відрізнялася від попереднього на  $11,25^\circ$ , що дозволило мінімізувати випадковість в орієнтації п'ятикутників.

Експеримент полягав в нанесенні січних ліній на представлену сукупність п'ятикутників, вимірюванні довжин отриманих хорд, розподіленні їх за розмірами, тобто визначенні  $P_i(l)$ , і порівнянні цього експериментально знайденого розподілу із розрахованим за формулою (2).

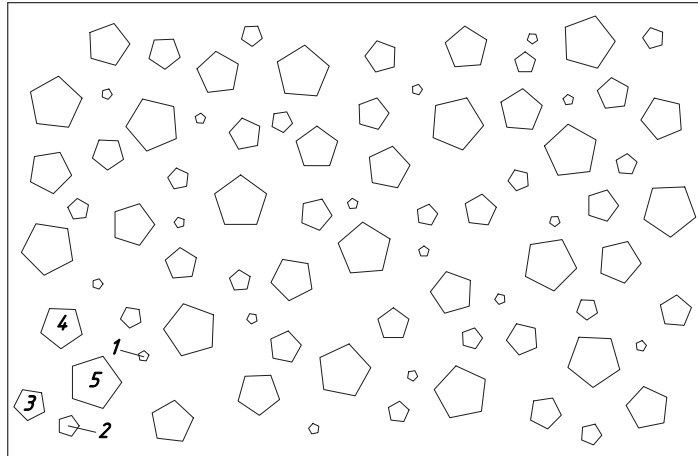


Рис. 1. Сукупність з 80-ти правильних п'ятикутників з  $l_{max}$ , яка дорівнює: 1 – 9,51; 2 – 19,02; 3 – 28,53; 4 – 38,04; 5 – 47,55 мм

Попередньо для розрахунку  $P_i(l)$  експериментально визначили коефіцієнти форми  $\beta_i$  для правильного п'ятикутника. Для цього відповідно до формули (3) розрахували  $P_i(l)_{кола}$ , а  $P_i(l)_{п'ятикутника}$  визначили експериментально.

Розрахунок  $P_i(l)_{кола}$  виконали, виходячи з того, що відносна частка хорд певної розмірної групи  $(l_{i-1} \dots l_i)$  від кола діаметром  $d_k$  відповідає відношенню довжин  $2AB/d_k$ , (рис. 2) [13 – 15], тому розподіл хорд  $P_i(l)_{кола}$  від кола діаметром  $d_k$  визначили за формулою:

$$P_i(l)_{кола} = \frac{\sqrt{d_k^2 - l_{i-1}^2} - \sqrt{d_k^2 - l_i^2}}{d_k}. \quad (4)$$

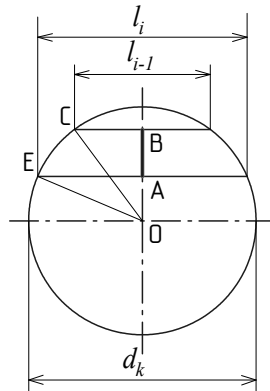


Рис. 2. Схема для визначення відносної частки хорд  $P_i(l)_{кола}$  довжиною  $(l_{i-1} \dots l_i)$  від кола діаметром  $d_k$

Оскільки для аналізу обрана структура, яка складалася з п'яти розмірних груп, то приймаючи діаметр кола  $d = 1,0$  умовній одиниці (ум. од.), до аналізу застосували рівномірну шкалу з п'ятьма розмірними інтервалами:  $(0 \dots 0,2)$ ,  $(0,2 \dots 0,4)$ ,  $(0,4 \dots 0,6)$ ,  $(0,6 \dots 0,8)$  і  $(0,8 \dots 1,0)$  ум. од. (рис. 3). Відносну частку хорд інтервалу  $(0,8 \dots 1,0)$  ум. од. визначили як відношення двох довжин відрізка  $OA$  до діаметра  $d$  1,0 ум. од.; частку хорд інтервалу  $(0,6 \dots 0,8)$  ум. од. визначили як відношення двох довжин відрізка  $AB$  до діаметра  $d$  і т.д.

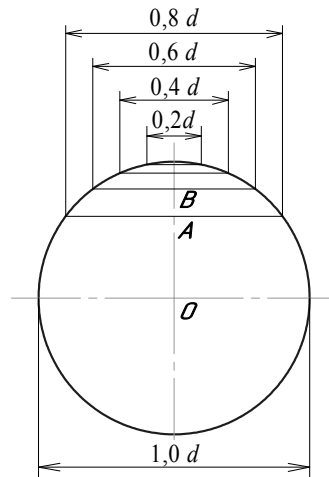


Рис. 3. Схема для визначення часток  $P_i(l)_{\text{кола}}$  в п'яти розмірних інтервалах

Відповідно до наведених пояснень, розрахунок  $P_i(l)_{\text{кола}}$  виконано за формулою:

$$P_i(l)_{\text{кола}} = \sqrt{1^2 - l_{i-1}^2} - \sqrt{1^2 - l_i^2}.$$

Результати розрахунків подані в табл. 1.

Таблиця 1. Розраховані  $P_i(l)_{\text{кола}}$  для розмірної шкали з п'яти інтервалів

$P_i(l)_{\text{кола}}$	$P_1(l)$	$P_2(l)$	$P_3(l)$	$P_4(l)$	$P_5(l)$
Відносні частки	0,02020	0,06328	0,11652	0,2	0,6

Для полідисперсної системи кіл, яка складається з п'яти монодисперсних систем, приймаємо, що кола кожної монодисперсної системи мають розмір, що відповідає значенню верхньої границі розмірного інтервалу (рис. 4). У результаті нанесення січних ліній на групу кіл п'ятого інтервалу такої системи отримуємо перерізи-хорди у всі п'ять інтервалів у відношенні, наведеному в табл. 1.

Кола четвертого інтервалу, тобто діаметром  $d = 0,8$  ум. од., дають хорди тільки в чотири інтервали  $(0 \dots 0,2)$ ,  $(0,2 \dots 0,4)$ ,  $(0,4 \dots 0,6)$  і  $(0,6 \dots 0,8)$  ум. од., а саме: у співвідношенні: 0,03175; 0,10222; 0,20459; 0,66144.

При цьому відносна частка хорд інтервалу  $(0,6 \dots 0,8)$  ум. од. визначається відношенням двох довжин відрізка  $OA$  до довжини діаметра  $d = 0,8$  ум. од. (див. рис. 4 для  $d = 0,8$ ); частка хорд інтервалу  $(0,4 \dots 0,6)$  ум. од. визначається відношенням двох довжин відрізка  $AB$  до довжини діаметра  $d = 0,8$  ум. од. і т.д.

Кола діаметром  $d = 0,6$  ум. од., дають хорди тільки в три інтервали  $(0 \dots 0,2)$ ,  $(0,2 \dots 0,4)$  і  $(0,4 \dots 0,6)$  ум. од., а саме у співвідношенні: 0,05719; 0,19745; 0,74536.

Кола діаметром  $d = 0,4$  ум. од., дають хорди в два інтервали  $(0 \dots 0,2)$  і  $(0,2 \dots 0,4)$  ум. од., а саме у співвідношенні: 0,13397; 0,86603. Кола діаметром  $d = 0,2$  ум. од. дають хорди тільки в перший розмірний інтервал  $(0 \dots 0,2)$  ум. од.

Експериментальне визначення  $P_i(l)_{\text{н'ятикутника}}$  виконали у програмі «Компас» на п'ятикутника, максимальна хорда  $l_{\text{max}}$  від якого становила 70 мм, що ілюструє рис. 5, а

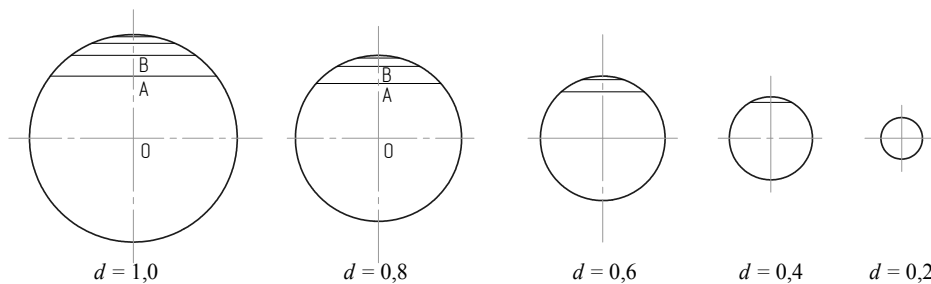


Рис. 4. Схема для визначення відносних часток  $P(l)$  від кіл діаметрами  $d$  1,0; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2 ум. од. (горизонтальними лініями позначені границі розмірних інтервалів обраної шкали).

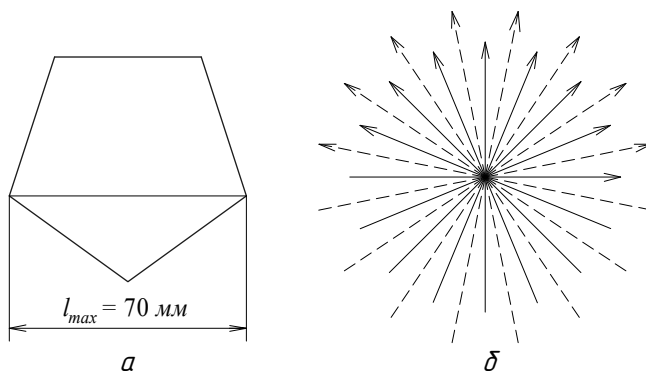


Рис. 5. Правильний п'ятикутник з максимальною хордою  $l_{max}=70$  мм (а) і напрямки нанесення на п'ятикутник січних ліній (б)

На цей п'ятикутник відповідно до [16] були нанесені 16 груп паралельних січних ліній, напрямки яких показані на рис. 5, б. Відстань між лініями однієї групи складала 1 мм, а кут між двома сусідніми групами ліній був  $11,25^{\circ}$ . Хорди, отримані в результаті перетину січних ліній з п'ятикутником, були заміряні і розподілені у рівномірних розмірних шкалах з двох, трьох, чотирьох і п'яти інтервалів, тобто знайдені необхідні для розрахунку коефіцієнтів форми  $\beta_i$  розподіли  $P_i(l)_{п'ятикутника}$ .

Для підтвердження достатності для експеримента отриманої кількості хорд, їх визначення проведено у два етапи: спочатку для напрямів, показаних на рис. 5, б суцільними лініями (серія I), а потім – показаних пунктирними (серія II) і по двом серіям спільно (I+II). Результати подані у табл. 2.

Таблиця 2. Розподіли хорд від п'ятикутника і кола у п'яти інтервалах і коефіцієнти форми  $\beta_{11} \dots \beta_{15}$

Розмірні інтервали, мм	0...14	14...28	28...42	42...56	56...70
Кількість хорд серії I, шт.	53	51	52	166	226
Кількість хорд серії II, шт.	51	53	52	163	229
Кількість хорд двох серій (I+II), шт.	104	104	104	329	455
Відносні частки хорд $P_i(l)_{п'ятикутника}$ (серій I+II), %	9,489	9,489	9,489	30,018	41,515
Розраховані відносні частки хорд від кола $P_i(l)_{кола}$ , %	2,020	6,328	11,652	20,0	60,0
Коефіцієнти форми $\beta_i$	$\beta_{11}$	$\beta_{12}$	$\beta_{13}$	$\beta_{14}$	$\beta_{15}$
	4,698	1,500	0,814	1,501	0,692

Близькість отриманих розподілів хорд по серіях січних I і II показала достатність нанесення тільки однієї з серій, що відповідає восьми групам паралельних січних з кутом між двома сусідніми групами січних  $22,5^0$ .

В *табл. 2* наведені також розраховані відносні частки хорд від кола  $P_i(l)_{\text{кола}}$ .

Далі, відповідно до пояснення до визначення  $P_i(l)_{\text{кола}}$  у п'яти розмірних інтервалах, експериментально знайшли розподіл хорд від правильного п'ятикутника  $P_i(l)_{\text{п'ятикутника}}$  і розраховали за формулою (3) коефіцієнти форми  $\beta_i$  таким чином.

П'ятикутники 1-го розмірного інтервалу, як і кола, дають хорди тільки в 1-й розмірній інтервал, тому  $\beta_1=1$ .

П'ятикутники 2-го розмірного інтервалу дають хорди в 1-й і 2-й інтервали.

Оскільки для аналізу обраний п'ятикутник з  $l_{\text{max}}=70$  мм, то перший інтервал включає діапазон хорд (0...35) мм, а другий – (35...70) мм. Усього на п'ятикутнику було виміряно 1096 хорд і з них у 1-й інтервал потрапило 260 хорд, а у другий – 836, що у відсотках склало 23,723 і 76,277 % відповідно. Розраховуємо коефіцієнти форм для цих інтервалів:

$$\beta_2 = \frac{23,723}{13,397} = 1,771; \quad \beta_3 = \frac{76,277}{86,603} = 0,881.$$

П'ятикутники третього інтервалу дають хорди в 1-й, 2-й і 3-й розмірні інтервали. Для п'ятикутника з  $l_{\text{max}}=70$  мм перший інтервал включає діапазон хорд (0...23,33) мм, другий – (23,33...46,67) мм, третій – (46,67...70) мм і 1096 хорд розподілилися по цих інтервалах у кількості: 171, 208, 717 шт., що у відсотках склало 15,602; 18,978; 65,420 % відповідно. Розраховуємо коефіцієнти форми для цих інтервалів:

$$\beta_4 = \frac{15,602}{5,719} = 2,728; \quad \beta_5 = \frac{18,978}{19,745} = 0,961; \quad \beta_6 = \frac{65,420}{74,536} = 0,878.$$

П'ятикутники четвертого інтервалу дають хорди в 1-й, 2-й, 3-й і 4-й розмірні інтервали. Для п'ятикутника з  $l_{\text{max}}=70$  мм перший інтервал включає діапазон хорд (0...17,5) мм, другий – (17,5...35,0) мм, третій – (35,0...52,5), четвертий – (52,5...70) мм і 1096 хорд розподілилися по цих інтервалах у кількості: 129, 132, 268 і 567 шт., що у відсотках склало 11,770; 12,044; 24,452 і 51,734 % відповідно. Розраховуємо коефіцієнти форми для цих інтервалів:

$$\beta_7 = \frac{11,770}{3,175} = 3,707; \quad \beta_8 = \frac{12,044}{10,222} = 1,178; \quad \beta_9 = \frac{24,452}{20,459} = 1,195; \quad \beta_{10} = \frac{51,734}{66,144} = 0,782.$$

П'ятикутники п'ятого інтервалу дають хорди в п'ять інтервалів, результати розподілу хорд і розраховані коефіцієнти форми  $\beta_{11}$ ;  $\beta_{12}$ ;  $\beta_{13}$ ;  $\beta_{14}$ ;  $\beta_{15}$  наведені в *табл. 1*.

Формули для розрахунку  $P_i(l)_{\text{п'ятикутника}}$  в розмірній шкалі з 5-ти інтервалів мають такий загальний вигляд:

$$\begin{aligned} P_5(l) &= \beta_{15} P_5(d) \sqrt{d_5^2 - l_4^2}; \\ P_4(l) &= \beta_{10} P_4(d) \sqrt{d_4^2 - l_3^2} + \beta_{14} P_5(d) (\sqrt{d_5^2 - l_3^2} - \sqrt{d_5^2 - l_4^2}); \\ P_3(l) &= \beta_6 P_3(d) \sqrt{d_3^2 - l_2^2} + \beta_9 P_4(d) (\sqrt{d_4^2 - l_2^2} - \sqrt{d_4^2 - l_3^2}) + \beta_{13} P_5(d) (\sqrt{d_5^2 - l_2^2} - \sqrt{d_5^2 - l_3^2}); \\ P_2(l) &= \beta_3 P_2(d) \sqrt{d_2^2 - l_1^2} + \beta_5 P_3(d) (\sqrt{d_3^2 - l_1^2} - \sqrt{d_3^2 - l_2^2}) + \beta_8 P_4(d) (\sqrt{d_4^2 - l_1^2} - \sqrt{d_4^2 - l_2^2}) + \\ &+ \beta_{12} P_5(d) (\sqrt{d_5^2 - l_1^2} - \sqrt{d_5^2 - l_2^2}); \end{aligned}$$

$$P_i(l) = \beta_1 P_1(d) d_1 + \beta_2 P_2(d) (\sqrt{d_2^2} - \sqrt{d_2^2 - l_1^2}) + \beta_4 P_3(d) (\sqrt{d_3^2} - \sqrt{d_3^2 - l_1^2}) + \beta_7 P_4(d) (\sqrt{d_4^2} - \sqrt{d_4^2 - l_1^2}) + \beta_{11} P_5(d) (\sqrt{d_5^2} - \sqrt{d_5^2 - l_1^2}).$$

Отримані результати мають бути пронормовані [9; 10] за формулою:

$$P'_i(l) = P_i(l) / \sum_{i=1}^n P_i(l). \quad (5)$$

Результати розрахунку за наведеними формулами розподілу  $P_i(l)$  і  $P'_i(l)$  для полідисперсної структури з п'ятикутників, представленої на *рис. 1*, наведені у *табл. 3*. У *табл. 3* наведені також дані експериментально визначеного розподілу  $P_i(l)_{екс}$ , який отримали в результаті нанесення на полідисперсну сукупність п'ятикутників (див. *рис. 1*) паралельних січних ліній з відстанню між сусідніми лініями 0,5 мм; вимірювання довжин отриманих хорд у кількості 4477 шт. і розподілення їх за розмірами.

Близькість розподілів експериментального  $P_i(l)_{екс}$  і розрахованого  $P'_i(l)$  підтвердила вірність способу визначення коефіцієнтів форми на етапі переходу від розподілу довжин хорд  $P_i(l)$  до розподілу розмірів плоских перерізів  $P_i(d)$  поліедрів (багатокутників). Максимальне відносне відхилення розрахованого  $P'_i(l)$  від  $P_i(l)_{екс}$  становить тільки 1,08 %. Разом з тим, розрахунок  $P'_i(l)_{сф}$  за формулою (2), але без коефіцієнтів форми (тобто з використанням сферичної моделі багатокутника), дав результат, який значно відрізнявся від  $P_i(l)_{екс}$ , особливо для першого та п'ятого інтервалів (відхилення, відповідно, 42,6 і 44,2 %), що свідчить про некоректність використання сферичної моделі до стереологічного аналізу структурних складових несферичної форми.

Крім того, підтверджене вихідне положення методу про те, що ймовірність потрапляння плоского перерізу на січну лінію прямо пропорційна розміру плоского перерізу, оскільки співвідношення кількості хорд, отриманих на п'ятикутниках п'яти розмірних груп практично співпало із співвідношенням їх  $l_{max}$  (або їх площ), а саме, співвідношення  $l_{max}$  відповідає: 9,51 : 19,02 : 28,53 : 38,04 : 47,55 = 1 : 2 : 3 : 4 : 5, а співвідношення кількостей хорд, отриманих від кожної з п'яти груп п'ятикутників: 298 : 597 : 895 : 1195 : 1492 = 1 : 2,003 : 3,003 : 4,010 : 5,007.

Знайдені  $P_i(l)_{екс}$  і  $P'_i(l)$ , визначене експериментально, були застосовані як вихідна інформація для реконструкції розподілу розмірів п'ятикутників за системою рівнянь, сформованих за формулою (2), в яких невідомим були  $P_k(d)$ . Результати реконструкції були про нормовані за формулою:

$$P'_k(d) = P_k(d) / \sum_{i=1}^n P_k(d).$$

Результати наведені в *табл. 4*. Розподіл  $P_k(d)$ , розрахований з вихідного  $P_i(l)_{екс}$ , мав незначні відхилення від вихідного рівномірного по інтервалах розподілу п'ятикутників, що свідчить про деяку недостатність кількості заміряних хорд (4477 шт.) і необхідність отримання більш достовірної вихідної інформації по  $P'_i(l)$  для стереологічної реконструкції структур.

Розподіл  $P_k(d)$ , розрахований з вихідного  $P'_i(l)$  практично співпав з вихідним рівномірним по інтервалах розподілом п'ятикутників, що підтвердило правильність самого методу реконструкції і способу урахування форми структурних елементів.

Таблиця 3. Результати дослідження полідисперсної системи п'ятикутників

Розмірні інтервали, мм	0...9,51	9,51... 19,02	19,02... 28,53	28,53... 38,04	38,04... 47,55
Частки $P_i(l)$ розраховані	5,4930	5,8039	6,4961	6,7901	3,9486
Частки $P'_i(l)$ нормовані, %	19,252	20,342	22,768	23,798	13,839
Розподіл хорд (4477 шт.) по розмірних інтервалах, визначений експериментально, шт.	867	901	1024	1064	621
Частки $P_i(l)_{екс}$ визначені експериментально аналізом 4477 хорд, %	19,366	20,125	22,872	23,766	13,871
Абсолютне відхилення розрахованого $P'_i(l)$ від $P_i(l)_{екс}$	0,114	0,217	0,104	0,032	0,032
Відносне відхилення розрахованого $P'_i(l)$ від $P_i(l)_{екс}$ , %	0,59	1,08	0,45	0,13	0,23
Частки $P_i(l)_{сф}$ розраховані для сферичної моделі, %	11,117	20,331	24,243	24,309	20,0
Відносне відхилення розрахованого $P_i(l)_{сф}$ від $P_i(l)_{екс}$ , %	42,6	1,0	6,0	2,3	44,2

Таблиця 4. Результати реконструкції  $P_i(d)$  сукупності п'ятикутників

Розмірні інтервали, мм	0...9,51	9,51... 19,02	19,02... 28,53	28,53... 38,04	38,04... 47,55
Вихідний розподіл $P_k(d)$ , %	20	20	20	20	20
Розподіл $P'_i(d)$ , розрахований від $P'_i(l)$ , %	19,9991	20,0007	20,0005	19,9998	20
Розподіл $P'_i(d)$ , розрахований від $P_i(l)_{екс}$ , %	20,465	19,482	20,154	19,886	20,013

## ЛІТЕРАТУРА

1. С. А.Салтыков. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1976.
2. E. Underwood. Quantitative Stereology. Addison-Wesley Publishing Comp., Massachusetts, 1970.
3. J. C.Russ, R. T.Dehoff. Practical Stereology. Springer, 2001.
4. Williams W., Smith C. // Trans. AIME. – 1952. – 194. – P. 755 – 761.
5. Rhines F.N., Patterson B.R. // Metal Trans. – 1982. – 13A. – P. 985 – 993.
6. Takayama Y., Tozawa T. // Proc. Conf. on Science and Engineering of Light Metals. RASELM'91. – Tokyo, Japan. – Oct. 1991. – P. 947 – 952.
7. Steele G.H. // Proc. Second Int. Cong. for Stereology. – New York. – 1967. – P. 74 – 76.
8. Takayama Y., Furushiro N. // Mat. Trans. JIM. – 1991. – 32. – № 3. – P. 214 – 221.
9. Патент на винахід № 97453, Україна. Спосіб визначення основних параметрів об'ємної структури металевих матеріалів / Т. П.Даніленко, Е.І.Даніленко // Бюл. «Промислова власність». – 2012. – № 3.
10. Даніленко Т. П. Оптимизация режимов термической обработки на основе разработки нового метода определения параметров пространственной зеренной структуры: дис. канд. техн. наук / ДМети. – Днепропетровск, 1988. – 227 с.
11. Danilenko T. Proc. 1-st Int. Conf. "Development, Testing and Application of Materials". – Croatia, 1996. – P. 89 – 95.
12. А.с. 1397832 СССР. Способ определения распределения размеров плоских сечений зерна металлографических образцов / Е.Я.Лезинская, Т.П.Даніленко. // Бюл. изобретений. – 1988. – № 19.
13. Даніленко Т. П. Стереологічна реконструкція і математичне моделювання тривимірних структур. // Збірник наукових праць ДЕТУТ. – Серія: Транспортні системи і технології. – К.: ДЕТУТ. – Вип. 16. – 2010. – С.100-109
14. Даніленко Т. П. Застосування стереології до аналізу металевих зеренних структур. // Металознавство та обробка металів. – 2010. – № 3. – С. 35 – 42.
15. Даніленко Т. П. Визначення параметрів об'ємної зеренної структури металевих матеріалів // Металознавство та обробка металів. – 2013. – № 1. – С. 38 – 47.
16. Способ определения распределения размеров плоских сечений зерна металлографических образцов. – 17. А.С. СССР № 1397832. // Лезинская Е. Я., Даніленко Т. П. – Оpubл., 1988. – Бюл. №19.

Сергій Карпінський

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І СПОСОБІВ РОЗРЯДКИ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАПРУЖЕНЬ У РЕЙКОВИХ ПЛІТЯХ БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ

*В статті представлений широкий аналіз технологій і способів розрядки температурних напружень в рейкових плітях безстикової колії. Розрядка внутрішніх температурних напружень в рейкових плітях – робота, яка виконується для закріплення рейкових плітей в розрахунковому температурному інтервалі на постійний режим експлуатації. При розрядці температурних напружень необхідно виконувати найбільш повне зняття напружень в рейкових плітях. Необхідно контролювати якість розрядки по повздовжніх переміщеннях окремих перерізів пліті відносно постійних реперів.*

*В статье представлен широкий анализ технологий и способов разрядки температурных напряжений рельсовых плетей бесстыкового пути. Разрядка внутренних температурных напряжений рельсовых плетей – работа, которая выполняется для закрепления рельсовых плетей в расчетном температурном интервале на постоянный режим эксплуатации. При разрядке температурных напряжений необходимо выполнять наиболее полное снятие напряжений в рельсовых плетях. Необходимо контролировать качество разрядки по продольных перемещениях отдельных сечений плети относительно постоянных реперов.*

*This paper presents a wide analysis of technologies and methods discharge temperature stress in continuous welded rail track raft. Relaxation of internal stresses in the rail temperature raft-Work in progress for fixing rail raft in a predetermined temperature range for continuous operation. When discharge temperature stresses need to perform the most complete removal of stresses in the rail raft. Necessary to control the quality of discharge by longitudinal movement of individual sections of the raft relatively constant rappers.*

**Ключові слова:** рейкові пліті безстикової колії, розрядка температурних напружень, «маячні» шпали, створи, репери.

Безстикова колія має більший техніко-економічний ефект порівняно з ланковою колією і досягається він, в основному, за рахунок різкого зменшення кількості болтових рейкових стиків у її конструкції. Із збільшенням довжини рейкових плітей збільшується рівень стійкості колії та рейкових плітей, зменшується інтенсивність накопичення несправностей в колії, витрати праці на її утримання і ремонти.

Безстикова колія має більший техніко-економічний ефект порівняно з ланковою колією і досягається він, в основному, за рахунок різкого зменшення кількості болтових рейкових стиків у її конструкції. Із збільшенням довжини рейкових плітей

© Карпінський С. Л., 2013

---

---

збільшується рівень стійкості колії та рейкових плітей, зменшується інтенсивність накопичення несправностей в колії, витрати праці на її утримання і ремонти.

Запорукою успіху поточного утримання безстикової колії є знання особливостей її конструкції, закріплення рейкових плітей в межах розрахункового температурного інтервалу, дотримання температурних умов виконання колійних робіт. Основною особливістю безстикової колії є постійно діючі поздовжні температурні сили та напруження в рейкових плітях.

Розрядка (знімання) внутрішніх температурних напружень в рейкових плітях – специфічна робота, притаманна безстиковій колії, яка виконується для закріплення рейкових плітей в розрахунковому температурному інтервалі на постійний режим експлуатації з мінімальними початковими напруженнями для забезпечення стійкості колії проти її викиду при підвищених літніх температурах і цілісності рейкових плітей взимку. Згідно з Технічними вказівками [1] вона виконується в таких випадках:

- при перезакріпленні плітей на постійний режим експлуатації після їх тимчасового закріплення за межами розрахункового температурного інтервалу або в необхідних випадках перед зварюванням в довгі пліті;
- при необхідності виконання ремонтних робіт із використанням важких колійних машин, коли температура рейкових плітей перевищує допустимі відхилення від температури їх закріплення;
- при виникненні різкого викривлення в плані і його виправлення в період високих літніх температур.

Найвідповідальнішою із вказаного вище переліку розрядок є перша, тобто розрядка температурних напружень при закріпленні рейкових плітей на постійний режим експлуатації або при підготовці коротких рейкових плітей для їх зварювання в довгі. При цій розрядці необхідне найбільш повне зняття напружень в рейкових плітях, для чого вони повинні бути поставлені на коткові опори, а саме: роликові, шарикові, підвісні) або на пластини з нержавіючої сталі, фторопласту, нафтену, поліаміду та інших матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя (не більш 0,1), а при їх відсутності – на прокладки з поліетилену.

При застосуванні роликових опор їх встановлюють не рідше ніж через 15 шпал. Самі ролики повинні бути діаметром 20-22 мм. Конструкція їх має забезпечувати швидкість і безпеку при встановленні та знятті, а також перпендикулярність до осі рейки. В місцях встановлення роликів підрейкові прокладки повинні бути тимчасово вилучені. При застосуванні інвентарних прокладок з низьким коефіцієнтом тертя загальною товщиною 8-10 мм вони встановлюються прямо на основні підрейкові прокладки на кожній 15-й шпалі. Для кращого вирівнювання напружень необхідно додатково струснути пліті ударами дерев'яних кувалд або механічними пристроями.

Якість розрядки перевіряють по поздовжніх переміщеннях окремих перерізів пліті відносно постійних реперів (опори контактної мережі, штучних споруд тв ін.) або «маячних» шпал (рис. 1) і нанесених між ними через 50 м додаткових рисок, а також по збільшенню або зменшенню довжини пліті, що спостерігається на її кінцях. Для цього виконують відповідні розрахунки.

---

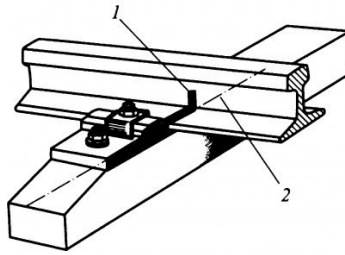


Рис. 1. «Маячна» шпала для контролю уgonу та температурно-напруженого стану рейкових плітей безстикової колії:

1 – риска, 2 – лінія сполучення риски з кромкою підкладки

Величина подовження або скорочення рейкової пліти на її кінцях (зрівнювальних рейок)  $\Delta L$ , м, при розрядці температурних напружень (введенні в розрахунковий інтервал температур) визначається за формулою:

$$\Delta L = \alpha \frac{L}{2} (t_p - t_3), \quad (1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного температурного розширення рейкової сталі,  $\alpha = 0,0000118$ ,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$L$  – довжина рейкової пліти, м;

$t_p$  – температура рейкової пліти під час розрядки,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_3$  – температура рейкової пліти при попередньому закріпленні,  $^\circ\text{C}$ .

Оскільки подовження або скорочення рейкової пліти відбувається з подоланням погонного опору, то для зручності контролю, повноти та рівномірності зняття температурних напружень по всій довжині рейкової пліти користуються розробленим графіком розрахункових переміщень (рис. 2), де величина переміщень в кожному контрольному перерізі визначається за формулою

$$\Delta l = \alpha (t_p - t_3) \sum_{i=1}^n l_i, \quad (2)$$

де  $l_i$  – відстань між контрольними перерізами, яка складає, як правило, 50 м;

$n$  – кількість контрольних перерізів по довжині півпліти.

Результати проведених розрахунків дозволяють здійснювати контроль повної зміни довжини пліти – по переміщенню рисок, що нанесені по підшві рейки над «маячними» шпалами та відносно додаткових міток.

Поздовжні переміщення вказаних міток відносно реборд підкладок КБ контролюють металевою лінійкою. Розрядка напружень буде виконаною, якщо досягнуто лінійне розподілення фактичних деформацій по довжині пліти, що співпадає з попередньо розрахованими для всієї пліти та її відрізків по 50 м з точністю до  $\pm 2$  мм.

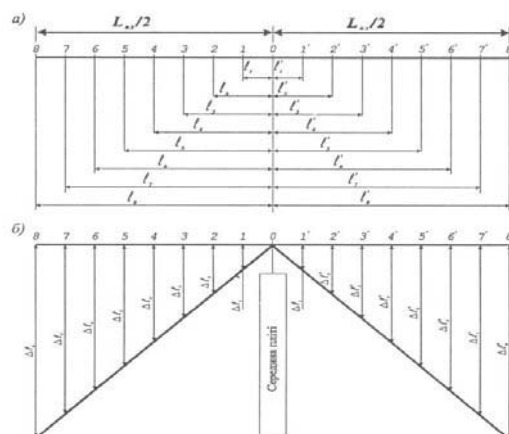


Рис. 2. Схема розмітки контрольних перерізів по довжині рейкової пліти (а) та графік розрахункових переміщень (б)

При невідповідності зміни довжини пліти розрахунковим значенням або нерівномірному зміщенні проміжних рисок визначаються та усуваються причини, що перешкоджають повному зняттю напружень, – недостатньо ослаблені болти, перекошені підкладки, недовивішені пліти на опорах. Особлива увага цим обставинам приділяється при виконанні робіт в кривих ділянках колії. Якщо після усунення вказаних причин не вдається отримати розрахункові зміни довжини пліти як в цілому, так і по окремим створам, виконують регулювання її переміщень із застосуванням ударних або гідравлічних приладів з переміщенням їх вздовж пліти від середини до кінців при зніманні стискуючих напружень і навпаки при розтягуючих.

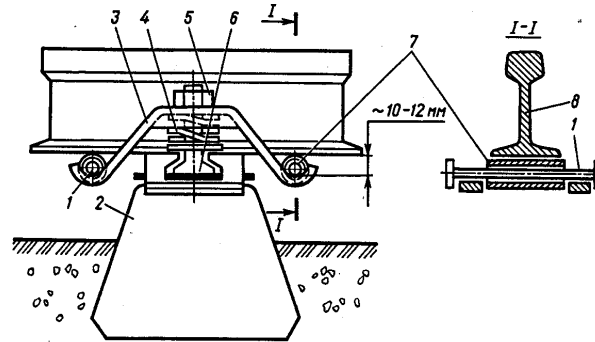
Залежно від технічних засобів, що використовуються при розрядці температурних напружень, роботи проводяться або у технологічне чи спеціальне «вікно» з виваженням рейкових плітей на ролики або в інтервалах між поїздами при встановленні плітей на ковзкі прокладки з малим коефіцієнтом тертя або підвісні ролики.

Технологія і спосіб розрядки температурних напружень безстикової колії залежить від довжини рейкових плітей, наявності робочої сили, тривалості «вікна» і технічних засобів, що використовуються при розрядці температурних напружень.

Для аналізу технологій і способів розрядки температурних напружень в рейкових плітях використовую нормативну літературу Укрзалізниці, Російських залізниць і запатентовані винаходи України та Росії.

Спочатку розглядаємо технологію розрядки температурних напружень з використанням пристрою з підвісними роликами. У підготовчий період виконуються роботи протягом одного дня бригадою з шести monterів. У цей день монтери колії очищують від бруду та засмічувачів скріплення, вирізають (при необхідності) баласт з-під подошви рейки в місцях установки пристрою з підвісними роликами. Розрахункові створи розмічають через 50 м по всій довжині плітей, починаючи від їх середини в обидва боки. При цьому на подошву рейок наносять розрахункові та деформаційні риси і поряд з ними записують розрахункові деформації вказаних відрізків плітей. Також розмічають кожен 15-у шпалу для установки пристрою з підвісними роликами. На дрезині ДГК<sup>У</sup> монтери підвозять зі стелажу рейки для заміни в зрівнювальному прольоті, а з контейнерів доставляють пристрої з підвісними роли-

ками, розкладають і встановлюють їх на кожній 15-й шпалі (рис. 3) таким чином: знімають клеми, на клемні болти надівають додаткові двовиткові шайби. Після чого на них встановлюють пари коромисел, затягують фіксуєчі гайки клемних болтів до повного стиснення шайб і під подошву рейки встановлюють осі роликів з трубками. Потім фіксуєчі гайки відкручують на 5-6 обертів і ролики автоматично підтискаються під подошву рейки пружними шайбами.



**Рис. 3. Підвісні ролики для розрядки напружень в рейкових плітях без припинення руху поїздів:** 1 – вісь ролика; 2 – шпала; 3 – коромисло; 4 – шайба скріплення КБ; 5 – гайка; 6 – клемний болт; 7 – трубка; 8 – рейка

Основні роботи виконують протягом одного дня бригадою у складі 30 monterів колії. Після огороження місця робіт сигналами зупинки і установки в місцях заміни обвідних перемичок 30 monterів колії міняють примикаючі до рейкових плітей зрівнювальні рейки, встановлюють інвентарні накладки з боку пліті та рейкові вкладиші. Потім 26 monterів колії чотирма групами по обох рейкових нитках, рухаючись від кінців плітей до їх середини, виконують суцільне ослаблення гайок клемних болтів і пристроїв на 5-6 обертів. По мірі звільнення рейкових плітей від закріплення вони автоматично вивішуються на роликах пристроїв, подошва рейок пружно відокремлюється від прокладок, здійснюється вільне знімання напружень. По мірі подовження (вкорочення) пліті 4 монтери колії встановлюють для пропуску поїздів рейкові вкладиші, а після повної розрядки міняють інвентарні накладки на типові, знімають обвідні перемички. Рухаючись від середини до кінців плітей чотирма групами 26 monterів колії закріплюють гайки клемних болтів на кожній третій шпалі.

Для контролю рівномірності зняття напружень в рейкових плітях металевою лінійкою вимірюють фактичні деформації по розміченим створам і по кінцям плітей, а потім співставляють ці величини з розрахунковими.

Після обідньої перерви 10 monterів колії знімають пристрої з підвісними роликами та встановлюють клеми з докручуванням гайок, 20 monterів колії закріплюють гайки клемних болтів на пропущених шпалах, що залишилися з незакріпленими клемами.

В кінці робочого дня усі монтери колії підтягують гайки клемних болтів на плітях і заміненіх зрівнювальних рейках, стикових болтах, прибирають рейки на стелажі, а пристрої з підвісними роликами в контейнери.

Основна перевага наведеної технології в тому, що залишкові напруження в рейкових плітях знімаються найбільш повно завдяки сполученню двох одночасно діючих факторів: роликів, що знижують тертя по подошві рейок в 10 разів, і

---

динамічних силових діянь від коліс рухомого складу графікових поїздів, що проходять по звільненій від закріплення рейковій пліті.

Технологія розрядки температурних напружень безстикової колії з використанням ковзких пар з малим коефіцієнтом тертя практично аналогічна розглянутій технології розрядки температурних напружень з використанням пристроїв з підвісними роликами.

*Технологія розрядки температурних напружень в рейкових плітях  
з постановкою їх на ролики*

Напередодні (за день – два) до розрядки температурних напружень розраховують величину зміни довжини плітей з урахуванням очікуваної температури рейок під час розрядки. Готують вкорочені (подовжені) рейки та підвозять їх до місця вкладання.

До початку «вікна» на «маячних» шпалах і створах через 50 м наносять контрольні риси для можливості контролю по них за рівномірністю зняття температурних напружень по довжині пліті, в якій виконують розрядку. Знімають п'ятий та шостий стикові болти зі стиків рейок, які замінюють, в зрівняльних прольотах. Решту стикових болтів змащують та перевіряють на зручність їхнього зняття під час «вікна». Послаблюють гайки клемних болтів роздільного скріплення на 7-8 обертів на чотирьох шпалах підряд, залишаючи їх закріпленими на кожній п'ятій шпалі.

В основний період після закриття перегону (у «вікно») дві бригади по 14 monterів колії кожна на половині рейкових плітей замінюють пару зрівнювальних рейок, що примикають до кожного кінця обох плітей. Починаючи з кінця рейкової пліті на кожній 15 шпалі знімають клемні болти і під подошву рейкових плітей вкладають металеві ролики для виключення опору тертя подошви рейки по підкладці (розміри металевих ролика 125x20 мм), послаблюють на 7-8 обертів гайки клемних болтів на пропущених шпалах, слідкують за заміною довжини розкріплених плітей. Для повного зняття залишкових температурних напружень та їх вирівнювання по довжині після виваження плітей на ролики їх потрібно додатково струснути, наприклад, ударами дерев'яних молотів або механічними вібраторами. Ознакою досягнення мети є пружинення пліті.

При досягненні на кожній контрольній позначці розрахункових переміщень ролики знімають, ставлять накладки і збирають стики. Ставлять усі клемні болти і, починаючи від середини рейкової пліті, закручують їх на кожній п'ятій шпалі з нормативним зусиллям (200 Нм) і перегін відкривають для руху поїздів зі швидкістю 25 км/год.

Пропущені клемні болти ставлять і затягують на них гайки вже після відкриття перегону. Після закріплення усіх гайок на клемних болтах відмінюють попередження про зменшення швидкості руху, спричиненого роботою по розрядці напружень.

Для проведення більш широкого аналізу розглянемо спосіб розрядки температурних напружень в рейкових плітях безстикової колії згідно з Патентом [3]. Запропонований авторами спосіб створення необхідних напружень в рейкових плітях безстикової колії виконується таким чином:

- розмічаються місця розміщення контрольних перерізів на рейкових плітях;
- звільняють поступово проміжні скріплення окремих ділянок укладених рейкових плітей;
- вигинають стрілу вигину в межах розкріпленої ділянки;
- безперервно переміщують стрілу вигину від початку до кінця робіт;

---

– збільшують рівномірно стрілу вигину в процесі її переміщення до величини контрольних перерізів, які розраховують формулою:

$$f_i = 2,188 \sqrt{\frac{\alpha \cdot L_i \cdot \Delta t}{3,385 \cdot 10^{-3}}} \quad (3)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт температурного розширення рейкової сталі;

$L_i$  – відстань від початку рейкової пліти до  $i$ -го перерізу;

$\Delta t$  – різниця між рекомендованою температурою закріплення рейкових плітей на постійний режим експлуатації і температурою плітей на момент виконання робіт.

– закріплюють рейкові пліти до шпал за допомогою проміжних рейкових скріплень прямуючи за переміщенням стріли вигину;

– усувають стрілу вигину рейкової пліти на кінцевих ділянках.

При укладанні рейкових плітей при температурі рейки, нижче розрахункової, можливо використовувати спосіб примусового введення їх у розрахункову температуру закріплення. Такий спосіб використовується і перед зварюванням рейкових плітей, що експлуатуються, і які раніше укладені та закріплені при температурі нижче розрахункової. Примусовий ввід плітей у розрахунковий інтервал температур виконується з використанням гідравлічного натяжного приладу (рис. 4) та обов'язковим вивішуванням їх на роликів опори або пластини.

Перед початком роботи з використанням гідравлічного натяжного приладу повинні бути виконанні розрахунки по визначенню змін довжини пліти ( $\Delta L$ ) та розтягуючого зусилля ( $P$ ), яке необхідне для подовження пліти, й інших параметрів примусового введення рейкової пліти в розрахунковий температурний інтервал.

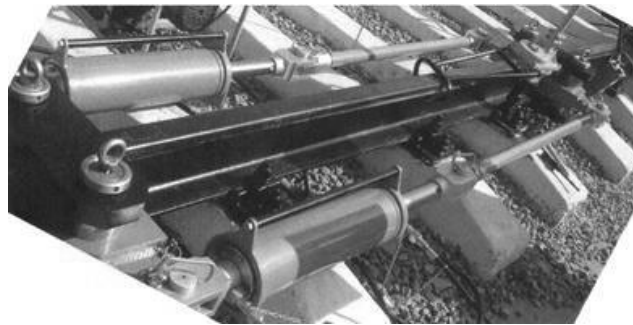


Рис. 4. Прилад натяжний гідравлічний

Розрахункове подовження пліти, мм, визначається формулою:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot (t_3 + t_y) \quad (4)$$

де  $\alpha=0,0000118$   $1/^\circ\text{C}$  – коефіцієнт лінійного розширення рейкової сталі;

$L$  – довжина пліти;

$t_3$  – розрахункова температура рейок при закріпленні пліти на постійний режим роботи;

$t_y$  – температура рейкової пліти при попередньому закріпленні.

---

---

Згідно з [1] при довжині плітей до 1250 м проводиться розтягування відразу всієї пліті. При більших довжинах плітей або при наявності в межах ділянки робіт кривих примусовий ввід їх у розрахунковий інтервал проводиться напівплітями.

Необхідне зусилля для створення розрахункових подовжень у пліті  $P$  визначається з умови:

$$P = \alpha \cdot E \cdot F \cdot \Delta t \quad (5)$$

де  $E$  – модуль пружності рейкової сталі;

$F$  – площа поперечного перерізу рейки;

$\Delta t$  – різниця між очікуваною на час «вікна» та розрахунковою температурою пліті при закріпленні її на постійний режим роботи.

Довжина анкерної ділянки з боку рухомого кінця пліті, м, визначається формулою:

$$\lambda_i = \frac{P}{r} \quad (6)$$

де  $r$  – погонний опір рейок або шпал поздовжньому переміщенню в межах анкерної ділянки.

Технологія та спосіб виконання робіт по примусовому введенню рейкових плітей в розрахунковий інтервал температу виконується в такому порядку:

– замінюють зрівнювальну рейку з боку кінця пліті, що подовжується, на вкорочену та закріплюють анкерну ділянку;

– розкріплюють елементи проміжних рейкових скріплень на не розкріплених шпалах, лапчастими ломачами вивішують і дерев'яними молотками простукують пліть. Повноту розрядки напружень оцінюють по загальному вкороченні пліті після її розкріплення. Рівномірність розрядки напружень оцінюють по зміщенню контрольних рисок;

– встановлюють гідравлічний натяжний прилад, наносять нові контрольні риси на підшви рейки через кожні 50 м на відстані від краю підкладок  $\Delta$ ;

– гідравлічним натяжним приладом виконують розтягування пліті. У процесі розтягування пліті виникає необхідність її простукування дерев'яними молотками. Коли зазор між пліттю і зрівнювальною рейкою зменшиться до необхідного значення, подовження закінчують;

– на довжині  $\lambda$  закріплюють проміжне скріплення на шпалах кінця пліті, що подовжується і знімають натяжний прилад;

– ставлять накладки та стикові болти, закріплюють гайки в стику між пліттю й зрівнювальною рейкою, після закріплення пліті на кожній п'ятій шпалі закінчують основні роботи у «вікно» та відкривають рух поїздів на ділянці зі швидкістю 25 км/год.

– в заключний період після остаточного закріплення плітей на всіх шпалах і перевірки стану колії відміняють попередження про зменшення швидкості руху поїздів.

Провівши аналіз технологій і способів розрядки температурних напружень в рейкових плітях безстикової колії можна зробити висновки:

1. Якщо рейкова пліть закріплена за межами температурного інтервалу, закріплення треба виконувати в розрядку температурних напружень в рейкових плітях.

2. У більшості випадків виникає необхідність перезакріплення рейкових плітей на більшу температуру, особливо весною, незважаючи на можливість використання натяжних приладів.

---

---

3. Будь-який технічний засіб, який використовується при розрядці температурних напружень в рейкових плітях потребує розробки конструкції й технології його виготовлення.

4. Із наведених способів проконтролювати подовження і укорочення пліті практично неможливо, тому необхідно мати такий спосіб, який дозволяє зафіксувати центр пліті і контрольні перерізи, а також перевірити положення пліті за базою колієвимірювального вагона КВЛП.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України. /В. В. Рибкін., О. М. Патласов – К.: Транспорт України, 2012. – 150 с.
2. Правила і технології виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії. /Е. І. Даніленко, М. І. Карпов – К.: Транспорт України, 2002 – 156 с.
3. Пат. 2472894 Российская Федерация, МПК E01B29/17 Способ разрядки температурных напряжений в рельсовых плетях бесстыкового пути / Жулев Г. Г., Беляев Г. П., Овчинников Ю. П., Бунин А. И., заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет путей сообщения». – № 2011127293/11, заявл.01.07.2011, опубл. 20.01.2013.
4. Лебедев В. Г., Славиковский Н. А. Укладка и эксплуатация бесстыкового пути. – М.: Транспорт, 1987. – 206 с.

*Михайло Карпов  
Віталій Молчанов*

## ТЕХНОЛОГІЧНА ПОСЛІДОВНІСТЬ ПЕРЕКЛАДАННЯ РЕЙОК У КРИВІЙ З ПЕРЕМІНОЮ РОБОЧОЇ ГРАНІ

*У статті наводиться методика необхідних розрахунків та розроблена послідовність технологічних операцій, які повинні бути виконані при перекладанні рейок у кривих ділянках колії для переміни робочої грані. Методика доповнена циклічним алгоритмом виконання технологічних операцій з перекладання рейок у кривій парами та переліком необхідних колійних механізмів й інструменту.*

*В статье приводится методика необходимых расчетов и разработана последовательность технологических операций, которые необходимо выполнить при перекладке рельсов в кривых участках пути для изменения рабочей грани. Методика дополнена циклическим алгоритмом выполнения технологических операций по перекладке рельсов в кривой парами и перечнем необходимых путевых механизмов и инструмента.*

*The article provides a method necessary calculations and worked out the sequence of manufacturing operations, that must be performed when shifting rails in curved sections to track the change of working faces. Methods added cyclic algorithm technological operations of shifting rails in the curve pairs and a list of necessary tools and mechanisms to track.*

**Ключові слова:** перекладання рейок у кривій, робоча грань рейки, послідовність технологічних операцій, циклічний алгоритм

Залізнична рейкова колія перебуває під дією динамічних сил від поїзного навантаження (маса вагона, швидкість руху, інтенсивність прикладення навантажень), природних факторів – температура повітря (мороз викликає пучини, жара – угони та викиди в першу чергу безстикової колії), опадів (дощ, відтанення снігу призводять до виплесків або зволоження баластного шару) та людського фактора (несвоєчасне чи неякісне усунення несправностей, що з'явилися при експлуатації, використання неякісних матеріалів верхньої будови колії – забруднений чи слабких порід баласт).

Всі існуючі конструкції колії експлуатуються в умовах накопичення місцевих пластичних деформацій та інших ушкоджень практично у всіх елементах: у верхній частині головки рейок, у прокладках між рейками та шпалами, у шпалах під підкладками та у зонах їх контакту зі щебенем, у баластному шарі та у верхній частині

© Карпов М. І., Молчанов В. М., 2013

---

земляного полотна. Крім того, у процесі експлуатації стираються (зношуються) контактні зони елементів колії; послаблюються з'єднання рейок зі шпалами; знижується несуча здатність шпал внаслідок старіння; утворюються виплески та послаблення баластного шару через його забруднення; накопичуються розлади колії у профілі, плані та по ширині колії, а в рейках (особливо у верхній частині їх головки та в шийці в зонах накладок) накопичуються та розвиваються втомлювальні тріщини. Швидкість розвитку всіх зазначених процесів нелінійно зростає зі збільшенням напрацювання після модернізації чи капітального ремонту колії.

Рейки [1] є найважливішим елементом верхньої будови колії (ВБК) залізниць. Вимоги, які висуваються до рейок, та умови, яким вони повинні відповідати, одночасно є складними та суперечливими. Але головними вимогами, які висуваються до рейок є їх довговічність при експлуатації, зносостійкість і дефектостійкість. Саме вони визначають строки служби рейок. Але за багатьма показниками якості та використання рейки вітчизняних виробників не є конкурентоспроможними з рейками передових зарубіжних виробників. Так, терміни служби рейок передових зарубіжних виробників, насамперед Японії, Канади, Австрії, Швеції, Франції у 2-3 рази перевищують терміни служби вітчизняних рейок. Середньорічний вихід рейок у гостродефектні на мережі українських залізниць складає 8,5 тис. шт., що на одиницю пропущеного тоннажу більше ніж у 2 рази від російських залізниць. Тому для подовження термінів служби вітчизняних рейок необхідні технологічні й технічні заходи.

Основними технічними заходами для подовження термінів служби вітчизняних рейок є раціональне ведення системи рейкового господарства [2], упровадження сучасних технологій ремонтів і утримання залізничної колії [3], широке застосування безстикової колії [4].

Згідно з Технічними вказівками [3] і Правилами [4] на ділянках із інтенсивним боковим зносом рейок рекомендується перекладати на зовнішню нитку кривих рейки, зняті з прямолінійних ділянок без заміни робочої грані, а з внутрішніх ниток кривих – із переміною робочої грані рейок. Крім того, рейки з граничним боковим зносом дозволяється перекладати з переміною робочої грані на прямолінійні ділянки колії та внутрішні нитки кривих.

Рішення про перекладання рейок у кривій із заміною робочої грані приймається комісією у складі начальника чи головного інженера дистанції колії, шляхового майстра, бригадира колії та оператора дефектоскопного візка чи майстра цеху дефектоскопії. У кривій радіусом 275 м, яка розглядається для прикладу, приведений знос рейок досягає до 15 мм, що не обмежує їх перекладання. При дефектоскопії рейок не виявлені внутрішні дефекти, а наявні зовнішні дефекти не потребують обмеження встановленої швидкості руху поїздів 60 км/год. За вимогами Інструкції [6] для попередження появи кутів у плані в кривій стики рейок зовнішньої та внутрішньої ниток повинні мати розбіжність за напрямком приблизно на половину довжини рейок. Для цього перекладання рейок необхідно виконати з розміщенням рейкових стиків у розбіжку, для чого необхідно поелементне перекладання рейок.

Особливістю перекладання рейок у кривих є наявність різниці довжин по зовнішній та внутрішній нитках. Внутрішня нитка коротша зовнішньої в кривій на величину [1], м

$$\Delta L = 0,029 \times \alpha,$$

де  $\alpha$  – кут повороту кривої.

---

Для кривої радіусом 275 м різниця довжин по зовнішній та внутрішній нитках складає:

$$\Delta L = 0,029 \times 49,15 = 1,425 \text{ м.}$$

У криву радіусом 275 м із внутрішньої нитки на зовнішню будуть перекладені сім укорочених рейок із сумарним фактичним укороченням

$$\Delta L_y = 0,016 \times 7 = 1.12 \text{ м.}$$

Таким чином різниця довжин по зовнішній та внутрішній нитках із урахуванням перекладання укорочених рейок на зовнішню нитку кривої буде складати

$$\Delta L + \Delta L_y = 1,425 + 1.12 = 2,545 \text{ м.}$$

Довжина нестандартної рейки, що буде укладена на зовнішній нитці кривої, буде складати  $25,0 - 12,50 + 2,545 = 15,045$  м.

Рейку такої нестандартної довжини 15,045 м необхідно заготовити завчасно і доставити в день «вікна» до місця робіт дрезиною ДГК<sup>У</sup>.

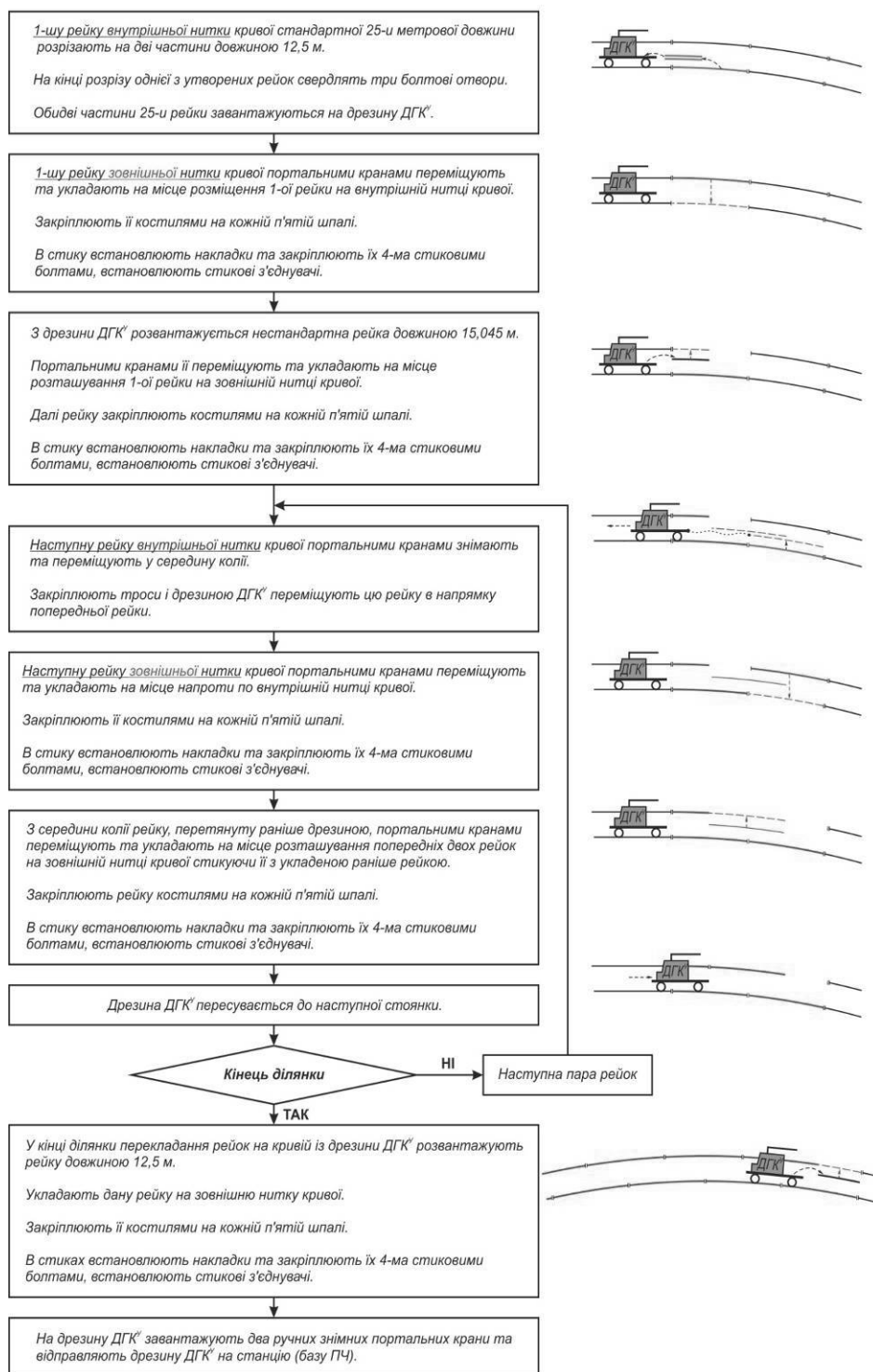
Місця робіт по перекладанню рейок у кривій з переміною робочої грані відповідно до Інструктивних вказівок [7] огорожуються сигналами зупинки, на поїзди видаються попередження за заявкою по формі 1, роботами керує старший шляховий майстер (ПДС), швидкість руху поїздів обмежується залежно від закріплення рейок костиллями на шпалі: 25 км/год. – при їх закріпленні на кожній п'ятій шпалі.

Перед виконанням робіт із перекладання рейок у кривій із заміною робочої грані необхідно перевірити стан рейкових зазорів і при наявності розтягнутих зазорів або при їх відсутності може виникнути необхідність у виконання робіт по розгонці або регулюванню зазорів.

Роботи по перекладанню рейок із переміною робочої грані в кривій ділять на підготовчі, основні, що виконуються у «вікно», та заключні.

У підготовчий період поїзди по фронту робіт пропускають з обмеженням швидкості до 25 км/год., чотири монтери колії по два стикових болти (другий та п'ятий), опробують та ставлять додаткові шайби на інші чотири болти. Чотири монтери колії очищують скріплення від бруду, вісім монтерів колії на кожних чотирьох підряд шпалах (на п'ятій шпалі скріплення залишають) витягують внутрішні основні костилі, антисептують костильні отвори та вставляють в них пластинки-закріплювачі, насмикують зовнішні основні костилі, зачищають задирки, антисептують зачищені місця, знімають протиугони. Виконують розмітку місця розрізання рейки, готують механізми та обладнання для виконання цієї роботи.

В основний період (рис. 1) після проходу останнього перед «вікном» графікового поїзда, закриття перегону та зняття напруги з контактної мережі, огороження місця робіт сигналами зупинки чотири монтери колії знімають стикові болти, з'єднувачі та накладки, вісім монтерів колії насмикують зовнішні основні костилі та витягують внутрішні, антисептують костильні отвори та встановлюють в них пластинки-закріплювачі.



**Рис. 1. Технологічна послідовність перекидання рейок у кривій із заміною робочої грані**

---

Після прибуття до місця робіт дрезини ДГК<sup>у</sup> на визначені місця вивантажують нестандартну рейку довжиною 15,045 м і два ручних знімних порталних крани, що обладнані талями для піднімання та опускання рейки, та починають процес перекладання рейок у кривій.

Першу рейку внутрішньої нитки кривої стандартної 25-ти метрової довжини за допомогою двох порталних кранів знімають та переміщують у середину колії, дрезиною ДГК<sup>у</sup> після закріплення тросів її перетягують на пряму, далі її розрізають на дві частини – кожна довжиною 12,5 м. На кінцях розрізів свердлять по три болтових отвори. Після закінчення цих робіт у проміжок між перетягуванням рейок на платформу дрезини ДГК<sup>у</sup> завантажують дві рейки довжиною 12,5 м.

Першу рейку зовнішньої нитки кривої порталними кранами переміщують та укладають на місце розміщення першої рейки на внутрішній нитці кривої, закріплюють її костиллями на кожній п'ятій шпалі, в стику встановлюють накладки та закріплюють їх 4-ма стиковими болтами, встановлюють стикові з'єднувачі.

Нестандартну рейку довжиною 15,045 м порталними кранами переміщують та укладають на місце розміщення першої рейки на зовнішній нитці кривої, закріплюють її костиллями на кожній п'ятій шпалі, в стику встановлюють накладки та закріплюють їх 4-ма стиковими болтами, встановлюють стикові з'єднувачі.

Другу рейку внутрішньої нитки кривої порталними кранами знімають та переміщують у середину колії, закріплюють троси і дрезиною ДГК<sup>у</sup> переміщують у напрямку першої рейки, після чого порталними кранами переміщують та укладають на місце розміщення першої та другої рейки на зовнішній нитці кривої, стикуючи її з рейкою нестандартної довжини, закріплюють її костиллями на кожній п'ятій шпалі, в стику встановлюють накладки та закріплюють їх 4-ма стиковими болтами, встановлюють стикові з'єднувачі. У цій послідовності (рис. 1) виконують перекладання і всіх інших рейок, що лежать на внутрішній нитці, на зовнішню нитку кривої.

Другу рейку зовнішньої нитки кривої порталними кранами переміщують та укладають на місце розміщення другої рейки на внутрішній нитці кривої, закріплюють її костиллями на кожній п'ятій шпалі, в стику встановлюють накладки та закріплюють їх 4-ма стиковими болтами, встановлюють стикові з'єднувачі. Дрезина ДГК<sup>у</sup> пересувається до наступної стоянки. У цій послідовності (рис. 1) виконують перекладання і всіх інших рейок, що лежать на зовнішній нитці, на внутрішню нитку кривої.

У кінці ділянки перекладання рейок на кривій із дрезини ДГК<sup>у</sup> розвантажують рейку довжиною 12,5 м, переміщують її та укладають на зовнішню нитку кривої, закріплюють її костиллями на кожній п'ятій шпалі, в стику встановлюють накладки та закріплюють їх 4-ма стиковими болтами, встановлюють стикові з'єднувачі. На дрезину ДГК<sup>у</sup> завантажують два ручних знімних порталних крани та відправляють її на станцію.

Після стикування рейок, їх закріплення та перевірки стану колії на ділянці робіт, перегін відкривають для руху поїздів зі швидкістю 25 км/год.

У заключний період встановлюють та закріплюють до норми стикові болти, добивають основні костилі, за необхідності електрошпалопідбійками частково виправляють колію, виконують опорядження баластної призми.

Після закінчення заключних робіт і пропуску по ділянці двох-трьох поїздів зі швидкістю 25 км/год. перегін для решти поїздів відкривають зі встановленою швидкістю.

У табл. 1 наведений перелік механізмів і інструменту для перекладання рейок із переміною робочої грані у кривій на перегоні при костильному скріпленні.

---

Таблиця 1. Перелік механізмів і інструменту для перекладання рейок у кривій із переміною робочої грані

Найменування	Кількість
Дрезина ДГК <sup>У</sup>	1
Ручні знімні порталні крани	2
Ключ гайковий	2
Лом лапчастий	8
Молоток костильний	8
Лом гострий	12
Лом зі скобою для кантування рейок	2
Мітла	2
Дексель	2
Колієвимірювальний робочий шаблон	2
Насмикувач костилів	1
Ви́ла щепеневі	8
Електрошпалопідбійки	4
Домкрат	2

#### ЛІТЕРАТУРА

1. 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. – Т. 1. – 528 с.
2. Положення про систему ведення колійного господарства на залізницях України / Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, В. М. Молчанов, В. О. Яковлев та ін. – К.: Інпрес, 2010. – 67 с.
3. Карпов М. І., Возненко А. Д., Молчанов В. М., Твердомед В. М. Комплексна машинізація колійних робіт: Навч. посібник. – К.: ДЕГУТ, 2011. – 234 с.
4. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України. / . Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, М. Д. Костюк, П. І. Рибачок та ін. – К.: Транспорт України, 2002. – 113 с.
5. Правила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії. / Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, В. Ф. Сушков, М. Д. Костюк, П. І. Рибачок. – К.: Транспорт України, 2002. – 156 с.
6. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. І. Карпов, В. М. Молчанов та ін. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.
7. Інструктивні вказівки з основних питань улаштування та утримання залізничної колії і забезпечення безпеки руху поїздів (Пам'ятка майстру та бригадиру колії) / За ред. М. І. Карпова та В. О. Яковлева. – К.: Транспорт України, 2007. – 264 с.

Володимир Кияшко

## ФІБРА ДЛЯ АРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ

*У статті наведений аналіз сучасних конструктивних рішень сталевих фібр для армування залізобетонних виробів. Запропонована нова конструкція фібри, використання якої дозволяє здійснювати її орієнтацію в умовах дії гравітаційного та вібраційного поля.*

*В статье приведен анализ современных конструктивных решений стальных фибр для армирования железобетонных изделий. Предложена новая конструкция фибры, использование которой позволяет осуществлять ее ориентацию в условиях действия гравитационного и вибрационного полей.*

*In the article we analyze the new constructive decisions of steel fibre for concrete products hardening. A new construction of fiber is proposed, the usage of this construction allows to carry out its orientation under the conditions of gravitational and vibratory fields.*

**Ключові слова:** залізобетон, армування, сталева фібра, зчеплення з бетоном, фіксований центр тяжіння.

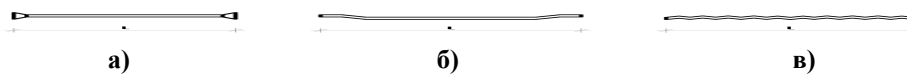
Як відомо, сутність залізобетону як штучного комплексного матеріалу, полягає в тому, що в місцях появи внутрішніх розтягувальних зусиль від дії різноманітних зовнішніх впливів, розміщується сталева арматура, яка сумісно з розтягнутим бетоном сприймає розтягувальні зусилля [1]. Але сумісна робота бетону і сталеві арматури обмежується появою нормальних чи похилих тріщин, а їх появі чередує утворення мікротріщин, природа яких полягає в фізико-механічних властивостях бетону як матеріалу.

Робоча арматура в залізобетонних виробках окрім своєї основної функції – сприйняття розтягувальних зусиль підвищує і тріщиностійкість елементів (в порівнянні з бетонними), але в зв'язку з тим, що вона розміщується (в основному) максимально наближено до найбільш розтягнутого фібрового волокна розрахункового поперечного перетину, то стримувати появу мікротріщин в середній частині розтягнутої зони (за межами зони передачі напружень зчеплення арматури з бетоном) вона не може. Розміщення стержнів сталеві арматури по всій висоті розтягнутої зони нераціональне. Одним із рішень, що дає можливість підвищити тріщиностійкість перетинів елементів, які згинають, за рахунок збільшення міцності бетонів на розтяг, зниження їх усадки та повзучості є використання (поряд із звичайним армуванням) як арматуру сталевих (або отриманих із синтетичних волокон, тривких до лужного середовища) стержнів (фібр) різноманітного конструктивного рішення довжиною 1 – 10 мм ÷ 150 (160) мм і товщиною (діаметром) – 0,5 мм ÷ 1,2 мм (рис.1).

При цьому (як свідчить досвід) слід використовувати дрібнозернистий бетон з крупним наповнювачем розміром не більше 5 мм. Роздільна технологія бетонування

© Кияшко В. Т., 2013

---



**Рис. 1. Фібри із маловуглецевої сталі:**  
а) із сплющеними кінцями; б) з загнутими кінцями; в) хвилеподібна

виробів дозволяє частину елемента виготовляти із звичайного бетону, а проблемні зони – із фіброзалізобетону. Використання фібр типу «Стігма» (Росія), «Харекс» (Германія), «Драмікс» (Бельгія) і т.д. призводить до збільшення міцності фібробетону (в порівнянні із звичайним бетоном) в 2 рази, ударної міцності – 10 разів, морозостійкості – 1,5÷2 рази і т.д. В Японії ще в 1981 році було виготовлено близько 3 тис. тон сталевих фібри, із яких 500 т – із нержавіючої сталі.

Досвід виготовлення та використання фібр в Україні практично відсутній, за винятком виготовлення та продажу фібр закордонного виробництва. Відповідно до цього вітчизняні сучасні норми проектування бетонних та залізобетонних конструктивних елементів на вироби із сталевібробетону не поширюються.

Пропозицій по вдосконаленню конструктивного рішення також недостатньо. Серед існуючих слід виділити фібру, представлену в [4], яка по своїй суті є комбінацією рішень, представлених рис. 1 – хвилеподібна із сплющеними кінцями. Оскільки фібра являє собою арматурний елемент, який повинен бути надійно заанкерений в бетоні, то представлене в [4] конструктивне рішення не є досконалим, оскільки надійна анкерівка на  $\frac{3}{4}$  залежить від зчеплення стержня з бетонною масою [1]. В зв'язку з цим рішення, представлене в [5] є більш вдалим, оскільки відгинання кінцевих ділянок дроту (фібри) в різних площинах забезпечує максимальну анкерівку.

При цьому одним загальним недоліком всіх представлених вище конструктивних рішень фібр є нерегульоване хаотичне їх розміщення в бетонній суміші і відповідно неефективна робота по сприйняттю головних розтягувальних зусиль. В реальних умовах повздовжня вісь фібри повинна бути паралельна площині дії розтягувальних зусиль.

Розглядаючи бетон як уявне суцільне середовище в якому є мінімум три речовини, що мають масу – крупний наповнювач, фібра та розчин, що їх оточує, можна припустити, що в результаті дії гравітаційних та вібраційних впливів вказані речовини виконують переміщення в напрямку дії цих впливів на відстань, що прямо пропорціонально залежить від їх маси [2, 3]. Оскільки крупний наповнювач та фібри переміщується в одному середовищі, то розчинну частину бетону у подальшому можна прийняти як сталу величину і на цей момент не враховувати. При цьому крупний наповнювач допустимо розглядати як матеріальну точку з певною масою, а фібру, в зв'язку з її лінійністю – як ряд матеріальних точок. Переміщення (орієнтація точок в просторі) здійснюється за рахунок збалансованості чи незбалансованості їх мас. В зв'язку з цим можна зробити висновок, що рівнорозмірне переміщення в гравітаційному та вібраційному полях крупного наповнювача та фібри можливе внаслідок: а) рівнозначності їх мас; б) наявності одного єдиного наперед зафіксованого центра маси фібри. При розміщенні центра маси фібри в геометричній середині її довжини, вона переміщується в просторі таким чином, що її повздовжня вісь направлена перпендикулярно напрямку дії впливу віброзбудника, а при зміщенні центру маси ближче до кінців переміщення відбувається під певним кутом. Такий ефект можна використати для практичних цілей. Наприклад, для елементів, що згинають, в зоні частого згину слід використовувати фібри з центром маси

в геометричній середині, а в приопорних зонах – із зміщеним центром тяжіння, для того, щоб фібри розміщувались приблизно під прямим кутом до напрямку появи похилої тріщини.

Враховуючи вище сказане можна зробити висновок, що фібри для армування будівельних виробів повинні мати фіксований центр тяжіння і максимальне значення зусиль зачеплення з бетоном. Зусилля склеювання та тертя в цих випадках занадто малі в зв'язку з незначними розмірами фібр і їх можна не брати до уваги.

Таким чином, сталева фібра, що задовольняє наведеним вище умовам, може мати конструктивне рішення, подане на рис. 2.

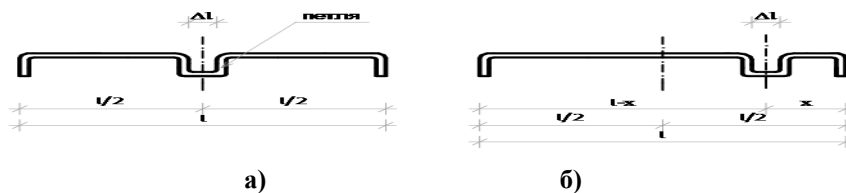


Рис. 2. Фібра з фіксованим центром тяжіння:

а) петля в геометричній середині довжини; б) петля, зміщена від геометричної середини

Кінцеві ділянки фібр відгинаються під кутом близько  $90^\circ$  і довжина відгинів повинна бути не менше 5 мм. Ширина петлі  $\Delta l$  може бути або мінімальною – з точки зору товщини робочого інструменту, який використовується для її виготовлення, або не менше максимального розміру гранул крупного наповнювача. Мінімальна робоча довжина фібри ( $l$ ) залежить від площі поперечного перетину і її маси, яка повинна бути близько до середньої маси гранул крупного наповнювача.

Описане конструктивне рішення фібри дозволяє певним чином (ідеалізовано) здійснювати орієнтацію фібр в вертикальній площині відносно горизонтальної площини робочого органа віброзбудника. Але хаотичне розміщення фібр має місце і в горизонтальній площині. Орієнтацію фібр в таких умовах доцільно здійснювати з використанням постійного чи змінного магнітного поля. Для цього в залізобетонному виробі розміщуються вертикально з певним кроком хомути чи сітки, що мають певний заряд, а в проміжку між ними укладається фібробетон з фібрами, кінцеві ділянки яких мають протилежний заряд. В результаті дії всіх трьох полів положення в просторі сталевих фібр можна регулювати.

Технологія виготовлення фібр запропонованого конструктивного рішення включає три основні технологічні операції: 1 – різка (рубка) сталеві проволочки (чи іншого матеріалу) на стержні необхідної довжини; 2 – формування повздовжнього профілю методом безперервного гнуття; 3 – пакетування. При необхідності намагнічення кінців фібр цей процес здійснюється безпосередньо після виконання останньої операції.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Демидов Н. Н. и др. Строительные конструкции с элементами статике сооружений. –М.: Высш. шк., 1989. – 352 с.: ил.
2. Засельский В. И. Инерционные грохоты с неоднородными колебаниями: монография. Днепропетровск, «Пороги». – 2007. – 144 с.
3. Микула М. В. Міцність та механіка руйнування матеріалів: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Кривий Ріг: Мінерал, 2002 –148 с.
4. Кричевський С. О., Кричевська Т. О. Арматурний елемент для дисперсного армування бетону.: Патент України № 88917 опубл. 10.12.2009; Бюл. № 23, 2009 р.
5. Прикмета О. В. Спосіб виготовлення армуючого елемента для дисперсного армування бетону.: Патент України № 70690, опубл. 15.10.2004 р.; Бюл. № 10, 2004 р.

Валерій Косарчук  
Олександр Азарков  
Василь Катерещук  
Олег Рафальський

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ВИЗНАЧАЛЬНИХ  
СПІВВІДНОШЕНЬ СТРУКТУРНОЇ МОДЕЛІ  
ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА  
В УМОВАХ ПРОСТОГО ЦИКЛІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

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

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

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

**Ключові слова:** структурна модель, експериментальна перевірка, циклічне навантаження, деформування, амплітуда, крутний момент.

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

Для експериментальної перевірки запропонованої моделі скористаємося результатами робіт [3 – 5], у яких наведені дані при простому й складному (зокрема циклічному) навантаженні вуглецевих сталей 20 та 45, нержавіючої сталі SUS 304, а також алюмінієвого сплаву АМцС. Вихідною інформацією для визначення параметрів моделі пружнопластичного середовища слугували узагальнені криві деформування

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

---

матеріалів в координатах «інтенсивність напружень – інтенсивність деформацій», циклічні діаграми деформування (для сплаву АМцС вона практично збігається з узагальненою кривою, оскільки його циклічне зміцнення незначне); криві поциклової зміни модуля вектора напружень, що отримані при обробці кривих пластичного гістерезису.

За наведеними у роботі [2] формулами були оброблені результати експериментів на тонкостінних трубчастих зразках з вуглецевих сталей 20 й 45, хромонікелевої сталі SUS 304 та алюмінієвого сплаву АМцС для кількох значень амплітуди деформації.

Досліди на пропорційне циклічне навантаження сталей 20, 45 і алюмінієвого сплаву АМцС проводилися при розтяганні – стисканні, сталі SUS 304 – при знакозмінному крученні.

На рис. 1 показаний зв'язок параметрів зміцнення моделі деформування (аргументів функції  $q$ ) в момент стабілізації циклічного зміцнення.

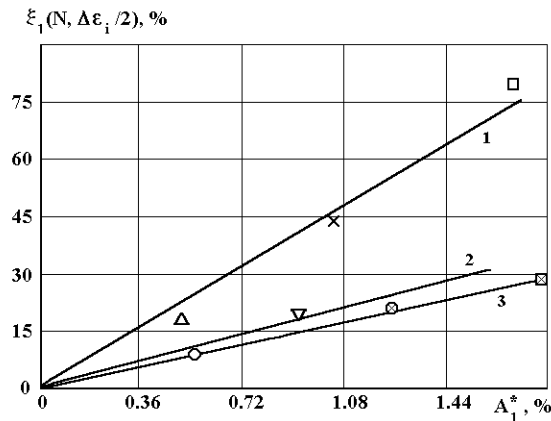


Рис. 1. Зв'язок аргументів функції  $q(\xi_1, A_1^*)$  у момент стабілізації циклічних властивостей матеріалу: експеримент  $\Delta$  –  $\Delta \varepsilon_i / 2 = 0,58\%$ ;  $\circ$  –  $\Delta \varepsilon_i / 2 = 0,7\%$ ;  $\times$  –  $\Delta \varepsilon_i / 2 = 1,16\%$ ;  $\otimes$  –  $\Delta \varepsilon_i / 2 = 1,2\%$ ;  $\square$  –  $\Delta \varepsilon_i / 2 = 1,7\%$ ;  $\boxtimes$  –  $\Delta \varepsilon_i / 2 = 1,8\%$ ; 1 – сталь SUS 304, 2 – сталь 45, 3 – сплав АМцС

З рисунка випливає, що зазначені параметри пов'язані лінійною залежністю

$$\chi_1(N, \Delta \varepsilon_i / 2) = r A_1^*(\Delta \varepsilon_i / 2), \quad (1)$$

де  $r$  – константа матеріалу.

Обробка експериментальних даних методом найменших квадратів дозволила встановити, що вид функції, яка пов'язує параметри

$$\frac{q(n)}{q(N)} \quad \text{й} \quad X(n) = \frac{\chi_1(n, \Delta \varepsilon_i / 2) - 2 A_1^*(\Delta \varepsilon_i / 2)}{\chi_1(n, \Delta \varepsilon_i / 2)},$$

можна прийняти інваріантним щодо амплітуди деформування (рис. 2). У нашому випадку найбільш адекватним експерименту виявилось експонентне подання зазначеної функції:

$$q(n) = q(N)(1 - \exp[-\beta X(n)]), \quad (2)$$

де  $q(N)$  й  $\beta$  – константи матеріалу.

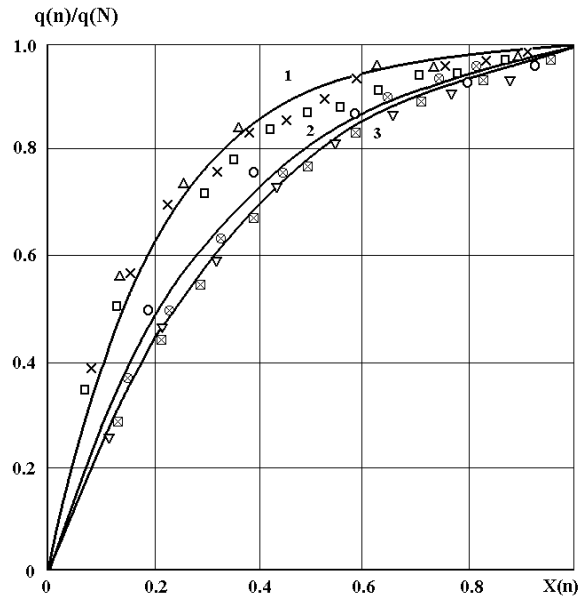


Рис. 2. Зв'язок параметрів зміцнення функції  $q(\xi_i, A_i^*)$  для різних матеріалів. Позначення наведені на рис. 1

Параметри моделей для досліджуваних матеріалів наведені в табл. 1. Зауважимо, що для кожного матеріалу використовували різну кількість структурних під-елементів моделі. Це пов'язано з різною кривизною кривих деформування досліджуваних матеріалів, що, у свою чергу, обумовлене різним характером їх деформаційного зміцнення. Кількість піделементів вибиралась такою, щоб найкращим чином описати криві одноосного розтягу відповідних матеріалів.

Результати розрахунків кривих деформування за різних програм навантаження наводили у відповідних п'ятивимірних векторних просторах напружень  $S_{(5)}$  та деформацій  $\mathcal{E}_{(5)}$  Ільюшина [12]. Зв'язок між компонентами векторних просторів та девіаторними компонентами тензорів напружень і деформацій встановлюється таким чином:

$$S_1 = \sqrt{\frac{3}{2}}s_{11}; S_2 = \sqrt{2}(s_{22} + 0,5s_{11}); S_3 = \sqrt{2}s_{12}; S_4 = \sqrt{2}s_{23}; S_5 = \sqrt{2}s_{31};$$

$$\mathcal{E}_1 = \sqrt{\frac{3}{2}}e_{11}; \mathcal{E}_2 = \sqrt{2}(e_{22} + 0,5e_{11}); \mathcal{E}_3 = \sqrt{2}e_{12}; \mathcal{E}_4 = \sqrt{2}e_{23}; \mathcal{E}_5 = \sqrt{2}e_{31}.$$

На рис. 3 подані експериментальні й розрахункові криві деформування сталі 45 при одноосному знакозмінному циклічному деформуванні з амплітудою деформації 1,27% і сталі SUS304 при знакозмінному крученні з амплітудою деформації 2,12%.

Запропонована модель добре описує циклічне зміцнення сталей (модельні криві пластичного гістерезису практично збігаються з експериментальними).

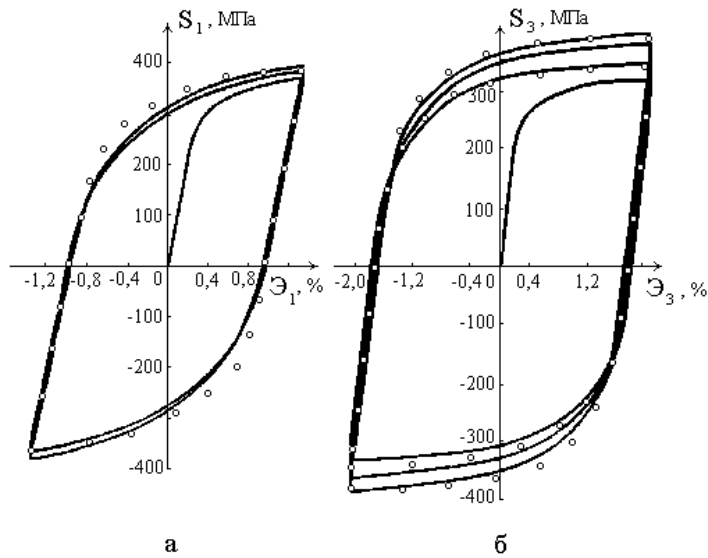


Рис. 3. Експериментальні (лінії) і розрахункові (точки) криві деформування сталей 45 (а) і SUS 304 (б)

Таблиця 1. Значення параметрів структурної моделі для різних матеріалів

Матеріал	Сталь 45		Сталь SUS304		АМцС		Сталь 20	
q(N), МПа	2628		10067		1053		1948	
$\varepsilon^{про}$ , %	0,263		0,367		0,126		0,087	
$\beta$	3,1		4,81		1,18		3,1	
R	20,8		46,4		12,1		20,8	
№ п/елем.	$\sigma_{sm}^o$	$\Psi_m$	$\sigma_{sm}^o$	$\Psi_m$	$\sigma_{sm}^o$	$\Psi_m$	$\sigma_{sm}^o$	$\Psi_m$
1	270,0	0,3046	228,3	0,4319	112,3	0,8364	102,2	0,1719
2	301,9	0,2136	255,5	0,1460	149,7	0,0545	124,2	0,0983
3	324,0	0,1608	275,8	0,1250	187,1	0,0727	136,3	0,1688
4	338,8	0,0978	290,0	0,2076	299,4	0,0091	141,0	0,1014
5	349,0	0,0418	332,9	0,0103	523,9	0,0091	145,7	0,0344
6	357,3	0,0254	336,7	0,0030	748,5	0,0018	149,2	0,0206
7	364,5	0,0229	340,3	0,0067	1122	0,0164	154,8	0,1727
8	370,6	0,0204	343,7	0,0104			164,6	0,0555
9	375,8	0,0179	346,5	0,0129			169,6	0,0397
10	380,1	0,0154	348,7	0,0112			177,6	0,0531
11	383,8	0,0129	350,4	0,0086			180,7	0,0318
12	386,8	0,0003	351,6	0,0059			185,0	0,0031
13	399,1	0,0006	352,6	0,0033			188,0	0,0011
14	417,4	0,0004	353,4	0,0007			190,1	0,0134
15	429,4	0,0084	354,2	0,0023			195,9	0,0237
16	474,7	0,0006	405,3	0,0001			197,7	0,0025
17	506,6	0,0044	405,6	0,0141			199,9	0,0002
18	521,9	0,0043					203,7	0,0079
19	532,6	0,0260						

На рис. 4 наведені експериментальні й розрахункові криві поциклової зміни модуля вектора напружень для сталі SUS 304, отримані при симетричному знакозмінному крученні з амплітудами деформації 0,71, 1,41 і 2,12%. Як видно з наведених даних, розбіжність між експериментальними й розрахованими по запропонованій моделі кривими не перевищує 5% за напруженнями для всіх амплітуд деформації.

Для матеріалів, циклічне зміцнення яких стабілізується, циклічну діаграму деформування можна одержати з дослідів на блочне навантаження із амплітудою деформації, що ступінчасто збільшується. Перехід до наступного блоку навантаження при цьому здійснюють по досягненні матеріалом стану стабілізації циклічного зміцнення для поточної амплітуди деформації. На рис. 5 для сталі 45 наведена експериментальна крива поциклової зміни модуля вектора напружень при блочному циклічному навантаженні й відповідні розрахункові криві (похибка за напруженнями не перевищує 3%). Зауважимо, що саме блочне циклічне навантаження є найхарактернішим режимом навантаження елементів залізничної колії.

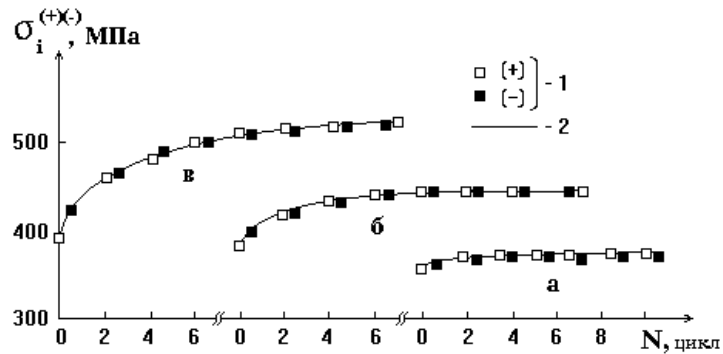


Рис. 4. Експериментальні (1) і розрахункові (2) криві поциклової зміни інтенсивності напружень у момент зміни напрямку деформування для сталі SUS 304 для трьох амплітуд деформації: а -  $\Delta_3^{(+/-)} = \pm 0,71\%$ ; б -  $\Delta_3^{(+/-)} = \pm 1,41\%$ ; в -  $\Delta_3^{(+/-)} = \pm 2,12\%$

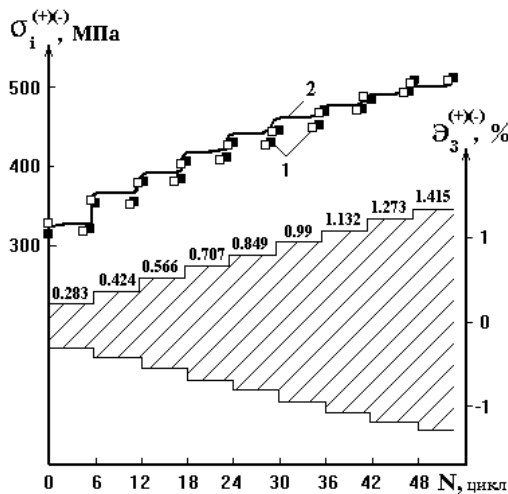


Рис. 5. Блочне навантаження сталі 45 (1 - експеримент, 2 - розрахунок)

---

Отже, як бачимо, запропонована авторами у попередніх роботах модель пружно-пластичного деформування циклічно нестабільних матеріалів при простому навантаженні, дозволяє досить точно описати їх поведінку за умов, що розглядаються.

В подальших публікаціях авторами буде представлено результати експериментальної перевірки моделі в умовах складного навантаження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Косарчук В. В. Моделювання циклічної нестабільності матеріалів при пружнопластичному деформуванні / Косарчук В.В., Агарков О.В. // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – 16. – С. 124 – 133.
2. Косарчук В. В. Ідентифікація параметрів моделі пружно-пластичного деформування за результатами базових експериментів / Косарчук В. В., Агарков О. В. // Зб. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – 17. – С. 159 – 165.
3. Вавакин А. С. Экспериментальное исследование упругопластического поведения стали при простом и сложном циклическом деформировании / А. С.Вавакин, В. В.Викторов, М. Сливовский, Л. П.Степанов. – М.: Ин-т механики АН СССР. – 1986. – 176 с.
4. Ohno N. A. constitutive model of cyclic plasticity with a non-hardening strain region / Ohno N. A. // J. Appl. Mech.: Trans. ASME. – 1982. – 49, № 4. – P. 721 – 727.
5. Ohno N. Cyclic plasticity: the cyclic nonhardening region model / Ohno N., Kachi Y. // Res. Mechanica. – 1987. – 22, № 3. – P. 199 – 212.
6. Ильюшин А. А. Пластичность. Основы общей математической теории / Ильюшин А. А. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 272 с.

*Владимир Кулешов*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГРЕБНЕЙ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

*В статье рассматриваются этапы и проблемы обеспечения грузовых электровозов бандажами колесных пар. Проанализирован наиболее эффективный метод увеличения ресурса работы бандажей – метод плазменного упрочнения боковой поверхности гребней.*

*У статті розглядаються етапи та проблеми забезпечення вантажних електровозів бандажами колісних пар. Проаналізовано найефективніший метод збільшення ресурсу роботи бандажів – метод плазмового зміцнення бічної поверхні гребенів.*

*This article discusses the steps and problems of freight locomotives bandages wheelsets. Analyzed the most effective method of increasing the service life of the bands - the method of plasma hardening of the lateral surface of the flanges.*

**Ключевые слова:** бандажи колесных пар грузовых электровозов, метод плазменного упрочнения боковой поверхности гребней.

Обеспечение грузовых электровозов бандажами колесных пар в процессе их эксплуатации вызвало на разных этапах серьезные проблемы.

Первый этап – при переходе с тепловой тяги на электрическую. По сравнению с тепловозом ресурс работы колесных пар грузовых электровозов резко снизился. Основной причиной уменьшения ресурса работы колесных пар электровозов стало значительное увеличение мощности тягового двигателя по сравнению с тепловозами. Так, например, мощность двигателя ЭД118А установленного на тепловозах 2ТЭ10Л, 2ТЭ10В, 2ТЭ116 составляет 305 кВт, ЭД118БУ1 – 305 кВт. Мощность двигателя НБ-418К6 установленного на электровозе ВЛ80с составляет 790 кВт, т.е. почти в 2,6 раз больше мощности тепловозного двигателя. Развиваемая сила тяги одной колесной пары резко возросла. На первом этапе эта проблема была решена двумя путями:

увеличением поставки колесных пар;

установкой в локомотивных депо дополнительного количества станков для обточка колесных пар.

В то же время следует отметить, что износ бандажей колесных пар происходил по поверхности качения (прокату).

© Кулешов В. П., 2013

Второй этап снижения ресурса работы бандажей колесных пар грузовых электровозов совпал с изменением параметров железнодорожного пути. На железных дорогах, особенно Львовской, возникло тяжелейшее положение с обеспечением перевозок электровозами по причине снижения ресурса работы бандажей колесных пар из-за повышенного темпа износа боковой поверхности гребней. Износ поверхностей качения и гребней электровозов ВЛ80 локомотивного депо Львов-Запад характеризуется данными табл. 1.

**Таблица 1. Показатели износа поверхностей по кругу качения и боковой поверхности гребня бандажа**

№ п/п	Пробег колесной пары	Средняя толщина гребней, мм	Средний прокат бандажа, мм	Темп износа боковой поверхности гребня, мм/10	Темп износа поверхности качения бандажа, мм/10
1	10	29,33	0	0,66	0
2	20	28,72	0	0,6	0
3	30	28,19	0	0,54	0
4	40	27,68	0,1	0,5	0,1
5	50	27,20	0,35	0,48	0,25
6	60	26,74	0,64	0,46	0,29
7	70	26,29	0,98	0,45	0,34
8	80	25,85	1,33	0,44	0,35
9	90	25,41	1,75	0,44	0,42
10	98,3	24,99	2,22	0,42	0,47

К решению создавшейся проблемы руководством Укрзализныци были привлечены ученые транспортных высших учебных заведений, специалисты железных дорог, локомотивных депо и было принято три основных направления решения проблемы:

- внедрение лубрикации (смазывания) боковых поверхностей гребней колесных пар и рельс пути;
- плазменное упрочнение боковой поверхности гребней на глубину 2,5-3 мм;
- изменение профиля бандажа;
- снижение начальной толщины гребней до 30 мм, так как износ гребней с толщины гребня 33 мм до толщины 30 мм был ускоренным.

Наиболее эффективным методом увеличения ресурса работы бандажей был принят метод плазменного упрочнения боковой поверхности гребней.

Технология плазменного упрочнения отличается от других способов поверхностной термической обработки относительной простотой невысокой стоимостью технологического оборудования, не требует дополнительных охлаждающих средств, легко поддается механизации и автоматизации. Особый интерес представляет плазменное поверхностное упрочнение колесных пар, которое является одним из наиболее ответственных и тяжело нагруженных элементов ходовой части тягового подвижного состава. Колесные пары испытывают высокие динамические нагрузки, а колесо при взаимодействии с рельсом подвержено значительному износу. Применение ранее перечисленных способов позволило в 3-3,5 раза увеличить пробегный ресурс бандажей колесных пар. Для плазменного упрочнения было исполь-

---

зовано оборудование, которое разработано и изготовлено НИИ «Топаз». Установка работает на дешевой смеси природного газа с воздухом в качестве рабочих газов.

Выше были приведены данные глубины плазменного упрочнения боковой поверхности гребней бандажей. Исходя из этого, плазменное упрочнение необходимо повторять через каждые 2,5-3 мм.

Была измерена твердость боковой поверхности гребней на электровозах депо Львов-Запад, средние величины которых приведены в табл. 2, 3, 4.

**Таблица 2. Твердость боковой поверхности гребня и по кругу качения колеса до обточки**

Точки измерения	Средняя величина твердости (НВ)	
	Боковая поверхность гребня	Поверхность качения
1	2	3
1	393	388
2	381	352
3	397	416
4	402	384
5	396	411
6	398	422
Средняя величина	394,5	395,5

**Таблица 3. Твердость боковой поверхности гребня и поверхности качения после обточки**

Точки измерения	Средняя величина твердости (НВ)	
	Боковая поверхность гребня	Поверхность качения
1	2	3
1	305	320
2	328	300
3	315	307
4	322	312
5	298	310
6	317	295
Средняя величина	314,2	307,3

Это позволяет сделать вывод, что промежуточное упрочнение боковой поверхности гребня не следует делать.

---

**Таблица 4. Твердость боковой поверхности гребня и поверхности качения колеса после плазменного упрочнения**

Точки измерения	Величина твердости	
	Боковая поверхность гребня	Поверхность качения
1	2	3
1	393	413
2	408	421
3	425	451
4	441	430
5	401	386
6	415	438
Средняя величина	413,8	423,2

*Примечание.* Измерения производились по окружности бандажа через каждые 60.

В эксплуатации рабочая поверхность бандажа находится под действием комплекса различных нагрузок, в том числе накладываются термомеханические воздействия, связанные с нагревом плазмой от трения колодок рельс во время торможения, что приводит к упрочнению поверхности бандажа между обточками.

Измерения твердости проведены на 3-х электровозах и для принятия окончательного решения, необходимо расширить количество объектов исследования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Лященко Г. И.* Плазменное упрочнение и напыление. – К.: Экотехнология, 2003. – С 64.
2. *Петров С. В., Саков А. Г.* Плазма продуктов сгорания в инженерии поверхности. – К.: ТОПАС, 2000. – С 220.
3. *Лецинский А. К., Самотугин С. С., Пирч И. И., Комар В. И.* Плазменное поверхностное упрочнение. – К.: Техника, 1990. – С 110.
4. *Находкин В. М.* Технология ремонта тягового подвижного состава. – М.: Транспорт, 1998. – С 461.

*Іван Кульбовський*

**СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ  
СТАНДАРТІВ ДСТУ ISO 9000 У ПРОЕКТАХ СЕРТИФІКАЦІЇ  
ПЕРСОНАЛУ МЕТРОПОЛІТЕНУ**

*Розглянуто особливості впровадження стандартів ДСТУ ISO 9000 в проектах сертифікації персоналу метрополітену, наведено їх переваги та недоліки.*

*Рассмотрено особенности внедрения стандартов ГОСТ ISO 9000 в проектах сертификации персонала метрополитена. Представлены их преимущества и недостатки.*

*The peculiarities of implementation of ISO 9000 standards into underground railway personnel certification are observed, their advantages and disadvantages are given.*

**Ключові слова:** проект, сертифікація, персонал, стандарт, якість, метрологія, метрополітен, ISO 9000.

Особливістю впровадження стандартів ДСТУ ISO 9000 є те, що суб'єктами нововведення в цьому разі мають стати всі без винятку співробітники підприємств метрополітену – від її керівника до робітника – незалежно від виконуваних ними функціональних і виробничих обов'язків. Виражене індивідуальне ставлення учасників цього процесу до змісту нової роботи не може не відбитися на їхніх уяві, судженнях, очікуваннях, настроях і діях. Це ставлення нерідко призводить до різко протилежних позицій співробітників – від енергійної підтримки ідеї підвищення ефективності діяльності на основі цих стандартів до впертого опору змінам, обумовленого певними психологічними бар'єрами.

Ігнорування або недооцінка психологічних бар'єрів, які виникають під час упровадження стандартів ДСТУ ISO 9000, може звести нанівець усі зусилля щодо їх реалізації. Однак важливо не тільки розуміти об'єктивну закономірність психологічних бар'єрів, але й бачити їхню певну корисність, що виражається у виконанні ролі своєрідних «фільтрів», які очищують це нововведення від можливих забруднень, тобто невдалих або неприйнятних для кожного конкретного підрозділу рішень.

Аналіз практики впровадження стандартів ISO 9000 на підприємствах метрополітену дозволяє виділити такі найсуттєвіші соціально-психологічні аспекти цієї роботи, знання яких дає можливість передбачати, послаблювати і тримати під контролем негативні явища у процесі їх упровадження.

Прийняття рішення такого роду є компетенцією першого керівника організації. Звичайно рішення за або проти використання стандартів, які приймаються, ґрунтується на аналізі сприятливих і протидійних факторів, у першу чергу економічних.

© *Кульбовський І. І., 2013*

---

Однак неабияке значення має і психологічний бік проблеми, який зводиться до побоювання потрапити в лещата чергової тотальної кампанії, яких багато було в минулому і які врешті-решт викликали у виробників розчарування і повну недовіру до будь-яких нововведень. Сучасні керівники організацій, висуваючи питання про впровадження стандартів, хочуть дістати гарантії того, що саме реалізація підходів цих стандартів, а не якесь інше рішення, є в цьому разі найкращим варіантом, і в майбутньому ці підходи не будуть розцінені як помилкові. Очевидно, що така гарантія закладена в тому, що концепція стандартів ДСТУ ISO 9000 є концепцією світової співпраці, а не якоїсь однієї країни (або окремої групи спеціалістів). Навіть більше: концепція цих стандартів уже успішно діє практично в усіх країнах світу, і ця обставина зводить ризик помилки під час прийняття підприємствами метрополітену рішення про впровадження стандартів ДСТУ ISO 9000 до мінімуму, якщо не до нуля.

Спроба знайти власну оригінальну концепцію та протиставити її концепції стандартів ДСТУ ISO 9000 навряд чи може вважатися в нинішній ситуації виправданою, оскільки пошук неповторного шляху неминуче призведе до втрати часу і до ще більшого відставання організації у сфері якості від організацій, які використовують ці стандарти.

Стандарти ДСТУ ISO 9000 викладені у формі загальних рекомендацій і вимог, однак у них не вказано методи, за допомогою яких ці рекомендації та вимоги можуть бути реалізовані. Робота метрополітену в умовах командно-адміністративної системи привчила їх до того, що розв'язання проблеми якості має здійснюватися на основі загальної методології, встановленої державою. Очевидно, зважаючи на це, деякі методисти пропонували стару схему, яка була використана свого часу в процесі освоєння комплексної системи управління якістю продукції (КС УЯП). Відповідно до неї вибираються базові організації, на яких під патронатом наукових організацій виконуються роботи з упровадження стандартів ДСТУ ISO 9000, а потім досвід цих «зразкових» організацій поширюється на інші «споріднені» організації. Така схема не тільки не є раціональною для вільного користування цими стандартами, але й призводить до явно негативного ефекту, тому що позбавляє організації, на яких тиражуються «зразкові» рішення, вільного вибору методів забезпечення якості, «гасить» їхню творчу ініціативу, породжує психологію утриманського ставлення до роботи і, що особливо небезпечно, знімає відповідальність за негативні результати впровадження.

Це не означає, що всі методичні питання організації треба розв'язувати тільки самостійно. Об'єктивна складність багатьох з них спонукає залучити до роботи різні організації, які професійно займаються такими проблемами. Водночас вибір наукових партнерів з упровадження стандартів ДСТУ ISO 9000 і відповідальність за результати співпраці цілком покладаються на підприємство, що унеможливорює виправдання себе в разі невдачі, неефективності офіційних рекомендацій. Безперечно, у нових умовах підприємства ризикують, обираючи тих чи інших зовнішніх співвиконавців з упровадження стандартів ДСТУ ISO 9000.

Концепція стандартів ДСТУ ISO 9000 передбачає встановлення взаємної довіри не тільки між підприємством і споживачем, але і між співробітниками підприємства. Упровадження цих стандартів руйнує командне адміністрування не тільки у відносинах між керівним органом і організацією, а й усередині управлінської структури самої організації.

Реалізація стандартів ДСТУ ISO 9000 передбачає, що до процесу забезпечення якості має бути залучений весь персонал підприємства, при цьому кожен працівник

---

---

повинен відповідати за результати своєї діяльності у сфері якості. Прийняття цього положення означає необхідність усунення вкоріненої у вітчизняній практиці психології навмисного відчуження та утриманства. Через таку психологію багатьох працівників вважають, що відповідальність за якість має покладатися на спеціалістів тих підрозділів, діяльність яких безпосередньо пов'язана з якістю, тобто на спеціалістів технічного відділу, лабораторію метрології, стандартизації та діагностики і головного метролога.

Стандарти ДСТУ ISO 9000 особливу роль в забезпечення якості відводять керівництву підприємства. І доти, доки керівники підприємства, тобто люди, які мають найбільші можливості впливати на всі боки її виробничої і комерційної діяльності, не будуть приділяти розв'язанню проблем якості достатньо засобів і часу, організація не може розраховувати на успіх.

Взяття на себе повної відповідальності за якість керівниками вітчизняних підприємств метрополітену, котрі звикли перекладати її на керівників нижчого рівня, не може бути безболісним. Навіть керівники західних фірм вимоги стандартів ISO 9000 сприйняли неоднозначно. За свідченням директора шведської Асоціації машинобудівельної промисловості Б. Хедлунга, така вимога спочатку шокувала багатьох менеджерів, і тільки через рік ситуація у Швеції суттєво змінилась: обстеження 58 фірм показало, що всі їхні керівники успішно провадили політику у сфері якості.

Документування системи якості, за ідеєю, не має викликати сумнівів, оскільки відсутність документального опису системи виключає можливість її об'єктивного оцінювання і визнання. Але суто формальне ставлення до таких документів у період масового впровадження КС УЯП, безмежне тиражування різного роду типових стандартів підприємств спричинили серйозну недовіру до них працівників організацій. Не секрет, що стандарти, створені в кабінетах УЯП – здебільшого виявлялися практично недієвими. Це призвело утворення немовби двох систем: однієї документованої (теоретичної), а другої – такої, що реально діє, але не документована. Вітчизняним організаціям при використанні ДСТУ ISO 9000 належить подолати серйозний психологічний бар'єр, пов'язаний з недовірою до документів системи менеджменту якості. Запорукою успіху в цій справі має стати чіткість вимог, сформульованих у стандартах ДСТУ ISO 9000 до документації в системі.

Усі радикальні зміни, пов'язані з упровадженням цих стандартів, особливо спрямовані на вдосконалення організаційної структури, мають здійснюватися поступово.

Залучення всього персоналу до діяльності з забезпечення якості, а також орієнтація системи на задоволення потреб споживачів, надання службі якості центральної ролі у структурі управління підприємства потребують певного часу. Різкі, революційні зміни при цьому неприйнятні. Образно кажучи, тут потрібен не штурм, а планомірна робота. Варто мати на увазі, що для більшості вітчизняних організацій у підході до проблеми впровадження стандартів ДСТУ ISO 9000 переважає, швидше, психологічний, ніж організаційно-методичний аспект. А в тих випадках, коли йдеться про психологію, будь-яка квапливість не тільки не бажана, але навіть небезпечна. Тож упровадження стандартів ДСТУ ISO 9000 – тривала й важка робота, в якій кожний позитивний ефект документально закріплюється, і від нього відштовхуються для дальшого руху вперед.

Упровадження цих стандартів пов'язане з необхідністю набуття нових знань, навиків, з освоєнням прогресивних методів роботи. Для багатьох працівників, і в першу чергу для керівників і спеціалістів, діяльність з освоєння стандартів ДСТУ ISO 9000 – це творча робота, яка дає можливість задовольнити потреби в самови-

---

---

раженні. Вона дає працівникам підприємства реальну перспективу перейти від чисел і закликів «робити якість» до використання заходів і методів. Ця робота дозволяє перебороти ірраціональні підходи до якості та ідеологічні бар'єри, сформовані в минулому, відійти від формального ставлення до роботи з забезпечення якості стимулювати активність щодо досягнення якісних результатів, залучити організацію до діяльності з розв'язання проблем якості світового рівня.

Сприятливий соціально-психологічний клімат для впровадження стандартів ДСТУ ISO 9000 може бути створений шляхом реалізації таких заходів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Міжнародна стандартна класифікація занять (ISCO – 88: international Standart Classification of Occupation / ILO, Geneva).
2. Векслер Е. М., Рада В. М., Василевич Л. Ф. Якість: навч. посіб./ Під ред. Е.М. Векслера. – К.: ВД «Професіонал», 2008. – 230 с.
3. Горопацький В., Паракуда В., Сухенко А. Система екологічної сертифікації як засіб реалізації екологічної політики держави // Інформаційний бюлетень Міністерства промислової політики України з стандартизації, метрології та управління якістю. – К., 2006. – №2(4). – с. 59-61.
4. ГОСТ 30488-97. Органы по сертификации персонала. Общие требования.
5. ДСТУ ISO 9000-2001. Системи управління якістю. Основні принципи та словник.
6. Жиромський В., Малецька О. Система сертифікації персоналу вимірювальних та калібрувальних лабораторій // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2002. – № 4. – с. 28-30
7. Кисельова Г. Б. Досвід впровадження інтегрованої системи менеджменту на основі міжнародних стандартів ISO 9001, ISO 14001, OHSAS та 180001 та SA 8000 // Інформаційний бюлетень Міністерства промислової політики України з стандартизації, метрології та управління якістю. – К., 2005. – №3(5) – с. 58-60
8. Мухаровський М., Глухова О., Рудовська Н. Персонал – новий об'єкт підтвердження відповідності // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2002. – №2. – с.35-36.
9. Старр М. Управление производством. – М.: Прогресс, 1968. – 49с.
10. Шаповал М.І. Персонал у системі управління якістю. Менеджмент якості: Підручник. – К.: Т-во «Знання», КОО, 2003. – с. 252-253; 280-297.

## ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА МЕХАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ В АЕРОПОРТАХ

*В даний час операції інтелектуальної праці, які піддаються формалізації, стають об'єктом механізації та автоматизації. Класифікація засобів автоматизації і механізації обслуговування авіапасажирів в аеропорту свідчить, що структура засобів механізації практично не змінилася з 1980-х років. Проте, всі процеси і засоби обслуговування авіапасажирів в аеропорту проходять етапи автоматизації. Зростання авіаперевезень та обсягів авіапасажирів, підвищення вимог до безпеки і комфорту потребують системного підходу до процесу автоматизації, тобто автоматизація повинна бути комплексною і вимагає фінансової, технологічної та технічної взаємодії між авіакомпаніями, аеропортами, хендлінговими компаніями. В статті згруповані та описані сучасні засоби автоматизації та ІТ-рішень згідно з стандартними етапами обслуговування пасажирів: продаж авіапослуг, проходження аеропортових формальностей, оптимізація процесу обслуговування.*

*В настоящее время операции интеллектуального труда, которые поддаются формализации, становятся объектом механизации и автоматизации. Классификация средств автоматизации и механизации обслуживания авиапассажиров в аэропорту показала, что структура средств механизации практически не изменилась с 1980-х годов. Однако, все процессы и средства обслуживания авиапассажиров в аэропорту проходят этапы автоматизации. Рост объемов авиаперевозок и авиапассажиров, повышение требований к безопасности и комфорту требуют системного подхода к процессу автоматизации, т.е. автоматизация должна быть комплексной и требует финансового, технологического и технического взаимодействия между авиакомпаниями, аэропортами, хендлинговыми компаниями. В статье сгруппированы и описаны современные средства автоматизации и IT-решений согласно стандартным этапам обслуживания пассажиров: продажа авиауслуг, прохождение аэропортовых формальностей, оптимизация процесса обслуживания.*

*At the present time operations of intellectual occupation that can be formalized, become the subject of mechanization and automation. Classification of automation and mechanization devices of the air passenger service in the airport indicated that the structure of the mechanization devices has not practically changed since the 1980s. However, all the processes and devices of passengers' service at the airport proceed to the stage of automation. Growth of air traffic, the requirements to safety and comfort become tougher that requires a system approach to process of automation, i.e. automation must be complex and requires financial, technological and technical cooperation between airlines, airports, handling companies. In the article the modern automation devices and IT solutions are grouped and described according to the standard passenger service stages: sale of air service, passing the airport formalities, optimization of the service process.*

**Ключові слова:** класифікація, аеропорт, механізація та автоматизація процесів, технології обслуговування авіапасажирів.

**Вступ.** За даними [1] у 2012 р. 98 % пасажиропотоків і 92 % вантажопотоків припадає на вісім основних аеропортів: Бориспіль, Дніпропетровськ, Донецьк, Київ (Жуляни), Львів, Одеса, Сімферополь та Харків. Пасажиропотоки в аеропорту Бориспіль зросли порівняно з даними за 2011 р. на 5,5 %, Дніпропетровськ — на 4,2%, Донецьк — на 20,6 %, Київ (Жуляни) — на 83,5 %, Львів — на 94%, Одеса — на 10,1 %, Сімферополь — на 15,6 %, Харків — на 62,5 %.

Одним з факторів, що вплинули на збільшення обсягу авіаперевезень, можна вважати, як зазначено в аналітичній статті [2], суттєве оновлення інфраструктури українського авіаційного транспорту в 2011 р. Щоб скласти конкуренцію провідним європейським хабам (рис.1), в Україні були розгорнуті масштабні роботи з оновлення українських аеропортів у містах Київ, Харків, Львів і Донецьк.

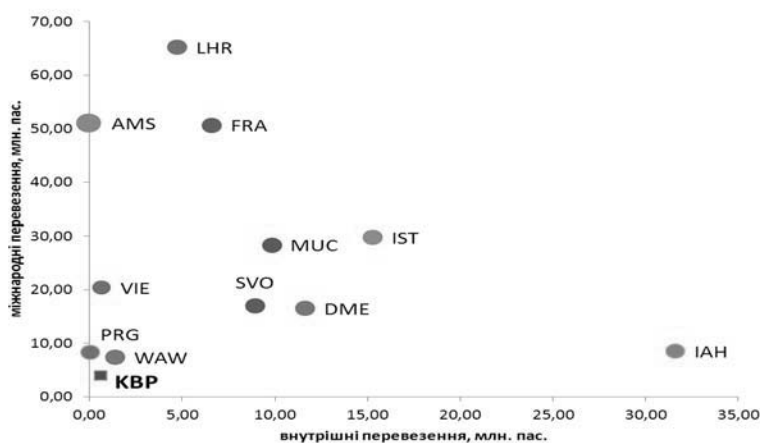


Рис. 1. Порівняння обсягів внутрішніх та міжнародних перевезень пасажирів провідного аеропорту України «Бориспіль» (КВР) та світових хабів (складено за даними ІСАО)

Відзначимо, що в Україні є велика кількість підприємств, які виробляють наземне обладнання, наприклад: ВАТ «Азовмаш», ВАТ «Головний спеціалізований конструкторсько-технологічний інститут», Харківське авіаційне виробниче ДП (ХДАВІП) – Харківський авіаційний завод та інші. Однак аналіз свідчить, що засоби автоматизації і механізації для нових терміналів в аеропортах України купуються в основному у зарубіжних фірм. Так, у терміналі «D» аеропорту «Бориспіль» встановили автоматизовану систему обробки багажу, постачальником якої є компанія Vanderlande Industries B.V. (Нідерланди) [3], для побудови інтелектуальної інформаційної мережі були використані рішення Cisco Systems, Inc. – компанії США в області мережевих технологій та обладнання для Інтернету [4]. В Україні обладнання та рішення Cisco були використані також в аеропорту «Київ», при модернізації Міжнародного аеропорту «Львів», в ході реконструкції аеропорту в Донецьку.

Зростання авіаперевезень в Україні, світові тенденції організації виробничих процесів в аеропортах, масштабні реконструкції та необхідність серйозних наукових розробок щодо обґрунтування механізації та автоматизації процесів обслуговування авіапасажирів вимагають поновлення наукових досліджень у даній області.

---

**Аналіз публікацій.** Сьогодні є великий вибір техніки для механізації і автоматизації технологічних процесів в аеропортах, які описані в деяких джерелах, наприклад, [5]. Класифікацію засобів механізації та автоматизації, їх структурований опис, рішення задач оптимального оснащення аеропортів було викладено в наукових працях 70-90х років минулого століття, авторами яких є Л. В.Горецький, Н.Ашфорд, В.І.Блохін, В.Є.Канарчук [6,7] та ін. У дослідженні [8] класифікація засобів механізації, що застосовуються в аеропортах, проведена в залежності від призначення засобу і виділені наступні групи:

- 1) засоби і механізми для технічного обслуговування повітряних суден,
- 2) аеродромна техніка,
- 3) засоби обслуговування пасажирських і поштово-вантажних перевезень.

Загальна класифікація аеропортових засобів не дає повної інформації для вивчення властивостей, факторів і ефективності технології обслуговування авіапасажирів, важко визначити ступінь вирішення проблеми автоматизації та інформатизації процесів обслуговування на українських авіапідприємствах.

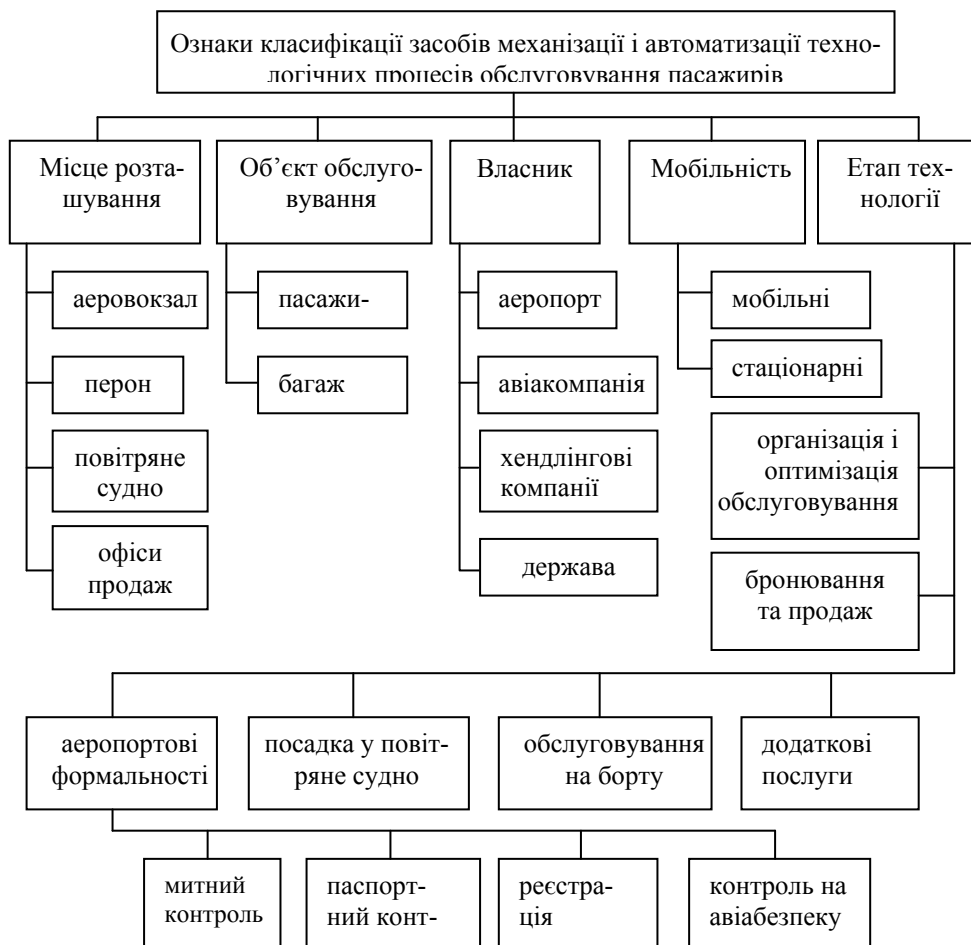
У даній статті пропонується групування та класифікація засобів автоматизації і механізації технологічних процесів обслуговування пасажирів та обробки багажу, яка відображала б сучасні тенденції в цій області.

**Результати дослідження.** Введення автоматизації технологічних процесів в аеропортах дозволяє значно підвищити продуктивність праці, скоротити частку робітників, зайнятих у різних сферах обслуговування. Технологічний процес (ТП), у нашому випадку – це послідовність технологічних операцій, необхідних для виконання певної процедури обслуговування пасажирів і обробки багажу в аеропорту. ТП складається з робочих операцій, які у свою чергу складаються з робочих рухів (прийомів).

Автоматизація процесів обслуговування в аеропортах – це процес розвитку технології обслуговування, при якому функції управління та контролю, які раніше виконувалися людиною, передаються приладам і автоматичним пристроям. На сьогодні актуальними є задачі реалізації системи або систем, що дозволяють здійснювати управління ТП без участі людини, або залишення за людиною права прийняття найбільш відповідальних рішень.

Проведені дослідження процесів автоматизації в аеропортах світу показали, що самообслуговування і мобільність є ключовими характеристиками технології обслуговування завтрашнього дня. Повсюдна наявність зв'язку означає, що пасажирі завжди знаходяться в зоні доступності і, отже, налаштовані на онлайн-комунікацію, очікуючи негайного реагування на свій запит. Навіть таке просте удосконалення, як можливість перевірити наявність багажу на борту літака, може значно мінімізувати невдоволення і невпевненість. Для того, щоб дійсно реалізувати проект аеропорту майбутнього, авіакомпаніям і аеропортам необхідно інвестувати в нові системи, які дозволять автоматизувати ручні операції, поширювати інформацію та забезпечувати активну комунікацію з пасажиром.

Для здійснення класифікації засобів автоматизації і механізації обслуговування авіапасажирів, на рис. 2 представимо ієрархію критеріїв (ознак) класифікації.



**Рис. 2. Ієрархія ознак класифікації засобів автоматизації та механізації технології обслуговування авіапасажирів**

Наведемо приклад класифікації засобів автоматизації і механізації обслуговування авіапасажирів за місцем розташування:

- 1) до аеровокзальної механізації і автоматизації належать:
  - пристрої для реєстрації пасажирів та оформлення багажу;
  - вагове обладнання;
  - устаткування для передачі інформації щодо комплектування рейсу;
  - обладнання для аеровокзального транспортування багажу;
  - пристрої для сортування багажу;
  - обладнання для видачі багажу (роликові доріжки, стрічкові, роликові, пластинчасті і карусельні транспортери);
  - пристрої для передачі інформації для пасажирів;
- до перонної механізації належать:
  - пристрої, призначені для транспортування, посадки і висадки пасажирів;
  - засоби для транспортування багажу і бортового харчування;
  - пристрої для вантажно-розвантажувальних робіт з багажем і бортовим харчуванням;

---

3) до механізації на борту повітряного судна на етапі завантаження багажу використовуються:

пристрої для розподілу багажу всередині багажних приміщень літака;  
контейнерне обладнання;

основним засобом обслуговування авіапасажирів в офісах бронювання і продажу є автоматизована система бронювання авіаперевезень.

Визначивши місце розташування засобів механізації або автоматизації, можна проводити подальшу їх класифікацію згідно з наведеними вище ознаками. Так, засоби перонної механізації можна розподілити за об'єктом обслуговування на ті, що призначені для транспортування, посадки і висадки пасажирів і ті, що призначені для транспортування багажу та бортового харчування. Серед засобів перонної механізації для обслуговування пасажирів можна виділити мобільні (автопоїзди, автобуси, самохідні і несамохідні трапи, автобуси з підйомним кузовом, підйомні салони-накопичувачі) і стаціонарні (ескалатори, пасажирські ліфти, рухомі тротуари, транспортні системи, конвеєри, пасажирські телескопічні трапи-містки, трапи-галереї).

Згрупуємо автоматизоване обладнання, системи та ІТ-продукти, що використовуються сьогодні при обслуговуванні авіапасажирів, за технологічною ознакою:

1. *Продаж авіаперевезень*: автоматизовані системи бронювання та продажу (Amadeus, Galileo і ін); квиток з мікрочіпом, магнітною смугою, або будь-якою іншою системою кодування (Automated Ticket and Boarding Pass); електронний квиток (e-ticket).

2. *Митний і паспортний контроль, верифікація посадкового талона в момент посадки на рейс*: біометричні системи, зчитувачі посадкових талонів (Boarding Gate Reader).

3. *Реєстрація*: термінали самообслуговування для реєстрації, які друкують двомірні штрих-коди, читають електронні паспорти, і реєструють пасажира з багажем чи без (Common Use Self Service), принтер посадкових талонів (Boarding Pass Printer), посадковий талон з двомірним штрих-кодом (Bar Coded Boarding Pass), сканер штрих-кодів (Bar Code Reader), принтер для друку списків (пасажирів, багажу і т.д.), принтер міток для багажу, ІТ-система авіакомпанії, яка містить всі програми, необхідні для обробки пасажирів і багажу (Departure Control System); технології бездротового зв'язку ближнього радіусу дії (NFC).

Аналіз свідчить, що постачальники ІТ-рішень для авіаційної індустрії все більше просувають ідею про те, що в найближче десятиліття традиційна реєстрація на стійках в аеропортах, як це відбувається у всіх аеропортах України, піде в минуле. Більшість пасажирів будуть самостійно реєструватися вдома, а в аеропорту самостійно здавати багаж.

4. *Обробка багажу*: система сортування і відстеження багажу, яка гарантує, що кожна одиниця багажу відповідає пасажирові, який перебуває на борту; системи автоматизації та роботизації обробки багажу; автоматизовані системи розпізнавання багажу (Baggage Reconciliation System); системи пошуку багажу; технологія радіочастотної ідентифікації (RFID).

5. *Прийняття оперативних рішень щодо оптимізації обслуговування*: центральна база даних (AODB), яка зберігає всю інформацію, стосовно діяльності аеропорту і з'єднується з іншими ІТ-системами за допомогою спеціальної комунікаційної системи (AIMS); система управління ресурсами (Resource Management System); «хмарні сервіси» (Cloud Computing); повсюдне застосування планшетних комп'ютерів.

---

---

Суть нового етапу автоматизації – Cloud Computing – в розміщенні інформації та її обробки в спеціалізованому центрі. При цьому авіапідприємству немає необхідності тримати всю інформацію на своєму сервері, для цього він може орендувати серверні потужності, користуючись швидкісними захищеними каналами зв'язку і попередньо оформивши угоду про конфіденційність і про гарантії надання послуг.

**Висновки.** Класифікація засобів механізації та автоматизації, що застосовуються в технологіях обслуговування авіапасажирів дозволяє забезпечити первинне узагальнення даних про сучасні розробки, подати їх в більш впорядкованому вигляді. Групування ІТ-рішень і автоматизованого устаткування, яке враховує стандартні етапи технології обслуговування авіапасажирів, дає можливість порівнювати, аналізувати застосовувані засоби, вивчати наявні та необхідні взаємозв'язки між пропонуваними на ринку продуктами для ведення авіабізнесу. Проведена класифікація необхідна для подальшого вивчення структури, параметрів, характеристик засобів автоматизації і механізації з метою розробки моделі обслуговування авіапасажирів.

Зараз можна сказати, що більшість аеропортів тією чи іншою мірою автоматизовані. У міру розростання окремих систем автоматизації та механізації їх підтримка в працездатному стані стає невиправдано дорогою, не кажучи вже про недостатню ефективність роботи. Тому консолідовані рішення, комплексна автоматизація – природний шлях для розвитку галузі. Отже, в подальшому є потреба техніко-економічного обґрунтування комплексних процесів автоматизації та механізації технології обслуговування пасажирів за участю агентств з продажу квитків, авіакомпаній і аеропортів, хендлінгових компаній, які повинні діяти як єдина система обслуговування на базі досконалих машин, сучасної технології та прогресивних методів управління.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Аэропорты Украины: детальные итоги 2012 года. [електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.avianews.com/ukraine/2013/01/29\\_airport\\_2012\\_detailed.shtml](http://www.avianews.com/ukraine/2013/01/29_airport_2012_detailed.shtml)
2. Топ-10 достижений Украины в сфере транспорта и инфраструктуры [електронний ресурс] // РБК Україна. – 2011. – 28 дек. – Режим доступу: <http://www.rbc.ua/rus/top/show/top-10-dostizheniy-ukrainy-v-sfere-transporta-i-infrastruktury-28122011162900>
3. Шереметьево показал Бориспюлю, как обрабатывают багаж пассажиров [електронний ресурс] // Astravel.com.ua. – 2011. – 22 авг. – Режим доступу: [www.astravel.com.ua/onews/1596/](http://www.astravel.com.ua/onews/1596/)
4. Cisco оборудовала крупнейший аэропорт Украины [електронний ресурс] // Content-Review.com. – 2012. – 20 июн. – Режим доступу: <http://www.content-review.com/articles/19352/>
5. *Беляков В.* «Авиаисток» и партнёры на службе аэропортов России и стран СНГ // В. Беляков // Аэропорт партнёр. – 2006. – № 2. – С. 1-4.
6. *Гелетуха Г. Н.* Спецмашины аэропортов: справочник. / Г. Н. Гелетуха, В. И. Лычик, В. Е. Канарчук. – М.: Транспорт, 1980. – 351 с.
7. *Канарчук В. Е.* Средства обслуживания авиaperезовок/В. Е.Канарчук, А. Д.Чигринец, В. Н.Ленчевский. – К.: Техника, 1987. – 136 с.

Геннадій Пугачов  
Олександр Загородній

### ВЗАЄМОДІЯ КОЛІСНОЇ ПАРИ З РЕЙКОЮ У КРИВИХ. УМОВА НЕДОПУЩЕННЯ ВКОЧЕННЯ ГРЕБЕНЯ НА РЕЙКУ

*В статті на основі розгляду відношень між геометричними параметрами гребеня і діючими на колесо силами встановлені аналітичні вирази для двох випадків поведінки колісної пари: її вкочування на рейку (підйом колеса) і переходу точки контакту в напрямку підстави гребеня (опускання колеса). Стаття супроводжується чисельними розрахунками граничних значень бічної сили залежно від кута нахилу гребеня.*

*В статье на основе рассмотрения отношений между геометрическими параметрами гребня и действующими на колесо силами установлены аналитические выражения для двух случаев поведения колесной пары: ее вкатывания на рельс (подъем колеса) и перехода точки контакта в направлении основания гребня (опускание колеса). Статья сопровождается численными расчетами граничных значений боковой силы в зависимости от угла наклона гребня.*

*In the article on the basis of consideration of relations between the geometrical parameters of comb and operating on a wheel forces analytical expressions are set for two cases of conduct of wheelpair: its rolling into on a rail (I pod'em wheels) and transition of point of contact in the direction of foundation of comb (lowering of wheel). The article is accompanied the numeral calculations of granichnikh values of lateral force depending on the angle of slope of comb.*

**Ключові слова:** гребінь, рейка, бічна сила

#### **Постановка проблеми**

Поведінка колеса при проходженні кривої ділянки колії під дією бічної сили ( $Y_6$ ) і вертикального навантаження колеса ( $\Pi$ ) пов'язана з питаннями безпеки руху. Розглянемо дві ситуації поведінки колеса під дією вказаних сил.

Ситуація перша відповідає ефекту вкочування колеса на рейку, тобто підйому колеса відносно рейки з подальшим сходженням його (рис., схема а).

Ситуація друга стосується опускання колеса з послідовним переходом точки контакту колеса з рейкою у напрямку підстави гребеня (рис., схема б).

Задача полягає у визначенні бічної сили, яка б відповідала вказаним ситуаціям залежно від навантаження колеса і геометричних параметрів гребеня.

Розглянемо сили, які діють на колесо. З одного боку, це зовнішні сили навантаження колеса ( $\Pi$ ) і бічна сила ( $Y_6$ ), що забезпечує повертання візку у кривій. З другого боку, це реактивні сили від рейки, це сила нормального тиску ( $N$ ), перпендикулярна до поверхні гребеня, і сила тертя ( $T$ ), спрямована вздовж поверхні бандажа.

© Пугачов Г. С., Загородній О. П., 2013

---

Остання (сила тертя) спрямована у бік, протилежний напрямку переміщення поверхні гребеня відносно рейки. Тому, при уключуванні колеса і підйомі його відносно рейки (рис., схема а) вектор сили тертя спрямовано вздовж поверхні донизу, а при опусканні колеса (рис., схема б) навпаки, вздовж поверхні у протилежному напрямку.

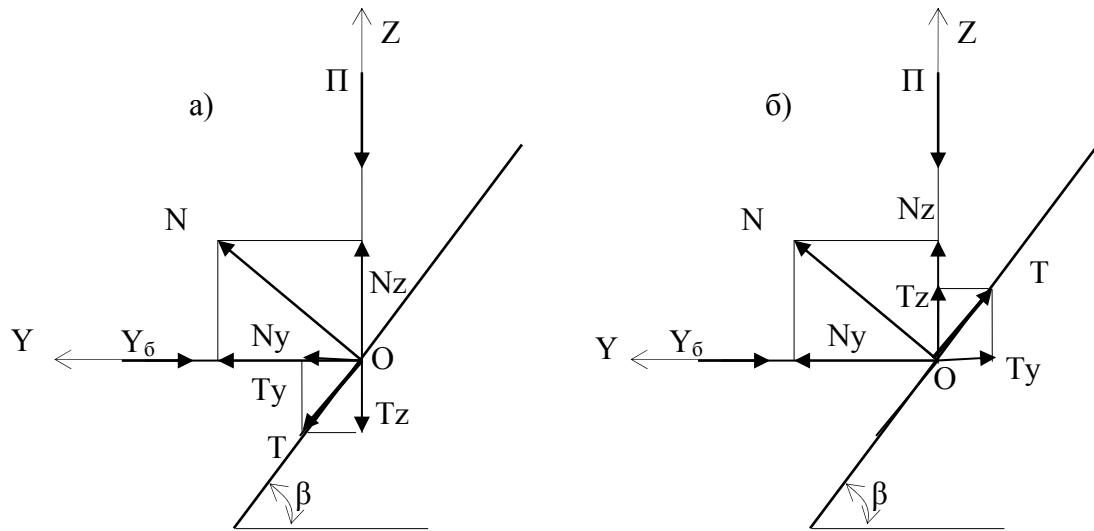


Рис. Схема діючих сил у точці контакту гребеня з рейкою  
а) при підйомі колеса; б) при опусканні колеса

Для розгляду рівноваги сил, які діють у точці контакту колеса з рейкою, статика надає два рівняння, відносно осей  $OY$  і  $OZ$ . Відповідними проекціями будуть: для нормальної реакції  $N - Ny$  і  $Nz$ , а для сили тертя  $T - Ty$  і  $Tz$ .

Складемо рівняння рівноваги для випадку підйому колеса:

$$\Sigma Z = Nz - Tz - \Pi = 0; \quad (1, a)$$

$$\Sigma Y = Ny + Ty - Yб = 0; \quad (2, a)$$

Для опусканні колеса рівняння набувають вигляду:

$$\Sigma Z = Nz + Tz - \Pi = 0; \quad (1, б)$$

$$\Sigma Y = Ny - Ty - Yб = 0; \quad (2, б)$$

При визначенні сили тертя ми користувались постійним значенням коефіцієнта тертя ( $f$ ), який при нормальному тиску ( $N$ ) з боку рейки забезпечує силу тертя

$$T = f \cdot N \quad (3)$$

---

Розв'язання рівнянь проведено шляхом таких перетворень:

$$T_y = T \cdot \cos \beta = N \cdot f \cdot \cos \beta = N_y \cdot f \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} \quad ; \quad (4)$$

$$N_z = \frac{N_y}{\operatorname{tg} \beta} ; \quad (5)$$

$$T_z = T_y \cdot \operatorname{tg} \beta = N_y \cdot f , \quad (6)$$

з урахуванням яких було отримане відношення між бічною силою і навантаженням колеса:

- для ситуації з підйомом колеса

$$Y_6 = \frac{f + \operatorname{tg} \beta}{1 - f \cdot \operatorname{tg} \beta} \cdot \Pi ; \quad (7, a)$$

- для ситуації з опусканням колеса

$$Y_6 = \frac{\operatorname{tg} \beta - f}{1 + f \cdot \operatorname{tg} \beta} \cdot \Pi . \quad (7, б)$$

Таким чином, нами отримано співвідношення для залежності максимальної бічної сили залежно від навантаження колеса ( $\Pi$ ), кута нахилу гребеня до горизонту ( $\beta$ ) і коефіцієнта тертя ( $f$ ). Для заданого кута нахилу гребеня и коефіцієнта тертя, який приймають, як  $f = 0,25$ , частина виразу, що стоїть перед позначенням навантаження, сприймається як коефіцієнт.

Введемо позначення

$$K_1 = \frac{f + \operatorname{tg} \beta}{1 - f \cdot \operatorname{tg} \beta} ; \quad (8, a)$$

$$K_2 = \frac{\operatorname{tg} \beta - f}{1 + f \cdot \operatorname{tg} \beta} . \quad (8, б)$$

Введені коефіцієнти слід сприймати як частку навантаження колісної пари, що реалізується при тій чи іншій поведінці колісної пари. Слід пам'ятати при цьому, що вони введені як характеристики граничного стану рівноваги і тому при розрахунках, пов'язаних з небезпекою, розрахункове бічне зусилля збільшують. Так, умова стійкості колісної пари в роботі [2] розглядається для ситуації опускання колеса, яка відповідає схемі «б» рис., з коефіцієнтом запасу 1,5. Зрозуміло, що така «перестраховка» сприймає на себе неврахування динамічних і силових чинників, які діють на колісну пару, а також можливе відхилення коефіцієнта тертя від розрахункового. Більш досконалим є відношення, наведене у Нормах [1], але складність його використання (формула включає в себе більше п'ятидесяти членів) ускладнює розуміння впливу окремих чинників на стійкість колісної пари від сходу.

---

Користуючись відношеннями для коефіцієнтів (8, а і 8, б), як характеристиками залежності максимальної бічної сили від кута нахилу гребеня, були проведені відповідні розрахунки. Результати розрахунків для обох ситуацій поведінки колісної пари приведені у таблиці.

Таблиця. Значення коефіцієнтів  $K_1$  і  $K_2$

Коефіцієнт	Кут нахилу гребеня $\beta$ , град					
	60°	70°	72,5°	75°	77,5°	80°
$K_1$	3,495	9,57	16,5	59,3	-37,3	
$K_2$	1,03	1,48	1,63	1,8	2,0	2,24

Аналіз приведених розрахунків свідчить про збільшення стійкості колісної пари у кривих зі збільшенням кута нахилу гребеня. Навіть при куті нахилу у 70° перевищення бічної сили відносно сили навантаження при опусканні колеса сягає біля 1,5 рази. Таким чином виходить, що при навантаженні колеса силою у 110 кН (навантаження, близьке до нормативного) опускання колісної пари забезпечується, якщо бічна сила не перевищує 165 кН. Але таке значення не може бути реалізовано, тому що воно далеко виходить за межі нормативів бічної сили з умов міцності рейкової колії. Тому з впевненістю можна стверджувати, що кут нахилу гребеня у 70° цілком забезпечує безпеку локомотива по умові вкочення гребеня на рейку. Більше того, дані таблиці показують навіть теоретичну неможливість підйому колеса і вкочування його на рейку для коліс з кутом гребеня більше 75°, при якому розрахована бічна сила набуває від'ємного значення.

Зрозуміло, що прийняти кути нахилу гребенів, окрім  $\beta=60^\circ$  і  $\beta=70^\circ$  для незношених поверхонь вагонних коліс і бандажів локомотивів, спостерігаються тільки в експлуатації. Тому можна бути впевненим, що зношування гребенів з одночасним збільшенням кута нахилу гребеня сприяє підвищенню стійкості колісної пари проти сходу її з рейок під дією бічної сили.

#### Висновки

1. Математично обґрунтовані ситуації поведінки колісної пари під дією бічної сили і приведені аналітичні вирази залежності максимальної бічної сили від навантаження колісної пари.

2. Проведені розрахунки свідчать про підвищення стійкості колісної пари проти сходу у кривих під дією бічної сили з підвищенням кута нахилу гребеня бандажа.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520мм.– М.: ВНИИЖТ, 1998.– 145 с.
2. *Вериго М. Ф.* Динамика вагонов.: Конспект лекций. –М., ВЗИИТ, 1971. – 176 с.

Геннадій Пугачов  
Андрій Романюк

## КУТ НАХИЛУ ГРЕБЕНЯ ЯК ЧИННИК ЗНОШЕННЯ ПОВЕРХНІ БАНДАЖА

*У статті на підставі геометричних співвідношень контактуючих поверхонь запропонована концепція механізму зношування гребеневої частини бандажа при проходженні рейковим екіпажем кривої ділянки шляху. Міркування якісного порядку підтверджені розрахунками силових характеристик процесу зношування. Встановлена роль окремих чинників, що впливають на інтенсивність зношування і, зокрема, вплив кута нахилу гребеневої частини бандажа.*

*В статье на основании геометрических соотношений контактирующих поверхностей предложена концепция механизма изнашивания гребневой части бандажа при прохождении рельсовым экипажем кривого участка пути. Соображения качественного порядка подтверждены расчетами силовых характеристик процесса изнашивания. Установлена роль отдельных факторов, влияющих на интенсивность изнашивания и, в частности, влияние угла наклона гребневой части бандажа.*

*In the article on the basis of geometrical correlations of contacting surfaces conception of mechanism of wear of grebnevoy part of bracer is offered at passing of the crooked area of way a claotype crew. Considering of high-quality order is confirmed the calculations of silovikh descriptions of process of wear. The role of separate factors, influencing on intensity of wear and, in particular, influence of angle of slope of grebnevoy part of bracer is set.*

**Ключові слова:** гребінь, колісна пара, рейка

### Постановка проблеми

Пересування колісної пари у кривих здійснюється завдяки силовій взаємодії гребеня бандажа з рейкою і супроводжується поперечним переміщенням колісної пари. Розгляд сил при взаємодії на рівні колія – візок, відомий як динамічне вписування візка у кривих, став класичним і був розглянутий у ряді праць, наприклад [1, 2, 3]. У даній статті ця проблема розглядається на рівні взаємодії гребеня бандажа і бічної поверхні рейки. Головним аспектом при цьому є зношування контактуючих поверхонь гребеневої частини бандажа.

### Основний матеріал

Розгляду підлягає колесо передньої колісної пари, що набігає на зовнішню рейку. Поперечне переміщення колісної пари забезпечують сили у точках контакту гребеневої частини бандажа з рейкою. Ці точки миттєві, як і центр швидкостей колеса, що обертається. Точки контакту у даний момент займають положення лінії *AB* на рис.1.

© Пугачов Г. С., Романюк А. С., 2013

---



---

вості для поперечного пересування колісної пари і створюються умови для збільшення кута набігання колеса на рейку.

Таким чином, розглянутий нами механізм зношування приводить до одночасного збільшення і кута нахилу конічної поверхні гребеня ( $\beta$ ) і кута набігання колеса на рейку ( $\alpha$ ), що, як це витікає з формули (1), приводить до збільшення вибігу і переходу точки вибігу  $A$  на не зношувану частину гребеня. Тобто, відбувається подальше збільшення висоти зношеної поверхні гребеня і кута нахилу цієї поверхні.

На рис.1 показано, що зношення поверхні бандажа відбувається на кільцевій поверхні шириною  $\Delta r$ . При застосуванні простих геометричних залежностей можна встановити залежність ширини зношеної поверхні для колеса радіусом  $r$ . При цьому скористуємось твердженням про положення точки вибігу  $A$  на відстані 10 мм від висоти головки рейки і формулою (1) для визначення положення точки вибігу.

Для прикладу приймемо такі дані  $r = 625$  мм;  $\beta = 70^\circ$ ;  $\alpha = 0,025$  рад. За формулою (1) знайдемо  $AB' = 43,6$  мм.

На підставі рис. 1 отримаємо:

$$\Delta r = \sqrt{((r + 10)^2 + (AB')^2)} - r, \quad (2)$$

що після підстановки дає  $\Delta r = 11,5$  мм. Збільшення кута нахилу зношеної частини гребеня до  $80^\circ$  дає результат  $\Delta r = 16,3$  мм, а при  $\beta = 82^\circ$  значення  $\Delta r$  перевищує висоту контрольної точки дотику шаблона (18 мм) і є ознакою неприпустимості подальшої експлуатації колісної пари.

У приведеному розрахунку значення кута набігання прийнято з урахуванням таких чинників:

по-перше, набігання колісної пари у складі двовісного візка з базовим розміром  $2a$  при радіусі кривої  $R$  визначається як

$$\alpha_1 = 2a / R;$$

по-друге, перекошування осі візка у кривій. Сприймаючи при розрахунках положення найбільшого перекошування, обґрунтування якого для існуючих розмірів колії приведено у роботі [3], цей чинник збільшить кут набігання на

$$\alpha_2 = \Delta_p / 2a,$$

де  $\Delta_p$  – розбіг колісної пари у колії, що визначається максимальним поперечним переміщенням колісної пари у колії шириною 1520 мм. Приймаючи номінальну відстань між внутрішніми гранями бандажа 1440 мм, а товщину гребеня середньої ступені зношеності  $t = 30$  мм, отримаємо  $\Delta_p = 20$  мм;

по-третє, перекошування колісної пари відносно поздовжньої осі візка, як наслідок геометричних допущень при виготовленні візка і елементів, а також наслідок монтажних недоліків і зношування елементів зв'язку колісної пари з рамою. При наявності різниці міжосьової відстані по обидві сторони візка  $\Delta_k$ , збільшення кута набігання становитиме:

$$\alpha_3 = \Delta_k / 2S.$$

Приймаючи  $2a = 3$  м;  $R = 400$  м;  $\Delta_p = 20$  мм;  $\Delta_k = 20$  мм;  $2S = 1580$  мм, отримаємо  $\alpha = 0,025$  рад, що і було сприйнято у попередніх розрахунках.

Повертаючись до механізму зношування поверхні гребеня, відзначимо, що збільшення кута нахилу гребеня в решті-решт приводить до розповсюдження зношування на всю конічну поверхню гребеня, свідченням якого є відомий експлуатаційникам дефект з назвою «гостроконечний накат». Звернемо при цьому увагу на пластичну деформацію металу, що утворює цей гострий наплив металу на верши-

---

ну гребеня. Природа такої деформації свідчить про високу температуру поверхні гребеня як наслідок великої потужності сил тертя.

Надамо оцінку потужності сил тертя, що діють при кочення коліс зі зношеною гребеневою поверхнею.

Звертаючись до рис.1, за визначенням точки  $B$  як миттєвого центру швидкості, знайдемо швидкість ковзання точки вибігу  $A$  відносно рейки:

$$V_A = AB \cdot \omega,$$

$$\text{де } AB = \sqrt{AB'^2 + 10^2};$$

$$\omega = \frac{V_{\text{лок}}}{r};$$

де  $V_{\text{лок}}$  – швидкість локомотива.

Згідно з гіпотезою Кулона сила тертя не залежить від швидкості ковзання, і тому у випадку безперервного контакту по лінії  $AB$  можна користуватися рівнодіючою цих сил, як зосередженою силою, прикладеною посередині цієї лінії у точці  $C$ . У такому разі швидкість ковзання у цій точці становитиме:

$$V_C = V_A/2.$$

Для визначення сили тертя, розглянемо схему сил, діючих при контакті колеса з рейкою. Контакт відбувається умовно у двох точках, в одній з яких (точка  $B$  на рис.1) реалізована частина загального вертикального навантаження від колеса на рейку, а у другій (умовна точка  $C$ ) поряд з частиною загального вертикального навантаження прикладена бічна силу від рейки на гребінь. Розгляд сил, які діють з боку колеса на рейку (вертикальне навантаження і бічна сила) а також реактивні сили з боку рейки (сила нормального тиску і тертя), був проведений у роботі [ 4 ]. Були складені рівняння рівноваги і встановлено співвідношення між бічною силою  $Y_6$  і силою вертикального навантаження  $\Pi$ . Відношення має вигляд:

$$Y_6 = \frac{\text{tg}\beta - f}{1 + f \cdot \text{tg}\beta} \cdot \Pi, \quad (3)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя. Приймають  $f = 0,25$ .

Зауважимо, що вираз отримано за умовою рівноваги і тому однозначно встановлює залежність між діючою бічною силою і вертикальним зусиллям від колеса на рейку у точці контакту. Приймаючи значення бічного зусилля рівним  $Y_6$ , на підставі (3) можна визначити відповідну частину загального навантаження від колеса на рейку, що припадає на точку  $C$ :

$$\Pi_C = \frac{1 + f \cdot \text{tg}\beta}{\text{tg}\beta - f} \cdot Y_6 \quad (4)$$

Розглянемо схему діючих сил (рис.2) і знайдемо відношення між силою тертя і навантаженням на колесо.

Користуючись геометричними відношеннями силових трикутників, запишемо:

$$N_z = N \cdot \cos \beta;$$

$$T_z = T \cdot \sin \beta;$$

$$T = f \cdot N;$$

$$\Pi_c = N_z + T_z.$$

Після перетворень знайдемо:

$$T = \frac{f \cdot \Pi_c}{\cos \beta + f \cdot \sin \beta} \quad (5)$$

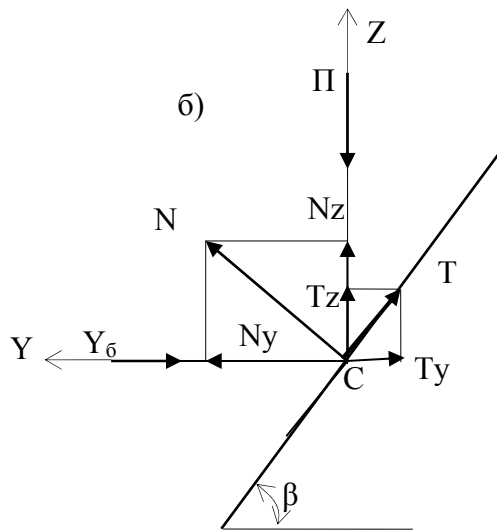


Рис. 2. Схема сил, що діють у точці С

Таким чином, якщо задаватися величиною бічної сили відношення встановлює залежність сили тертя від кута нахилу гребеня. У табл. 1 приведені результати розрахунків при граничному значенні бічної сили  $Y_6 = 90\text{кН}$  і швидкості руху локомотива  $V=20\text{м/сек}$  у кривій радіуса  $R=400\text{ м}$ .

Таблиця 1. Геометричні і силові показники взаємодії гребеня колеса у кривій при  $\alpha = 0,025\text{рад}$

Найменування параметрів	Одиниця виміру	Значення для кута нахилу гребеня $\beta$ , град					
		70	72,5	75	77,5	80	82,5
1. Довжина АВ'	мм	44,7	51,3	61	72,3	90,6	120,8
2. Навантаження $P_c$	кН	60,8	55,2	50	44,9	40,1	35,5
4. Сила тертя, Т	кН	26,3	25,6	25	24,4	23,9	23,5
5. Потужність сили тертя, W	кВт	18,8	21	24	28,2	34,6	54,4

Для визначення ролі якості конструкції і монтажу візка, приводимо результати розрахунків аналогічних показників для кута набігання  $\alpha = 0,05\text{рад}$ .

Таблиця 2. Геометричні і силові показники взаємодії гребеня колеса у кривій при  $\alpha = 0,05\text{рад}$

Найменування параметрів	Одиниця виміру	Значення для кута нахилу гребеня $\beta$ , град			
		70	72,5	75	77,5
1. Довжина АВ'	мм	87,8	101,2	119	143
2. Навантаження $P_c$	кН	60,8	55,2	50	44,9
4. Сила тертя, Т	кН	26,3	25,6	25	24,4
5. Потужність сили тертя, W	кВт	37	41,5	47,5	56,1

Приведені результати розрахунків підтверджують важливість контролю в експлуатації такого чинника, як кут нахилу гребеня і ставлять його в один ряд з традиційними вимірами за допомогою «абсолютного» шаблона товщини гребеня і величини

---

прокату. Звернемо увагу на інтенсифікацію (збільшення темпу зростання) енергетичних витрат на тертя зі збільшенням кута нахилу гребеня. Таким чином, кут нахилу гребеня стає діагностичним чинником інтенсивності зношування гребеня, наслідками якого є різке зменшення ресурсу бандажа і підвищення енергетичних витрат на експлуатацію. У цьому сенсі доречно повернутися до спроби впровадження шаблонів У1 і У2, що передбачають виміри і обмеження кута нахилу гребеня.

Окрім того, розрахунки доводять важливість впливу конструктивних і технологічність параметрів візка на показники інтенсивності зношування гребеня бандажа і енергетичні витрати на цей процес. Цей недолік спостерігається як різниця міжосьових відстаней між колісними парами однієї і протилежної сторони візка, а його вплив на показники процесу видно при порівнянні показників табл. 1 і табл. 2.

Так, потужність сил тертя для кута набігання  $\alpha = 0,05$  рад майже вдвічі перевищують енергетичні витрати на тертя при  $\alpha = 0,025$  рад. Окрім того, розрахунок величини  $\Delta g$  по формулі (2) показує, що при  $\alpha = 0,05$  рад;  $\beta = 70^\circ$  поверхня зношення гребеня охоплює всю його конічну поверхню, і, таким чином, разом з високою потужністю сили тертя є підставою для створення «гостроконечного накату». Розрахунки показують, що положення точки вибігу на гребеневій поверхні (значення  $AB'$ ) обмежується величиною близько 150 мм і таким чином дані табл. 2 «сигналізують» про створення гостроконечного накату при значеннях кута нахилу гребеня більше  $77,5^\circ$ .

**Висновки.** 1. На основі практичних спостережень за характером зношуванням профілю бандажа запропонована концепція механізму зношення гребеневої частини бандажа і на її основі сформульовані математичні відношення для основних параметрів профілю і умов експлуатації коліс, від яких залежить і характер зношування і його інтенсивність.

2. Проведені розрахунки підтверджують визначну роль чиннику кута нахилу гребеня на інтенсивність зношування гребеня.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Механическая часть тягового подвижного состава: Учебник для вузов ж.-д. трансп. И. Бирюков, А. Н.Савоськин, Г. П.Бурчак и др.; Под ред. И.В.Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992.–440 с.
2. *Вериго М. Ф.* Динамика вагонов.: Конспект лекций. –М.: ВЗИИТ, 1971. – 176 с.
3. *Пугачов Г. С. Приходько В. М.* Розрахунок сил при вписуванні двовісного візка в кривих.// Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту,серія «Транспортні системи і технології». – вип. 20. – с. 110-117.
4. *Пугачов Г. С. Загородній О.* Взаємодія колісної пари з рейкою у кривих. Умова недопущення вкочення гребеня на рейку.// Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту (див. поточний вип.).

---

УДК 693.9

Геннадій Талавіра  
Володимир Демченко  
Олександр Козуч

## ДОВГОВІЧНІСТЬ СУЧАСНИХ ПРОГОНОВИХ СПОРУД ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ

*В статті подана система типизації залізобетонних прогонових споруд залізничних мостів та нова шифрована система позначення дефектів, які призначені для підвищення довговічності мостів і якості робіт поточного утримання.*

*В статье представлена система типизации железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов и новая шифрованная система обозначения дефектов, которые предназначены для повышения долговечности мостов и качества работ текущего содержания.*

*This paper presents a system typyzatsiyi concrete spans of railway bridges and new encrypted sitemi indicate defects that prednaznachenni to improve the durability of bridges and works as a current deduction.*

**Ключові слова:** залізобетонна прогонова споруда, довговічність, дефектність, типизація.

**Постановка проблеми.** На залізницях України в даний час експлуатується більш 80000 штучних споруд, серед яких 7732 моста, у тому числі 24 позакласних і 288 великих. В основному більшість з них було побудовано 50 років тому. У даний період більше, ніж 50% від загальної кількості мостів це дефектні і слабкі, котрі з труднощами переробляють нормативне залізничне навантаження класу С14.

Останніми роками нестача коштів на будівництво нових залізничних мостів примушує відповідальніше відноситися до експлуатаційної роботи, якості її змісту і своєчасному усуненню пошкоджень. Науковці залізничної галузі наполегливо шукають шляхи подовження терміну служби залізничних мостів, завдяки застосуванню науково обґрунтованих методів. Тому значно підвищується значення якості обліку дефектів, переробки отриманої інформації з метою виявлення причин їх появи. Це може дозволити планувати своєчасне проведення ремонтів залізничних мостів, прогнозувати ймовірність їх бездефектної роботи, значно понизити витрати на проведення профілактичних ремонтів, і зробити можливим продовження довговічності. Залізничні мости складають певну долю основних виробничих засобів (ОВЗ) залізниць. Експлуатаційні якості цих споруд істотно впливають на фондівдачу і показники економічної ефективності залізниць. Необхідно сказати, що разом з цим, ці компоненти ОВЗ найбільшою мірою схильні до руйнівних дій докільля і найменшою мірою забезпечені засобами захисту від цих дій.

© Талавіра Г. М., Демченко В. О., Козуч О. Й., 2013

---

---

Неблагополучний стан, за дефектністю, залізничних мостів є причиною зниження проектної пропускної і провізної спроможності залізничних ліній і підвищення собівартості перевезень. Довжина мостів та шляхопроводів не може порівнюватись з довжиною колії, але їх питома капіталоемність набагато перевищує капіталоемність інших колійних споруд. Тому показники довговічності мостів, мають дуже значне економічне наповнення і повинні регламентуватися в такому ж ступені, як і показники експлуатаційної надійності інших колійних споруд.

Керівні документи Укрзалізниці не дозволяють оцінювати довговічність експлуатованих мостів, включаючи їх залишковий ресурс. Незважаючи на встановлений порядок проведення оглядів і фіксації виявлених дефектів, питому вагу споруд, знос яких перевищує 50% [1], з кожним роком зростає середній фактичний термін служби залізничних мостів, який на сьогодні складає 40 років, але навіть цей термін є доволі далеким до встановлених зарубіжних норм 80–100 років.

Нині проектування нових і реконструкція існуючих мостів виконуються відповідно до [2], а нагляд і експлуатація, згідно з [3]. У цих документах довговічність трактується дуже розпливчато. Згідно з цими документами, надійність і довговічність споруд захищені від дії лише чинників, які погрожують втратою міцності, жорсткості, витривалості і тріщиностійкості від дії експлуатаційних навантажень.

Але, окрім вказаних, є також чинники, які впливають в першу чергу на збереження споруди і діють на залізничний міст, який навіть не експлуатується. Це дія зовнішнього середовища та міра забезпеченості конструкцій захистом від цієї дії на момент введення в експлуатацію. Поведінка споруд в реальних умовах експлуатації обумовлена впливом ряду випадкових чинників. Тому багато фахівців вважають, що розрахунки довговічності залізничних мостів необхідно робити, базуючись на використанні імовірнісних методів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Починаючи з 1930 р., робляться спроби кількісного визначення довговічності залізничних мостів різними методами математичної статистики, а в останні роки і методами теорії надійності. Ще В.В. Болотіним [4–6] сформульовані положення, які до теперішнього часу є основними при розрахунках будівельних і мостових конструкцій імовірнісними методами. Цим питанням присвячені також роботи А.Р. Ржаницина, В.О. Осипова, В.П. Чиркова, Л.І. Юсильєвського, А.А. Петропавловського, В. І. Куліша, А. І. Лантуха-Лященко, А. І. Паламаренка, В. Л. Горобця, В. І. Борщова та ін.

**Загальна проблема.** При аналізі наукових праць вищезгаданих вчених варто відмітити, що для нормування довговічності залізничних мостів потрібна наявність вичерпної інформації про матеріал, навантаження, геометричні розміри, дефекти та інші параметри залізничних мостів, які експлуатуються, зібрати їх єдину базу даних.

**Постановка завдання.** У статті зроблена спроба застосування статистичного аналізу до великого масиву даних про дефекти реально існуючих балочних залізобетонних прогонових споруд на залізницях України з дослідженням переважного впливу різних чинників на їх появу.

**Основна частина.** Надійність мостових об'єктів розглядається як комплексна властивість, яка визначається такими показниками: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереження властивостей в часі (для об'єктів, що підлягають зберіганню і транспортуванню).

Безвідмовність – це властивість об'єкта безперервно зберігати свої характеристики впродовж деякого часу.

---

Поняття «відмова» трактують, як подію, що полягає в порушенні працездатності об'єкта, і є аналогом терміну «настання граничного стану». Граничний стан конструкції визначається залежно від її схемо-конструктивних особливостей, режиму експлуатації і сфери використання. Граничний стан ремонтпридатних конструкцій визначається неефективністю їх подальшої експлуатації через старіння і частих відмов або збільшення витрат на ремонт. Граничний стан може також визначатися моральним старінням.

У залізничних мостових конструкціях відмови класифікуються за такими категоріями: за характером появи – раптовий, та такий, що поступово розвивається; за можливістю використання споруди після відмови – можливість використання та неможливість використання; за зв'язком з іншими можливими відмовами – незалежною та залежною; наслідок появи відмови конструкції – технологічна та експлуатаційна.

Довговічність – властивість мостової конструкції зберігати працездатність до настання граничного стану зі встановленою системою технічного обслуговування і ремонтів. Розрізняють показники довговічності, які характеризують довговічність по напрацюванню і по календарному часу служби.

Показник, що характеризує довговічність конструкції по напрацюванню, називається ресурсом. Показник, що характеризує довговічність по календарному часу, називається терміном служби. Розрізняють ресурс і термін служби: до першого капітального ремонту; між капітальними ремонтами; до вибраковування конструкції.

Довговічність мостових споруд – це граничний термін служби, впродовж якого вони зберігають необхідні експлуатаційні якості. Розрізняють довговічність моральну і фізичну. Моральна довговічність (термін морального зносу) характеризується терміном служби споруди до того моменту, коли вона перестає відповідати умовам експлуатації або режимам змінних технологічних процесів. Фізична довговічність визначається тривалістю зносу основних несучих конструкцій під дією навантажень і фізико-хімічних чинників. При цьому деякі конструктивні елементи і частини будівель і споруд можуть мати меншу довговічність і замінюватися при капітальних ремонтах.

Поведінка мостових конструкцій в реальних умовах експлуатації обумовлена впливом випадкових чинників. Тому розрахунки надійності і довговічності слід робити, ґрунтуючись на імовірнісних методах. Цій темі присвячені праці багатьох учених, які протягом багатьох років досліджують можливість розрахунків споруд методами теорії імовірності і надійності. Серед них фундаментальні праці члена-кореспондента АН СРСР В. В. Болотіна [4, 5, 6], А. Р. Ржаницина [7] в області надійності і довговічності будівельних конструкцій, якими нині керуються багато учених при розробці імовірних методів розрахунку штучних мостових споруд. Останніми роками методи теорії імовірності і надійності отримали своє застосування і при розрахунках мостів на міцність, витривалість, стійкість. Ведуться розробки по нормуванню надійності і довговічності шляхом вірогідного аналізу дефектів. Оскільки поява дефектів – процес випадкового характеру, а надійність конструкції залежить від її справного технічного стану то, виходячи з положень теорії імовірності, поява певного виду дефектів через певний час можливо прогнозувати.

Для вирішення завдань по надійності і довговічності конструкцій мосту необхідно мати велику початкову інформацію. Передусім, необхідно накопичити, проаналізувати і піддати ретельній статичній обробці інформацію про змінні чинники (навантаження, матеріал, геометричні розміри споруди), які надалі будуть використані в розрахунках.

---

---

Життєвий цикл будь-якого мосту можна розділити на три якісно різних стадії.

1. Проектування мосту. 2. Будівництво мосту. 3. Експлуатація мосту.

На підставі багаторічного досвіду обстежень і випробувань мостів, можна стверджувати, що переважне число дефектів і ушкоджень, які накопичуються до моменту припинення експлуатації моста, може належати до впливу чинників, що діють на тій або іншій стадії існування мосту, але є надзвичайно рідкісні випадки, коли причину відмови або заміни мосту неможливо встановити. Зовнішній вигляд конструкції до моменту виникнення граничного стану в концентрованій формі відбиває набір ушкоджень.

Для отримання статистично достовірних характеристик дефектів балочних залізобетонних прогонових споруд залізничних мостів необхідно провести роботу по збиранню інформації. Дані беремо із звітів про суцільні обстеження, які виконуються службами колії відділень залізниць. Такий підхід одночасно дає можливість оцінити якість системи обліку і нагляду за мостовими спорудами, прийнятою на інших дорогах. На основі отриманої інформації треба створити базу дефектів залізобетонних прогонових споруд залізничних мостів, виключаючи позакласові великопрогонові мости через їх унікальність. Тому коло досліджуваних об'єктів може бути обмежене мостами із залізобетонними прогоновими спорудами, які мають розрахункові прогони до 42 м. Сталезалізобетонні мости не розглядаються, зважаючи на їх нечисленність. У результаті, досліджувані об'єкти є балочними прогоновими спорудами із звичайного або попередньо напруженого залізобетону.

Для аналізу впливу найрізноманітніших чинників, складений перелік параметрів за кожним мостовим переходом:

**Місцерозташування мосту :**

1. Залізниця.
2. Дистанція колії.
3. Ділянка.
4. Пікет.
5. Колія (парна, непарна, одноколійна, під'їзна, станційна).
6. Назва водяної перешкоди (якщо вона є).
7. Кількість прогонів.

**Загальні дані:**

8. Вантажонапруженість ділянки залізниці.
9. Кількість пропущеного тоннажу.
10. Швидкість пасажирських потягів.
11. Швидкість вантажних потягів.
12. Наявність обмеження швидкості.
13. Причина введення обмеження швидкості.

**Колія та мостове полотно:**

14. Кількість колій на мосту.
15. Подовжній ухил.
16. Радіус кривої.

**Прогонові споруди:**

17. Номер прогону.
  18. Тип прогонової споруди.
  19. Вид їзди.
  20. Тип мостового полотна.
  21. Тип поперечного перерізу.
-

- 
22. Матеріал прогонової споруди.
  23. Розрахункові норми проектування.
  24. Повна довжина прогонової споруди.
  25. Розрахунковий прогін.
  26. Розрахункове навантаження.
  27. Рік будови (виготовлення).
  28. Рік введення в експлуатацію.
  29. Клас плити баластного корита.
  30. Клас головних балок прогонової споруди.
  31. Проектна організація проектування прогонової споруди.
  32. Інвентарний номер типового проекту.
  33. Будівельна організація.

**Інші відомості:**

34. Рік останнього огляду.
35. Рік чергового огляду.
36. Ушкодження прогонової споруди, якщо було.
37. Опис ушкодження та методи його усунення.
38. Наявність технічної документації.
39. Опис технічної документації.
40. Дата проведення ремонтних робіт.
41. Характер ремонтних робіт.
42. Наявність обслуговуючого персоналу.
43. Витрати на поточне утримання.
44. Витрати на ремонти.
45. Термін експлуатації до введення обмеження швидкості через дефектність.

Система обліку і нагляду за залізничними мостами не забезпечувала накопичення даних про дефектність мостів по усій мережі залізниць України за увесь період існування цієї системи. Обмеження проводились за одним якимось обсягом даних. Виходячи з міркувань отримання теоретичних і практичних корисних результатів, потрібне створення статистичної картини дефектності на усіх залізницях і дослідження процесу накопичення дефектів мостових споруд в часі.

Узагальнюючи дані науково-технічних звітів про обстеження мостів, виконаних службами колій відділень доріг, можна представити таку картину вичерпання довговічності при незмінному експлуатаційному навантаженні:

вичерпання витривалості арматури в результаті втомних процесів, що проявляються в появі тріщин і розриві стержнів; розтріскуванні прилеглих зон бетону;

вичерпання витривалості бетону стислої зони з появою тріщин і викришуванням; вилугування бетону з появою плям, стоків і сталактитів; поява тріщин, розморожування зовнішніх шарів бетону, відкол і відшарування бетону, оголення робочої арматури, корозія арматурних стержнів або пучків;

руйнування ослабленого бетону стислої зони, розриви стержнів робочої арматури, проволоки в пучках;

карбонізація захисного шару бетону з подальшим його відшаруванням і корозією оголеної арматури.

Перші два прояви можна віднести до природної втрати довговічності. Вони залежать від рівня експлуатаційного навантаження і часу наробки прогонової споруди.

---

Таким чином, усе різноманіття вказаних вище чинників впливу на довговічність, кінець кінцем, проявляється в перевантаженості яких-небудь елементів в порівнянні з проектними даними.

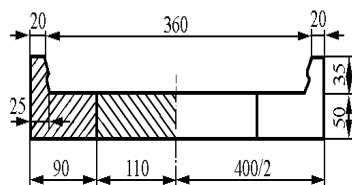
У результаті вивчення дефектів залізобетонних прогонових споруд по звітах про обстеження і відповідно до переліку в [8] складений загальний список характерних дефектів балочних залізобетонних прогонових споруд залізничних мостів, які експлуатуються на залізницях України, для подальшого їх аналізу. З метою спрощення документування, кожному виду дефектів може бути присвоєний шифр (табл. 1).

Таблиця 1. Таблиця дефектів

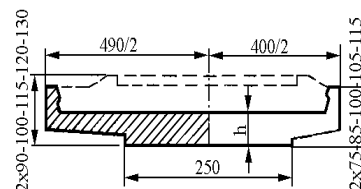
Найменування дефекту	Шифр дефекту
1	2
<b>А. Колія на мосту</b>	
Недостатня товщина баластного шару під шпалою	01
Зміщення вісі колії з віссю прогонової споруди	02
Розлад в перекритті деформаційних швів	03
Надмірна товщина баластного шару під шпалою	04
Недостатня величина деформаційних швів	05
<b>Б. Водовідведення</b>	
Відсутність або ушкодження водовідвідних трубок	06
Не закладені отвори навколо водовідвідних трубок	07
Засмічення входних отворів водовідвідних трубок	08
Недостатня довжина водовідвідних трубок	09
Застій води у баластному кориті	10
Корозія водовідвідних трубок	11
<b>В. Гідроізоляція</b>	
Окремі сухі потьoki вилуговування розчину	12
Вилуговування розчину :	
а) в зоні обпирання прогонової споруди	13
б) в стінці ребер	14
в) в зоні діафрагм	15
г) в зоні подовжнього стику	16
д) в плиті баластного корита між балками	17
е) в зовнішніх консолях плити	18
ж) в шарнірах відкидних консолей	19
Порушення гідроізоляції	
а) плити баластного корита	20
б) плити на консолях	21
<b>Г. Стан бетону</b>	
Не закладені отвори для стропування	22
Пошкодження бетону без оголення арматури	23
Пошкодження бетону з оголенням арматури	24
Недостатня товщина захисного шару бетону	25
Руйнування захисного шару з оголенням арматури	26
Руйнування бетону шарнірів відкидних консолей	27
Руйнування бортів плити баластного корита	28

<i>Закінчення табл. 1</i>	
<b>Д. Стан арматури</b>	
Оголення нижньої робочої арматури	29
Корозія:	
а) хомутів	30
б) робочої арматури нижнього пояса	31
в) арматури плити баластного корита	32
Обрив арматури в зоні шарнірів	33
Розрив окремих стержнів робочої арматури	34
<b>Е. Тріщини в елементах прогонових споруд</b>	
Тріщини з розкриттям до 0,3 мм	35
Усадкові тріщини	36
Поперечні тріщини в нижніх поясах прогонових споруд	
а) силові з розкриттям до 0,3 мм	37
б) силові з розкриттям більше 0,3 мм	38
Похилі тріщини в ребрі в зоні спирання ребра	39
Вертикальні тріщини в стінці ребра	40
Вертикальні тріщини ребра з переходом на плиту	41
Подовжні тріщини в консолях плити	42
Поперечні тріщини в консолях плити	43
Тріщини в плиті між ребрами	44
Подовжні тріщини в примиканні плити до ребра	45
Подовжні тріщини в нижніх поясах головних балок	46
Горизонтальні тріщини на торцях балок	47
Тріщини в зонах установки опорних частин	48
Тріщини в зонах омоноличивання елементів	49
<b>Ж. Технічна документація</b>	
Відсутність технічної документації	50
Відсутність книги штучної споруди	51
Невірне ведення технічної документації	52
Порушення термінів огляду	
а) дистанцією колії	53
б) відділом інженерних споруд служби колії	54

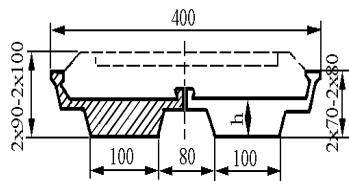
Усі різновиди балочних залізобетонних прогонових споруд необхідно класифікувати по типах (рис.1 – 3) з присвоєнням шифру. Для зручності аналізу, усі 13 типів прогонових споруд було об'єднано у 3 групи: плитні, ребристі і попередньо-напружені.



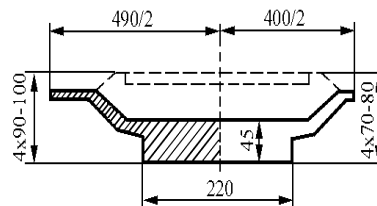
Тип 1. ЛТМП, 1937 г.



Тип 2. ЛТМП, (инв. №0474), 1941 г.



Тип 3. ЦПКБ, 1946 г.



Тип 4. ЛТМП, (инв. №4769), 1952 г.

**Рис.1. Плитні прогонові споруди**

Введення інформації по кожному мостовому переходу треба організувати в електронному вигляді таблиці Excel і для подальшого аналізу в інтегровану систему Statistica для комплексного статистичного аналізу і обробки даних в середовищі Windows.

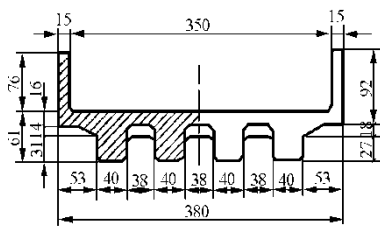
При зборі інформації відразу ж виявилася її недостатність і невисока якість. Попри те, що чинними правилами передбачена абсолютно певна бланкова система збору даних про дефекти мостів, що передбачає відповіді на типові питання по усій сукупності деталей мостів, фактично усі звіти про обстеження є короткою згадкою про помічені дефекти, причому окремому мосту присвячується всього декілька рядків. Крім того, з'ясувалося, що працівники мостовипробувальних станцій залізниць допускають ігнорування звичних дефектів, звертаючи увагу тільки на ті, які погрожують безпеці руху поїздів.

**Висновки.** За результатами аналізу документації з обстеження мостів і фіксування дефектів прогонових споруд можна стверджувати, що ця робота проходить на різних відділеннях залузниці по-різному, але варто відзначити, що помилки обстежень є випадковими і розподілені за нормальним законом:

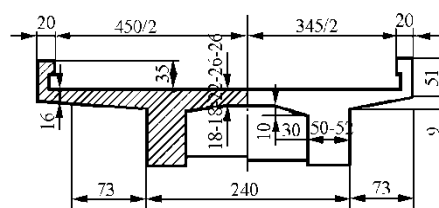
представлене розділення дефектів за характером та місцем появи та нова типізація залізобетонних прогонових споруд дозволить більш якісне планування робіт з експлуатації та подовження довговічності;

гіпотеза про наявність залежності між терміном служби, типом прогонових споруд і частотою появи дефектів підтверджується;

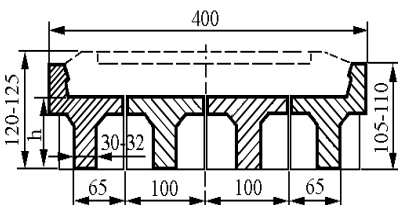
доцільне введення поданої системи позначення дефектів залізобетонних прогонових споруд для уніфікації даних по всіх залізницях України.



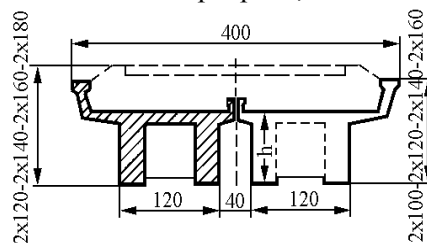
Тип 5. Ребрісті п. с., 1911 г.



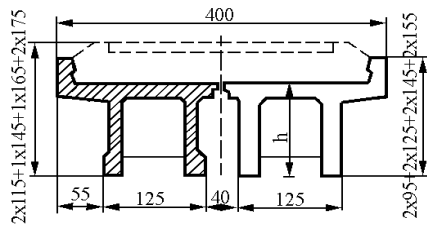
Тип 6. Гіпротранс, 1931 г.



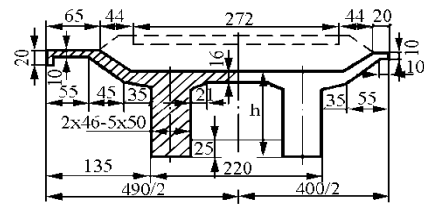
Тип 7. ЛТМП, (инв. №2076), 1945г.



Тип 8. ЦПКБ, 1946 г.

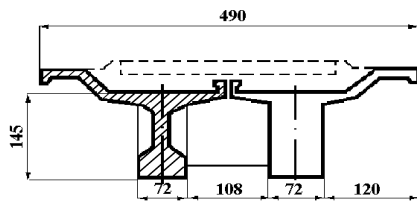


Тип 9. Главжелдорстрой,  
(инв. №3740), 1948 г.

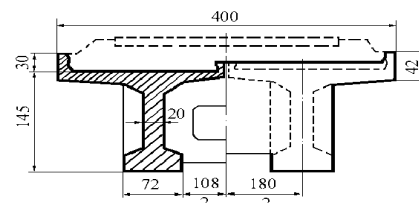


Тип 10. ЛТМП, (инв. №6503), 1954 г.

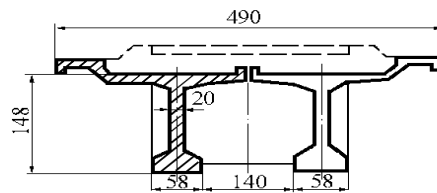
### Рис. 2. Ребристі прогонові споруди



Тип 11. ЛТМП (инв. №5037),  
1958 г.



Тип 12. ЛТМП, 1962 г.



Тип 13. ЛТМП, 1962 г.

### Рис.3. Попередньо напружені прогонові споруди

### ЛІТЕРАТУРА

1. Хидекели А. Совет для починки «тришкина кафтана» // Зеркало недели. – 2001. - №8(332). – С. 12.
2. СНиП 2.03-05-91. Мосты и трубы. Нормы проектирования. – Взамен СНиП II-Д.7-62\*, СН 200-62 и СН 365 – 67; Введ. 01.01.86. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 200 с.
3. Інструкція по утриманню штучних споруд: Затверджено Головн. упр. колійного госп. Укрзалізниці 27.04.99. – К.: Транспорт України, 1999. – 96 с.
4. Болотин В. В. Статистические методы в строительной механике. – М.: Стойиздат, 1965. – 279 с.
5. Болотин В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982. – 351 с.
6. Болотин В. В. Современное состояние теории надежности и статистической механики конструкций // Проблемы надежности в строительной механике. – Вильнюс: Типография Вайздас, 1968. – С. 7 – 13.
7. Ржаницин А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
8. Положение по оценке состояния и содержанию искусственных сооружений на железных дорогах СССР. – М.: Транспорт, 1991. – 12 с.
9. Борцов В. И., Паламаренко А. И., Соломка В. И., Вышковарок О. П. Анализ методом теории надежности дефектов и вероятности их появления в эксплуатируемых железобетонных пролетных строениях железнодорожных мостов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2000. – № 59. – С. 12 – 21.
10. Скородумов И. Г. Определение срока службы мостов из железобетона // Исследование долговечности и экономичности искусственных сооружений. – Л.: ЛИИЖТ, 1983. – С. 121 – 125.

---

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ТЕОРЕТИЧНА МЕХАНІКА

УДК 629.4.077-592.117.001.4

*Юрий Водяников  
Александр Сафронов  
Сергей Свистун*

### РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССОВ ТОРМОЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ И ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

*Предложен расчетно-экспериментальный метод определения характеристик тормозных систем пассажирских и грузовых вагонов с использованием математической модели, входными данными для которой являются результаты ходовых тормозных испытаний. Расчетные исследования позволяют провести анализ свойств тормозной системы во временной области. Апробация метода на примере пассажирского вагона с дисковым тормозом показала хорошее совпадение с результатами экспериментальных исследований и может быть использована для оценки характеристик тормозных процессов вагонов во временной области.*

*Запропонований розрахунково-експериментальний метод визначення характеристик гальмівних систем пасажирських і вантажних вагонів з використанням математичних моделей, входними даними для якої є результати ходових гальмівних випробувань. Розрахункові дослідження дозволяють провести аналіз властивостей гальмівної системи у тимчасовій області. Апробація методу на прикладі пасажирського вагона з дисковим гальмом показала хороший збіг з результатами експериментальних досліджень і може бути використана для оцінки характеристик гальмівних процесів вагонів у часовій області.*

*Calculation-research method for determination of passenger and freight cars' brake systems characteristics by using mathematical model with running brake tests results used as input data. Calculation research let to make brake system characteristics analysis in the time-domain. Method approval by the example of a passenger car with a disk brake shown good agreement with experimental research results and can be used for evaluation of cars brake operation characteristics in the time-domain.*

**Ключевые слова:** Математическая модель, тормозная эффективность, тормозной путь, скорость, замедление, время торможения.

Устойчивая работа железнодорожного транспорта во многом определяется техническим уровнем вагонного парка. Поэтому задачам по созданию вагонов нового поколения, отличающихся улучшенными потребительскими и эксплуатационными характеристиками, совершенствованию системы ремонта и технического обслуживания ва-

© Водяников Ю. Я., Сафронов А. М., Свистун С. М., 2013

---

гонного парка придается первостепенное значение. Ведутся работы по созданию типоразмерного ряда грузовых тележек по допускаемым осевым нагрузкам 20, 25, 27, 30 тс и скоростям движения 140, 120, 100 и 90 км/ч. Для пассажирских вагонов нового поколения разрабатываются тележки для конструкционной скорости движения 200-250 км/ч с вертикальными и горизонтальными гидравлическими гасителями колебаний, поводками в буксовых узлах, с пружинным или пневматическим рессорным подвешиванием со статическим прогибом 280 мм; дисковый и магнитный тормоз, электронное противоюзное устройство; автосцепное устройство жесткого типа; централизованное электроснабжение; электроотопление с жидким теплоносителем.

В вагонах нового поколения закладываются более совершенные узлы и детали, использование которых позволит существенно улучшить показатели безопасности движения, на порядок уменьшить число отцепок вагонов в текущий ремонт.

Переход на новые технологии производства вагонов, деталей ходовых частей, автосцепного устройства, тормозного оборудования вагонов позволит увеличить их безремонтные пробеги с 120-160 тыс. до 1 млн. км.

**Актуальность темы.** В процессе отработки новой конструкции вагона на стадии проектирования и выбора его основных рациональных параметров и характеристик параллельно с расчетами проводятся экспериментальные исследования в лабораториях на моделях, макетах, натурных узлах и опытных образцах вагонов.

Объем и степень подробности испытаний зависит от того, на каком этапе создания конструкции вагона они выполняются.

Наиболее полная и достоверная информация о технических характеристиках и свойствах вагона может быть получена в процессе испытаний на эксплуатационных участках железнодорожного пути различного состояния или на специально приспособленных для этих целей испытательных полигонах.

Важнейшей составной частью вагона является тормозная система, которая во многом обеспечивает безопасность движения поездов. Окончательной оценкой эффективности тормозной системы являются результаты ходовых тормозных испытаний. При этом актуальными являются разработка методов углубленного анализа результатов испытаний.

Как правило, ходовым тормозным испытаниям подвергается один образец.

Такие испытания проводятся методом «бросания», а тормозной путь исследуемого вагона определяется как разность расстояний проходимого вагоном-лабораторией при прямом и обратном движениях (рис. 1).



**Рис. 1. Определение тормозного пути опытного вагона методом «бросания»**

Указанный метод позволяет получить тормозные пути одиночного вагона в заданном диапазоне скоростей в начале торможения. Вместе с тем, для более углубленного исследования характеристик тормозной системы опытного вагона возникает необходимость анализа процессов торможения во временной области при заданной скорости в начале торможения: тормозного пути, скорости и замедления вагона.

Такие задачи могут быть решены расчетно-экспериментальным методом на основе математического моделирования процессов торможения испытываемого объекта с использованием результатов ходовых тормозных испытаний.

**Цель статьи.** Целью статьи является методика определения характеристик тормозных процессов единиц подвижного состава во временной области с применением математических моделей.

**Изложение основного материала.** Математическая модель торможения вагона как единой массы описывается нелинейным дифференциальным уравнением [1]:

$$\frac{d^2S}{dt^2} = -\zeta \cdot \{ b_T(\delta_p(t), \varphi_{mp}, V) + w_{ox}(V) \pm i \}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{mp}$  – коэффициент трения, для дисковых тормозов является постоянной величиной, для колодочного с композиционными колодками определяется по формуле [1]:

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

здесь  $V$  – скорость, км/ч;

$\zeta$  – замедление поезда под действием удельной замедляющей силы;

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

$\pm i$  – величина уклона пути;

$b_T(\delta_p(t), \varphi_{mp}, V)$  – удельная тормозная сила.

Для решения дифференциального уравнения (1) используется метод Рунге-Кутты. Приведение дифференциального уравнения (1) к системе дифференциальных уравнений первого производного путем ввода дополнительных аргументов [2]:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = V \\ \frac{dV}{dt} = F(t, S, V, b_T(\delta, \varphi_{mp}), w_{ox}, i) \end{cases} \quad (3)$$

Начальными условиями для решения системы уравнений являются:

$S(t=0) = 0; \frac{dS}{dt}(t=0) = V_0$ , где  $V_0$  – скорость в начале торможения.

Функция  $F(t, S, V, b_T)$  учитывает особенность воздействия на объект тормозных сил, которая может быть представлена тремя периодами: первый период характеризуется воздействием основного сопротивления движению; второй – нарастанием тормозной силы обусловленное наполнением тормозного цилиндра сжатым воздухом; третий – постоянной тормозной силой при установившемся давлении сжатого воздуха в тормозном цилиндре.

Тормозные коэффициенты (удельные тормозные силы) определяются по экспериментальным значениям тормозных путей, полученные в процессе ходовых тормозных испытаний объекта.

Многочисленные экспериментальные исследования свидетельствуют, что зависимость тормозного коэффициента (удельной тормозной силы) от тормозного пути может быть представлена степенной функцией:

$$\delta_p(b_T) = c \cdot S^d \quad (4)$$

Коэффициенты  $c$  и  $d$  уравнения (4) определяются методом наименьших квадратов, для этого формула (4) после логарифмирования:

$$\ln(\delta_p, b_T) - \ln(c) - d \cdot \ln(S) = 0 \quad (5)$$

и ввода обозначений  $y = \ln(\delta_p, b_T)$ ;  $a = \ln(c)$ ;  $b = d$ ;  $z = \ln(S)$  преобразовываются к виду:  $y = a + bz$ , при этом разрешающее уравнение метода наименьших квадратов принимает вид [3]:

$$U = \sum_{i=1}^m (y_i - (a + b \cdot z_i))^2, \quad (6)$$

где  $m$  – число интервалов.

После дифференцирования уравнения (6) по неизвестным коэффициентам  $a$  и  $b$  и решения системы уравнений, коэффициенты уравнения (4) определяются по формулам:

$$c = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^m \ln(\delta_{pi}, b_{Ti}) \cdot \sum_{i=1}^m ((\ln(S_i))^2) - \sum_{i=1}^m (\ln(S_i) \cdot \ln(\delta_{pi}, b_{Ti})) \cdot \sum_{i=1}^m \ln(S_i)}{m \sum_{i=1}^m (\ln(S_i))^2 - (\sum_{i=1}^m \ln(S_i))^2}\right); \quad (7)$$

$$d = \frac{m \sum_{i=1}^m (\ln(S_i) \cdot \ln(\delta_{pi}, b_{Ti})) - \sum_{i=1}^m \ln(S_i) \sum_{i=1}^m \ln(\delta_{pi}, b_{Ti})}{m \sum_{i=1}^m (\ln(S_i))^2 - (\sum_{i=1}^m \ln(S_i))^2}. \quad (8)$$

Коэффициент детерминации  $R^2$ , определяется по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (\delta_p, b_T - c \cdot S^d)^2}{\sum_{i=1}^m \delta_p^2, b_T^2 - \frac{(\sum_{i=1}^m \delta_p, b_T)^2}{m}}. \quad (9)$$

Значения коэффициентов формулы (4) для определения удельной тормозной силы для пассажирских вагонов с дисковым тормозом, а также тормозных коэффициентов для пассажирских и грузовых вагонов с колодочным приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов формулы (4)

Скорость в начале торможения, км/ч	Коэффициенты уравнения (4)					
	Дисковый тормоз		Колодочный тормоз			
			Пассажирский вагон		Грузовой вагон	
$c$	$d$	$c$	$d$	$c$	$d$	
1	2	3	4	5	6	7
40	69,92	1,4019	214,07	1,4265	536,43	1,5611
50	81,18	1,3265	257,78	1,3493	581,52	1,4622
60	92,65	1,2731	308,92	1,2983	629,89	1,3916
70	104,92	1,2341	369,15	1,2631	686,74	1,3398
80	118,19	1,2047	440,05	1,2384	753,2	1,3007
90	132,68	1,1821	523,52	1,2209	829,93	1,2705
100	148,56	1,1645	621,55	1,2086	917,24	1,2468
110	165,94	1,1507	736,87	1,2004	1015,8	1,228

<i>Закінчення табл. 1</i>						
120	185,02	1,1399	872,55	1,1952	1126,2	1,2129
130	205,96	1,1314	1032,30	1,1925	1249,5	1,2008
140	228,98	1,1248	1220,80	1,1918	1386,7	1,1911
150	254,30	1,1198	1443,30	1,1929	-	-
160	282,18	1,1162	1706,70	1,1954	-	-

Исследования тормозной системы опытного вагона расчетно-экспериментальным методом с учетом результатов ходовых тормозных испытаний включают этапы:

1. Определение тормозных путей в заданном диапазоне скоростей и получение аналитической зависимости тормозного пути от скорости в начале торможения.
2. Определение тормозных коэффициентов для колодочного тормоза или удельной тормозной силы для дискового по формуле (4) с использованием табл. 1.
3. Решение дифференциального уравнения движения (1) методом Рунге-Кутты при торможении одиночного вагона для фактических значений осевой нагрузки и тормозных коэффициентов (удельных тормозных сил).
4. Построение графиков тормозного пути, скорости и замедления одиночного вагона в зависимости от времени торможения для заданной скорости в начале торможения.

Реализация изложенного алгоритма рассматривается на примере ходовых тормозных испытаний пассажирского вагона с дисковым тормозом в груженом состоянии при экстренном пневматическом торможении на площадке. Поездные тормозные испытания проводились методом «бросания» (рис. 1) в диапазоне скоростей в начале торможения 40-160 км/ч на прямом участке пути «Новомосковск-Днепровский» – «Баловка» Приднепровской железной дороги в светлое время суток при температуре окружающего воздуха 10-15 °С и относительной влажности 60%.

Тормозная система тележки имеет закрепленные на поперечных балках рамы четыре тормозных цилиндра с встроенными регуляторами выхода штока, с рычажной передачей клещевого типа. В качестве тормозных фрикционных устройств используются тормозные диски (по два на ось), жестко закрепленные на каждой оси колесной пары.

На каждой из осей тележки жестко закреплены по 2 чугунных тормозных диска (KNORR-BREMSE) диаметром 610 мм, толщиной 110 мм и радиусом трения 233 мм, к которым при торможении с двух сторон прижимаются тормозные накладки, изготовленные из износостойких композиционных материалов.

**Таблица 2. Основные характеристики (показатели) пассажирского вагона**

Наименование характеристик (показателей), ед. измерений	Значение показат.
1	2
<b>Сила тяжести вагона с экипажем, кН (тс)</b>	568 (57,92)
Сила тяжести груза, кН (тс)	41,188 (4,2)
Конструкционная скорость, км/ч	160
Средняя расчетная статическая нагрузка от колесной пары на рельсы, кН (тс)	152,3 (15,53)

Общее передаточное число тормозного блока (клещевого механизма) – 11,41. Эффективная площадь поршней тормозных цилиндров, установленных на тележках с котловой стороны вагона составляет 90,5 см<sup>2</sup>, с котловой стороны – 105 см<sup>2</sup>.

Основные характеристики (показатели) пассажирского вагона с опытными тележками моделей 68-7007 и 68-7012 приведены в табл. 2 (весовые характеристики определены путем взвешивания).

Массив измеренных тормозных путей пассажирского вагона в исследуемом диапазоне скоростей (40-160) км/ч представлен на рис. 2, соответствующие им удельные тормозные силы – на рис.3. Анализ результатов показал, что удельные тормозные силы зависят от скорости в начале торможения, причем их значения с увеличением скорости в начале торможения убывают.

Удельная тормозная сила  $B_T$  определяется по формуле [3]:

$$B_T = \delta_k \cdot \varphi_{mp}, \quad (10)$$

где  $\delta_k$  – коэффициент силы нажатия накладок на диски, приведенный к поверхности катания колеса;  $\varphi_{mp}$  – коэффициент трения накладки и диска.

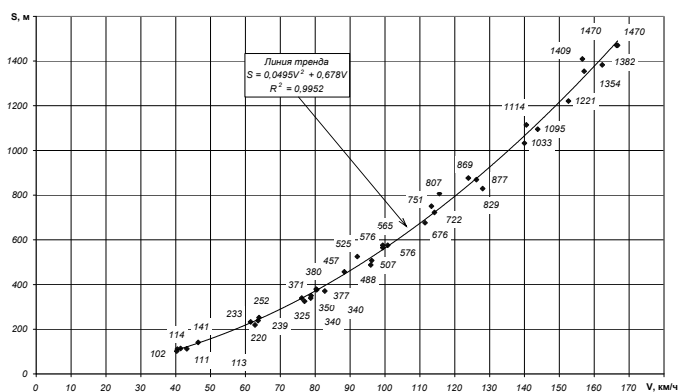


Рис. 2. Экспериментальные значения тормозных путей пассажирского вагона с полной загрузкой при экстренном пневматическом торможении на площадке

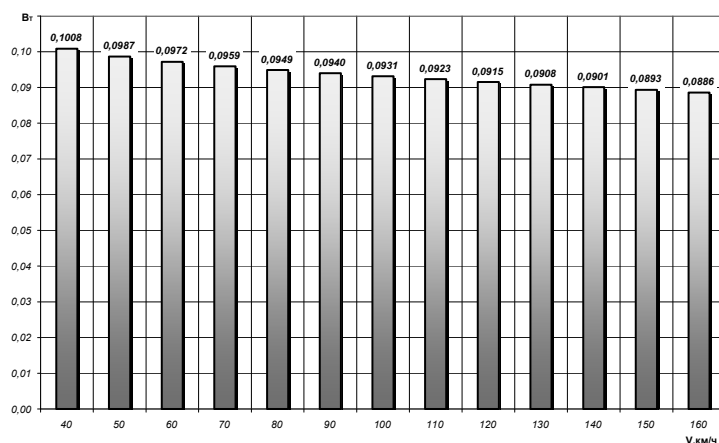


Рис. 3. Экспериментальные значения удельных тормозных сил при экстренном пневматическом торможении вагона на площадке

Полагая, что силы нажатия накладок на диски в процессе торможения сохраняют постоянное значение, фактические значения коэффициентов трения накладок определяются по формуле:

$$\varphi_{mp} = \frac{B_T}{\delta_k}. \quad (11)$$

Фактические значения коэффициентов трения, вычисленные по формуле (11) приведены на рис. 4, при этом среднее значение коэффициента трения накладок, рассчитанное по формуле (12), составило 0,404.

$$\varphi_{mp,cp} = \frac{\sum_{i=1}^{13} \varphi_{mp,i}}{13}, \quad (12)$$

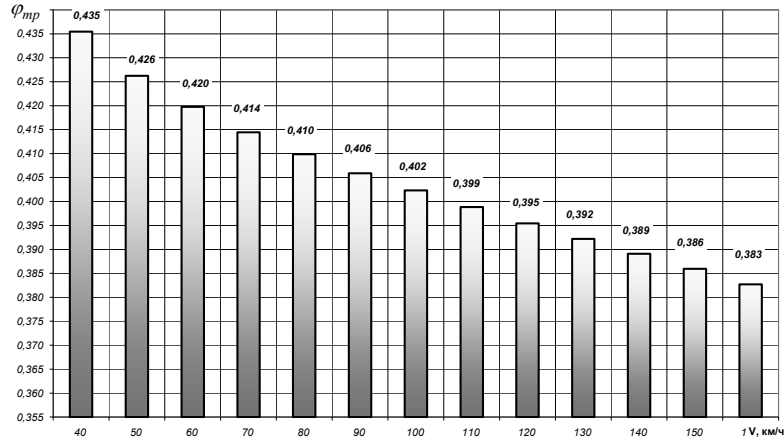


Рис. 4. Фактические значения коэффициентов трения накладок  
Экспериментальные значения замедления вагона определялись по формуле:

$$a_i = \frac{V_{0,i}^2}{2 \cdot S_i}, \quad (13)$$

где  $a_i$  – замедление вагона при  $i$ - опыте;  $V_{0,i}$  – скорость в начале торможения при  $i$ – опыте;  $S_i$  – тормозной путь, измеренный при  $i$ – опыте.

Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных исследований с применением математической модели свидетельствует об их хорошем совпадении как по тормозному пути (рис. 5), так и по величине замедления (рис. 6), что позволяет использовать расчетно-экспериментальный метод для дальнейшего анализа процессов торможения во временной области.

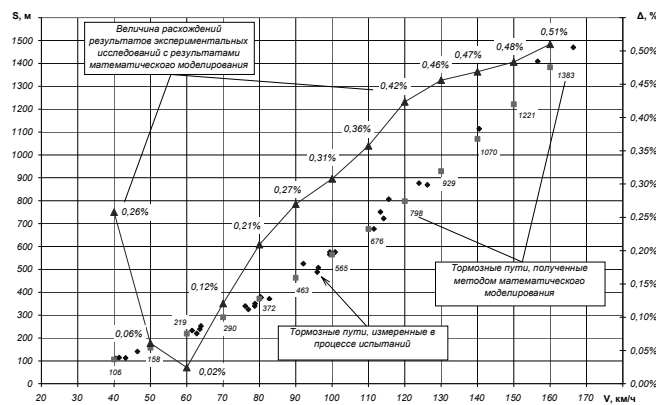


Рис. 5. Тормозные пути вагона, полученные экспериментальным и расчетным методами

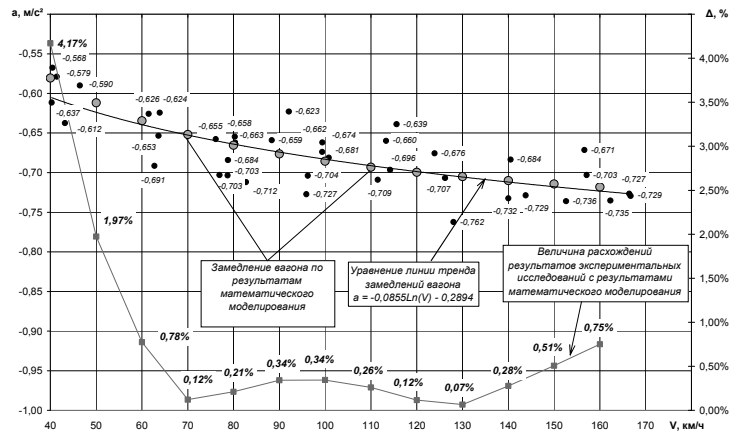


Рис. 6. Средние значения замедлений вагона на площадке

Результаты расчетно-экспериментальных исследований с применением математической модели показали, что изменение тормозного пути во времени описывается квадратичной зависимостью (рис. 7), а максимальные мгновенные значения изменений пути в единицу времени соответствуют начальному периоду торможения (рис. 8).

Замедление вагона во времени носит неоднозначный характер: максимальное замедление достигается за время 7,1 с от начала торможения (рис. 9).

Такая особенность обусловлена характером изменения силы нажатия накладок при наполнении тормозного цилиндра сжатым воздухом (рис. 10).

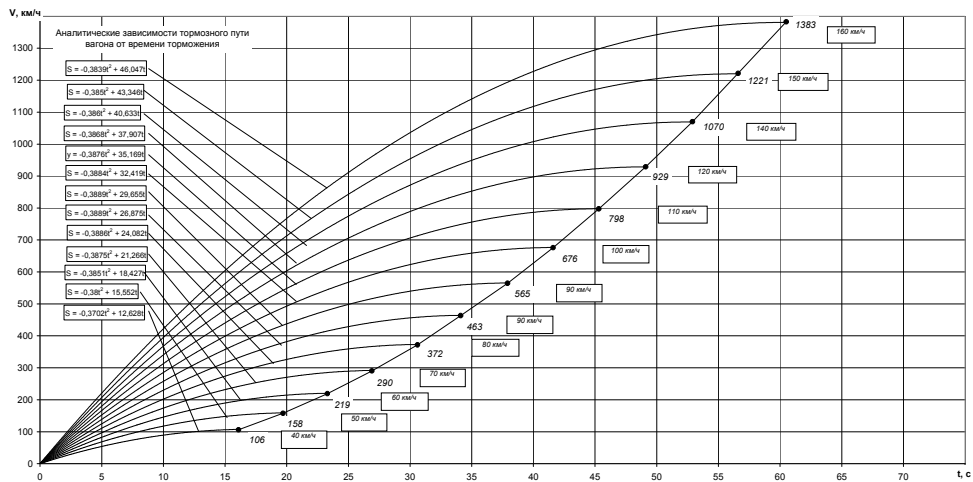
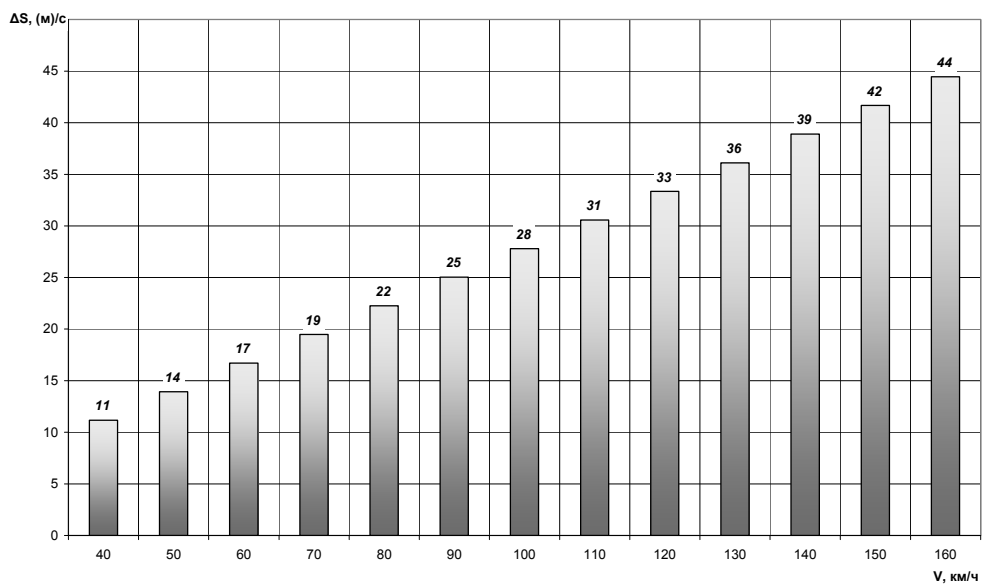
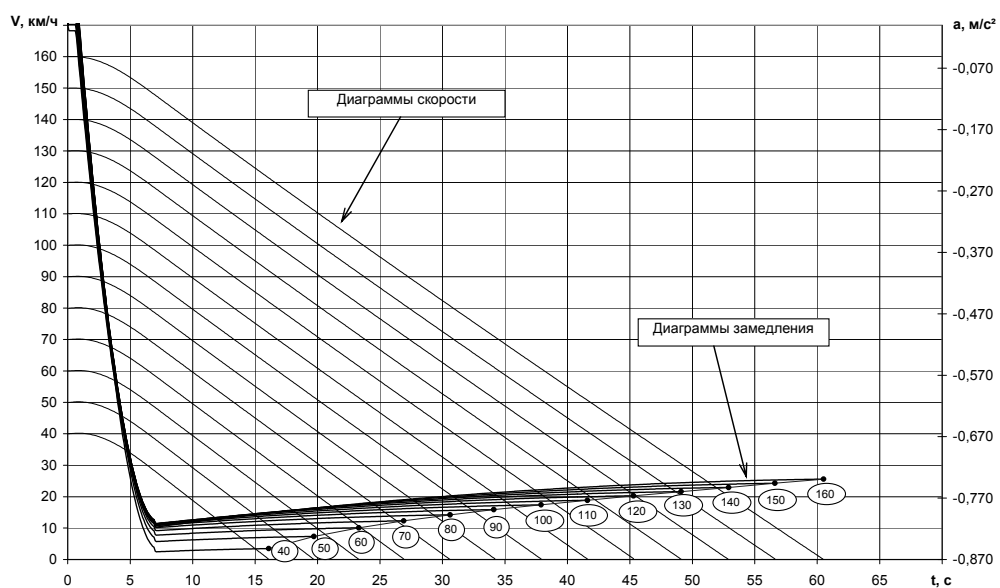


Рис. 7. Диаграммы изменения тормозного пути вагона на площадке при экстренном пневматическом торможении



**Рис. 8. Максимальные мгновенные значения изменений тормозного пути в единицу времени**



**Рис. 9. Диаграммы изменения скорости и замедления вагона на площадке при экстренном пневматическом торможении**

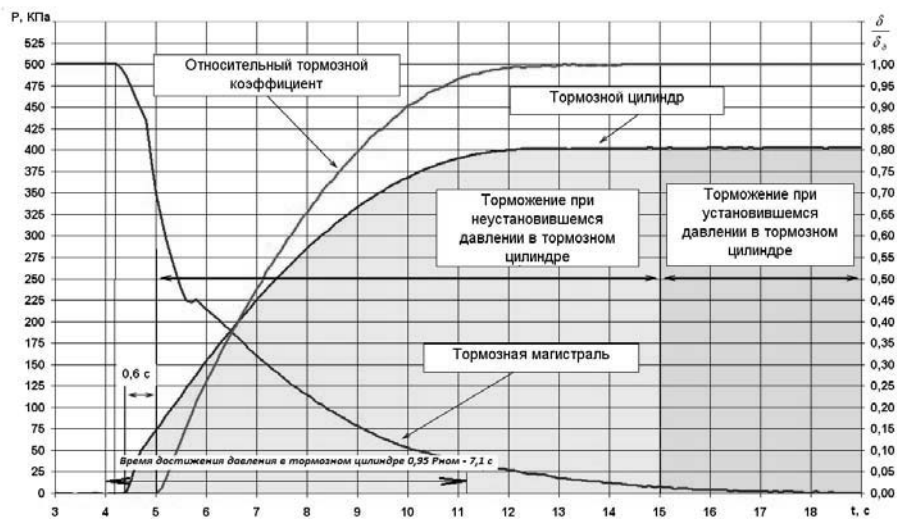


Рис. 10. Наполнение тормозного цилиндра сжатым воздухом

Наибольшие мгновенные значения замедлений вагона в зависимости от скорости в начале торможения достигают максимальных значений для скоростей 40 км/ч и 160 км/ч, минимальных – 110-120 км/ч (рис. 11).

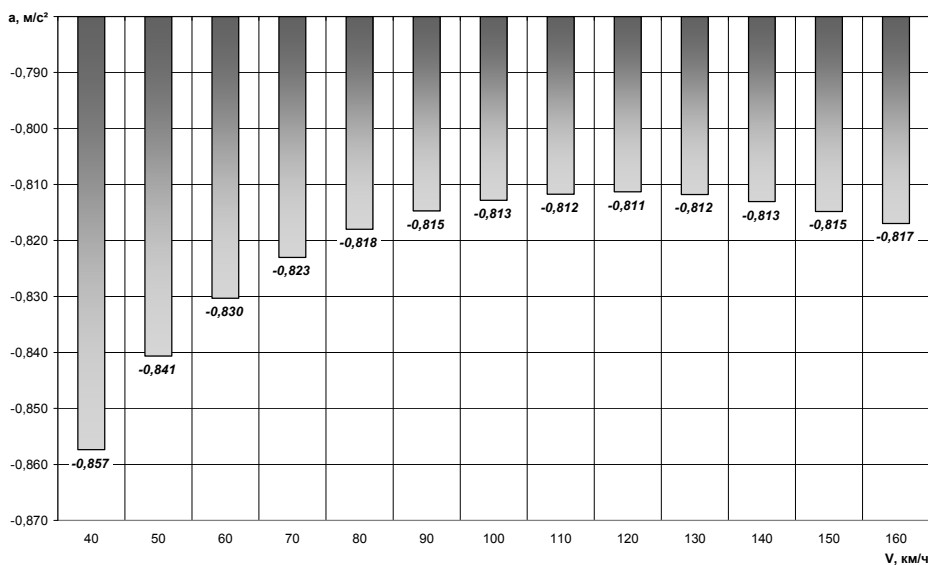


Рис. 11. Максимальные значения замедления вагона

При установившемся торможении замедление вагона приобретает тенденцию к снижению по квадратичной зависимости (рис. 12).

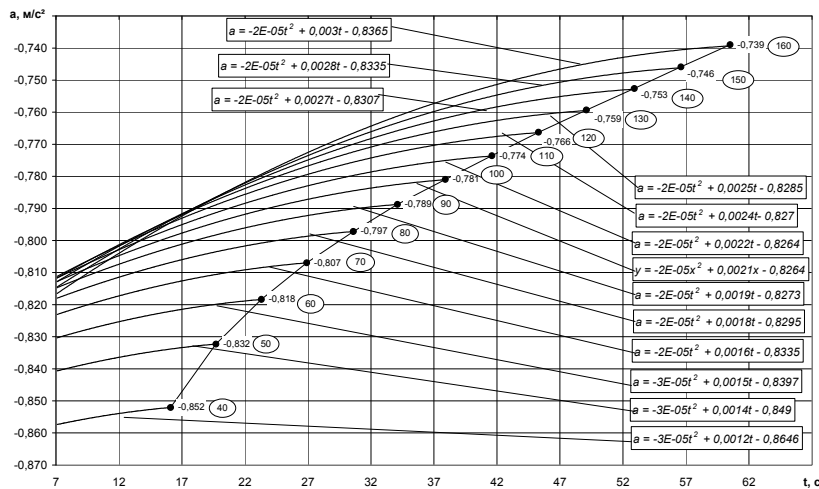


Рис. 12. Изменение замедления вагона при установившемся торможении

На основании анализа результатов расчетно-экспериментальных исследований тормозной системы вагона было установлено:

Удельные тормозные силы пассажирского вагона с дисковым тормозом в диапазоне скоростей движения 40-160 км/ч имеют неоднозначный характер и имеют тенденцию, для испытываемого вагона, снижения с увеличением скорости;

Наибольшие величины замедлений соответствуют давлению в тормозном цилиндре составляющему 95 % от номинального;

Фактические значения коэффициентов трения накладок изменяются в зависимости от скорости в начале торможения;

Средняя величина коэффициента трения составила 0,404 и соответствует паспортным данным;

Максимальные значения замедления вагона соответствуют скорости в начале торможения 160 км/ч и 40 км/ч.

Тормозные пути и замедление вагона при экстренном пневматическом торможении на площадке при установившемся торможении описываются квадратичной зависимостью от времени торможения.

**Выводы.** Математическая модель адекватно отображает реальный процесс торможения: максимальное расхождение по тормозному пути составило 1 %, по ускорению –5 %;

Предложенная методика позволяет получить уточненные характеристики тормозных систем единиц подвижного состава.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гребенюк. П. Т. Правила тормозных расчетов. – М.: Интекст, 2004. – 114 с.
- 2 Водяников Ю. Я. Применение метода Рунге-Кутты для определения тормозного пути единиц подвижного состава / Ю. Я. Водяников, Т. В. Шелейко, С. М. Свистун // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 139. – с. 302.
- 3 Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник / М. Н. Степанов. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.

Олександр Кільчинський,  
Тетяна Крижановська,  
Тетяна Семененко

### ЗАДАЧА ПРО ЕЛІПТИЧНУ УПАКОВКУ

*Розглянуто наближений метод розв'язування однієї із задач кластеризації – пошуку найщільнішої упаковки достатньо великої ємності. Потреби в таких дослідженнях виникають в медицині і екології, геофізиці й астрофізиці, дефектоскопії тощо. [1]. Комплексні дослідження етіологічних чинників токсемії на базі еліптичних кластерів (відносно обмеженої ємності) точними методами розглядалися в роботі [2].*

*Рассмотрен приближенный метод решения одной из задач кластеризации – поиск наиболее плотной достаточно емкой упаковки. Потребности в таких исследованиях возникают в медицине и экологии, геофизике и астрофизике, дефектоскопии и т. д. [1]. Комплексные исследования этиологических причин токсемии на основе эллиптических кластеров (относительно небольшой емкости) точными методами рассматривались в работе [2].*

*The close method of decision of one of tasks of clusterization - search of the most dense capacious enough packing is considered. Requirements in such researches arise up in medicine and ecology, geophysics and astrophysics, fault detection and m. of d. [1]. Complex researches of etiologic reasons of токсемии on the basis of elliptic clusters (relatively small capacities) exact in-process [2].*

**Вступ.** На перший погляд задача пошуку еліптичних кластерів виглядає оманливо простою. Насправді ж – навіть при невеликій кількості ( $n \geq 3$ ) елементів кластеризації її розв'язання складає доволі не просту математичну проблему. З ростом числа  $n$  розв'язування суттєво ускладнюється і потребує великої кількості обчислювальних операцій. У руслі проблем [1],[2] нас зацікавила розробка наближених методів, що спрощують процедуру кластеризації і придатні для практичних застосувань при пошуку багатомісних кластерів.

**Постановка задачі.** Нехай точкові прояви досліджуваної властивості об'єкта задано  $n$ -елементною множиною  $M = \{M_i\}$ , яка складається з точок  $M_i(x_i; y_i)$  на площині  $Oxy$ . Треба скласти рівняння еліпса найменшої площі ( $K$ -еліпса), що містить у собі всі точки  $M_i$ .

© Кільчинський О. О., Крижановська Т. В., Семененко. Т. Н., 2013

Надалі цю задачу називатимемо задачею про еліптичну упаковку, або про еліптичний кластер. Центр  $K$ -еліпса можна трактувати як можливе джерело, а головні осі – як пріоритетні напрямки розповсюдження цих проявів.

Припустимо, що центр  $K$ -еліпса міститься у точці  $O'(x_0; y_0)$ , а головні осі  $O'x'$ ,  $O'y'$  складають з віссю  $Ox$  кути  $\varphi$  та  $\varphi + \frac{\pi}{2}$  (відповідно) так, що  $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$  і мають місце співвідношення:

$$\begin{cases} x' = \dot{x} \cos \varphi + \dot{y} \sin \varphi, \\ y' = -\dot{x} \sin \varphi + \dot{y} \cos \varphi, \end{cases} \quad (1)$$

де 
$$\dot{x} = x - x_0, \dot{y} = y - y_0. \quad (2)$$

В системі  $Oxy$   $K$ -еліпс задається рівнянням:

$$K: \frac{(\dot{x} + k\dot{y})^2}{a^2} + \frac{(\dot{y} - k\dot{x})^2}{b^2} = 1 + k^2, \quad (3)$$

де  $a, b$  – півосі еліпса,  $k$  – кутовий коефіцієнт осі  $O'x'$ :  $k = \operatorname{tg} \varphi > 0$ . Оскільки площа  $S$  еліпса (3) обчислюється за формулою  $S = \pi ab$ , то задачу про еліптичну упаковку можна сформулювати як задачу математичного програмування з п'ятьма керованими змінними  $x_0, y_0, k, u, v$ :

$$\begin{cases} z = uv \rightarrow \max, & (4) \\ (\dot{x}_i + k\dot{y}_i)^2 u + (\dot{y}_i - k\dot{x}_i)^2 v \leq 1 + k^2 \quad (i = \overline{1; n}), & (5) \\ u, v, k \geq 0, & (6) \end{cases}$$

де 
$$\dot{x}_i = x_i - x_0, \dot{y}_i = y_i - y_0, u = a^{-2}, v = b^{-2}, M(x_i; y_i) \in Q. \quad (7)$$

У загальному випадку задача (4) – (6) є достатньо складною. Її точний розв'язок можна знайти, якщо діяти за такою схемою:

- 1) замінити обмеження-нерівності (5) відповідними обмеженнями-рівностями;
- 2) скласти та розв'язати  $N = C_n^3 + C_n^4 + C_n^5$  задач на пошук  $\max z$ , в яких перебираються усі можливі комбінації з трьох, чотирьох та п'яти обмежень-рівностей;
- 3) вибрати серед знайдених розв'язків той, якому відповідає найбільше значення  $\max z$  і при цьому задовольняються усі обмеження-нерівності (5).

Виходячи зі специфіки досліджуваних властивостей, задачу кластеризації доводиться розглядати у двох постановках ( $\Pi_1$  і  $\Pi_2$ ). У постановці  $\Pi_1$  приймемо, що центр та напрямки головних осей  $K$ -еліпса цілком визначаються опуклою оболонкою  $M'$  точок множини  $M$  (такий еліпс назвемо спостереженим). У постановці  $\Pi_2$  приймемо, що центр та напрямки головних осей  $K$ -еліпса визначаються точками усієї множини  $M$  (не тільки оболонкою), що може знадобитись при вивченні історії виникнення та поширення кластерної зони (такий еліпс назвемо прогнозованим).

**Метод розв'язування.** В обох постановках задачу (4) – (6) будемо розв'язувати наближено в два етапи.

**І етап.** Головні осі еліпса ( $O'x'$  та  $O'y'$ ) еліпса знайдемо як прямі:

$$B_j: \quad y = k_j x + h_j \quad (j = 1; 2), \quad (8)$$

на яких сума квадратів відхилень від усіх точок множини  $M$ , тобто функція:

$$\Delta = \Delta(k, h) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - kx_i - h}{\sqrt{1+k^2}} \right)^2, \quad (9)$$

приймає екстремальне значення. Параметри  $k_1, k_2, h_1, h_2$  знайдемо як точки екстремуму функції (9) з умов:

$$\frac{\partial \Delta}{\partial k} = 0, \quad \frac{\partial \Delta}{\partial h} = 0. \quad (10)$$

Центр  $O'(x_0; y_0)$  еліпса визначимо як точку перетину прямих  $B_1, B_2$ . Задовольняючи умовам (10), знайдемо:

$$h_j = \bar{y} - k_j \bar{x}, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad x_0 = \bar{x}, \quad y_0 = \bar{y}. \quad (11)$$

Кутові коефіцієнти  $k_1, k_2$  є коренями квадратного рівняння:

$$K_{xy}(k^2 - 1) + (D_y - D_x)k = 0, \quad (12)$$

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_i^2, \quad D_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{y}_i^2, \quad K_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dot{x}_i \dot{y}_i. \quad (13)$$

Розв'язуючи рівняння (12), знайдемо:

$$k_{1,2} = t \pm \sqrt{t^2 + 1}, \quad t = \frac{D_y - D_x}{2K_{xy}}, \quad (14)$$

Тобто прямі  $B_1$  і  $B_2$  є взаємно перпендикулярними ( $k_1 k_2 = -1$ ). Для кутового коефіцієнта осі  $O'x'$  (прямої  $B_1$ ) матимемо:

$$k = k_1 = t + \sqrt{t^2 + 1}. \quad (15)$$

**П е т а н.** За формулами (11) і (15) виключимо значення  $x_0, y_0, k$  з нерівностей (5) і розв'яжемо нову (вже спрощену) задачу математичного програмування з двома керованими змінними  $u, v$  та лінійними обмеженнями-нерівностями:

$$\begin{cases} z = uv \rightarrow \max, & (16) \\ \frac{u}{a_i} + \frac{v}{b_i} \leq 1 \quad (i = \overline{1; n}), & (17) \\ u, v \geq 0, & (18) \end{cases}$$

де

$$a_i = \frac{1+k^2}{(\dot{x}_i + k\dot{y}_i)^2}, \quad b_i = \frac{1+k^2}{(\dot{y}_i - k\dot{x}_i)^2}. \quad (19)$$

Областю допустимих розв'язків для задачі (16) – (18) є опуклий багатокутник  $D$ , що утворюється при перетині  $n + 2$  півплощин, обмежених прямими  $l_i$  ( $i = \overline{0; n+1}$ ) на площині  $Ouv$ :

$$l_0 : u = 0, \quad l_{n+1} : v = 0, \quad l_i : \frac{u}{a_i} + \frac{v}{b_i} = 1 \quad (i = \overline{1; n}). \quad (20)$$

Межа багатокутника  $D$  складається з відрізків прямих (20). Вершинами цього багатокутника є ті з точок  $P_{ij}(u_{ij}; v_{ij})$  перетину прямих  $l_i$  та  $l_j$ , координати яких задовольняють обмеженням (17),(18). Координати точок  $P_{ij}$  можна знайти за формулами:

$$u_{ij} = u_{ji}; v_{ij} = v_{ji}; u_{i0} = 0, v_{i0} = b_i; u_{in+1} = a_i, v_{in+1} = 0; \quad (21)$$

$$u_{ij} = \frac{b_i - b_j}{p_i - p_j}, v_{ij} = \frac{a_i - a_j}{q_i - q_j}, p_k = \frac{b_k}{a_k}, q_k = \frac{a_k}{b_k} \quad (i, j, k = \overline{1; n}, i \neq j).$$

**Алгоритм пошуку вершин  $P_{ij} \in D$**

1) Просіємо множину  $L = \{l_i, i = \overline{1; n}\}$  прямих  $l_i : \frac{u}{a_i} + \frac{v}{b_i} = 1$ , вилучивши з неї кожен пряму  $l_k$ , яка домінує над деякою прямою  $l_j$ , тобто задовольняє нерів-

ностям:

$$\begin{cases} a_k \geq a_j, \\ b_k \geq b_j. \end{cases} \quad (22)$$

Відповідно до вилучених прямих (нехай їх кількість дорівнює  $r$ ) зменшимо до величини  $m = n - r$  кількість обмежень (17).

2) Елементи просіяної множини  $L'$  перенумеруємо в порядку зростання коефіцієнтів  $a_i$  на її основі складемо реєстр  $R = \{l'_i, i = \overline{1; m}\}$ . За формулами (21) знайдемо всі точки  $P_{ij}(u_{ij}; v_{ij})$  перетину прямих  $l'_i, l'_j$  ( $i, j = \overline{1; m}, i \neq j$ ). Точки  $P_{ij}$  розподілимо по множинах  $L_s = \{P_{sk} \in l'_s, k = \overline{1; m}\}$ ; впорядкуємо ці множини по зростанню координати  $u$  точок  $P_{sk}$ .

3) Просіємо множини  $L_s$  ( $s = \overline{1; m}$ ), вилучивши з усіх об'єднань  $L_i \cup L_j$  ( $i, j = \overline{1; m}, i < j$ ), точки  $P(u; v)$ , що домінують над точками  $P_{ij}(u_{ij}; v_{ij})$  тобто задовольняють умові:

$$P(u; v) \in \overline{D}_{ij} = \{P \in L_i | u < u_{ij}\} \cup \{P \in L_j | u > u_{ij}\}. \quad (23)$$

Вершини багатокутника  $D$  визначимо як елементи просіяних множин  $L'_s$ .

Визначивши вершини багатокутника  $D$ , зведемо розв'язування задачі (16) – (18) до пошуку точки  $P^*(u^*; v^*) \in D$ , в якій цільова функція  $z = uv$  досягає свого найбільшого значення  $z^*$ :

$$z^* = \max_D z = z^*(P^*) = u^* v^*. \quad (24)$$

За властивостями цільової функції (16) її максимум може досягатись лише на межі багатокутника  $D$  (у вершинах  $P_{ij}$  або у внутрішніх точках межових відрізків, що їх з'єднують). Значення цільової функції у вершинах  $P_{ij}(u_{ij}; v_{ij})$  знайдемо у вигляді добутків:

$$z(P_{ij}) = z_{ij} = u_{ij} v_{ij}; \quad (25)$$

множини  $u_{ij}, v_{ij}$  обчислимо за формулами (21). Максимальні значення цільової функції у внутрішній точках межових відрізків прямих  $l'_i$  існують лише при умові, що відповідні їм точки  $P_i(0,5a_i; 0,5b_i) \in D$ ; ці значення обчислюється за формулою

$$\max z \Big|_{l_i} = z_i = z(P_i^*) = 0,25a_i b_i \quad (\text{якщо } P_i^* \in D). \quad (26)$$

Значення  $z^* = \max z \Big|_D$  отримаємо як найбільше серед чисел  $z_{ij}$  та  $z_i$ , що знаходяться за формулами (25),(26).

Якщо задачу (16) – (18) розв’язано і знайдено точку  $P^*(u^*; v^*) \in D$ , в якій цільова функція досягає свого найбільшого значення (24), то відповідно до співвідношень (7) півосі і площу  $K$ -еліпса обчислимо за формулами:

$$a = \frac{1}{\sqrt{u^*}}, \quad b = \frac{1}{\sqrt{v^*}}, \quad S = \frac{\pi}{\sqrt{u^* v^*}}. \quad (27)$$

Центр еліпса знайдемо у точці  $O'(x_0; y_0)$ , її координати визначимо за формулами (11). Рівняння головних осей знайдемо у вигляді (8), значення коефіцієнтів  $h_1, h_2, k_1, k_2$  визначимо за формулами (11),(13),(14).

**Приклад розв’язування.** Розв’яжемо задачу: побудувати еліптичну упаковку ( $K$ -еліпс) для множини  $M = \{M_i\}$  точок  $M_i(x_i; y_i)$  ( $i = \overline{1; 20}$ ), координати яких задано у табл. 1.

Таблиця 1. Координати точок  $M_i(x_i; y_i)$  у площині  $Oxy$

$i$	$x_i$	$y_i$	$i$	$x_i$	$y_i$
1	5	35	11	75	85
2	10	90	12	70	80
3	35	125	13	80	75
4	50	135	14	55	70
5	95	140	15	70	65
6	115	125	16	55	115
7	115	90	17	40	75
8	105	60	18	85	45
9	80	30	19	90	85
10	20	20	20	50	55

◀ 1) По даних табл.1 за формулами(11) – (15) (при  $n = 20$ ) знайдемо  $\bar{x} = 65$ ,  $\bar{y} = 80$ ,  $k = 1,156968477 \approx 1,157$ .

2) За формулами (7), (11) та (19) обчислимо величини  $a_i, b_i$  відрізків, що відтинаються прямими  $l_i$  ( $i = \overline{1; 20}$ ) на координатних осях площини  $Oxy$ ; результати зведемо у табл. 2.

Таблиця 2. Відрізки, що відтинаються прямими  $l_i$  на осях  $Ou, Ov$

$i$	$a_i$	$b_i$	$i$	$a_i$	$b_i$
1	7,252	$1,778 \cdot 10^{-4}$	11	$2,369 \cdot 10^{-1}$	$8,280 \cdot 10^{-3}$
2	$5,895 \cdot 10^{-4}$	$7,000 \cdot 10^{-4}$	12	$1,097 \cdot 10^{-1}$	$6,297 \cdot 10^{-2}$
3	$3,431 \cdot 10^{-4}$	$9,367 \cdot 10^{-2}$	13	$5,877 \cdot 10^{-3}$	$1,252 \cdot 10^{-2}$
4	$3,574 \cdot 10^{-4}$	$2,212 \cdot 10^{-3}$	14	$2,683 \cdot 10^{-1}$	$5,095 \cdot 10^{-3}$
5	$1,133 \cdot 10^{-3}$	$2,764 \cdot 10^{-4}$	15	$4,459 \cdot 10^{-3}$	$3,884 \cdot 10^{-2}$
6	$3,113 \cdot 10^{-2}$	$2,226 \cdot 10^{-4}$	16	$1,231 \cdot 10^{-3}$	$5,767 \cdot 10^{-3}$
7	$2,024 \cdot 10^{-3}$	$4,748 \cdot 10^{-4}$	17	$8,096 \cdot 10^{-3}$	$1,899 \cdot 10^{-3}$
8	$6,219 \cdot 10^{-4}$	$2,550 \cdot 10^{-3}$	18	$6,258 \cdot 10^{-4}$	$3,701 \cdot 10^{-2}$
9	$4,180 \cdot 10^{-4}$	$3,005 \cdot 10^{-3}$	19	$8,096 \cdot 10^{-3}$	$1,899 \cdot 10^{-3}$
10	$2,347 \cdot 10^{-3}$	$1,924 \cdot 10^{-4}$	20	$8,469 \cdot 10^{-3}$	$1,366 \cdot 10^{-3}$

3) Просіємо множину  $L = \{l_i, i = \overline{1;20}\}$  прямих  $l_i$ , вилучивши з неї кожен пряму  $l_k$ , яка домінує над деякою прямою  $l_j$ , тобто задовольняє нерівностям (22). Отримаємо просіяну множину  $L' = \{l_2, l_3, l_4, l_8, l_9, l_{10}\}$ .

4) Елементи просіяної множини  $L'$  перенумеруємо в порядку зростання коефіцієнтів  $a_i$  на її основі складемо реєстр  $R = \{l'_i, i = \overline{1;6}\}$ . Перенумерацію здійсимо за схемою:  $l_3 \rightarrow l'_1, l_4 \rightarrow l'_2, l_2 \rightarrow l'_3, l_5 \rightarrow l'_4, l_{10} \rightarrow l'_5, l_1 \rightarrow l'_6$ .

За формулами (21) знайдемо всі точки  $P_{ij}$  перетину реєстрових прямих  $l'_i, l'_j$ ; результати подамо у табл. 3.

Точки  $P_{ij}$  розподілимо по множинах  $L_s = \{P_{sk} \in l'_s, k = \overline{1;6}\}$ ; впорядкуємо ці множини по зростанню координати  $u$  точок  $P_{sk}$ . Співставляючи табличні значення величини  $u_{ij}$ , складемо шість множин:

$$L_1 = \{P_{13}; P_{14}; P_{16}; P_{15}; P_{12}\}, L_2 = \{P_{23}; P_{24}; P_{26}; P_{25}; P_{12}\}, L_3 = \{P_{23}; P_{13}; P_{36}; P_{34}; P_{35}\},$$

$$L_4 = \{P_{24}; P_{14}; P_{46}; P_{34}; P_{45}\}, L_5 = \{P_{56}; P_{25}; P_{15}; P_{35}; P_{45}\}, L_6 = \{P_{56}; P_{26}; P_{16}; P_{46}; P_{36}\}.$$

5) Просіємо множини  $L_s (s = \overline{1;6})$ , вилучивши з усіх об'єднань  $L_i \cup L_j (i, j = \overline{1;6}, i < j)$ , точки  $P(u; v)$ , що домінують над точками  $P_{ij}(u_{ij}; v_{ij})$  тобто виходять за межі області  $D$  (задовольняють умові (23)). Пересвідчимося, що межею області  $D$  є багатокутник з вершинами в точках  $P_{12}(u_{12}; v_{12}), P_{25}(u_{25}; v_{25}), P_{56}(u_{56}; v_{56}), O(0;0), P_{06}(0; b_6)$  та  $P_{17}(a_1; 0)$ .

6) Проведемо необхідні обчислення і з допомогою формул (25),(26) знайдемо, що найбільше значення цільової функції досягається в точці  $P_{25}: z^* = z^*(P_{25}) = u_{25}v_{25} = 5,465 \cdot 10^{-8}, u^* = u_{25} = 3,307 \cdot 10^{-4}, v^* = v_{25} = 1,652 \cdot 10^{-4}$ .

Таблиця 3. Координати точок  $P_{ij}(u_{ij}; v_{ij})$  у площині  $Ouv$

$u_{ij}$	$v_{ij}$
$u_{12} = 3,428 \cdot 10^{-4}$	$v_{12} = 9,040 \cdot 10^{-5}$
$u_{13} = 3,421 \cdot 10^{-4}$	$v_{13} = 2,938 \cdot 10^{-4}$
$u_{14} = 3,424 \cdot 10^{-4}$	$v_{14} = 1,929 \cdot 10^{-4}$
$u_{15} = 3,425 \cdot 10^{-4}$	$v_{15} = 1,643 \cdot 10^{-4}$
$u_{16} = 3,425 \cdot 10^{-4}$	$v_{16} = 1,778 \cdot 10^{-4}$
$u_{23} = 3,023 \cdot 10^{-4}$	$v_{23} = 3,410 \cdot 10^{-4}$
$u_{24} = 3,256 \cdot 10^{-4}$	$v_{24} = 1,970 \cdot 10^{-4}$
$u_{25} = 3,307 \cdot 10^{-4}$	$v_{25} = 1,652 \cdot 10^{-4}$
$u_{26} = 3,287 \cdot 10^{-4}$	$v_{26} = 1,778 \cdot 10^{-4}$
$u_{34} = 4,489 \cdot 10^{-4}$	$v_{34} = 1,669 \cdot 10^{-4}$
$u_{35} = 4,592 \cdot 10^{-4}$	$v_{35} = 1,547 \cdot 10^{-4}$
$u_{36} = 4,398 \cdot 10^{-4}$	$v_{36} = 1,778 \cdot 10^{-4}$
$u_{45} = 5,193 \cdot 10^{-4}$	$v_{45} = 1,498 \cdot 10^{-4}$
$u_{46} = 4,045 \cdot 10^{-4}$	$v_{46} = 1,778 \cdot 10^{-4}$
$u_{56} = 1,778 \cdot 10^{-4}$	$v_{56} = 1,778 \cdot 10^{-4}$

7) За формулами (27) визначимо півосі та площу еліпса:

$$a = 54,99, \quad b = 77,79, \quad S = 1,344 \cdot 10^4 \text{ кв. од.};$$

за формулами (11) обчислимо координати центра  $O'(x_0; y_0)$ :

$$x_0 = 65, \quad y_0 = 80;$$

за формулами (8), (11), (13) і (14) знайдемо кутові коефіцієнти та рівняння головних осей  $O'u, O'v$  (або прямих  $B_1, B_2$ ) еліпса:

$$k_1 = 1,320, \quad k_2 = -7,578 \cdot 10^{-1}, \quad B_j: y_j = y_0 + k_j(x - x_0) \quad (j = 1; 2). \blacktriangleright$$

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Тихонов А.Н., Арсенин Б.Я., Тимонов А.А. Математические задачи компьютерной томографии. – М.: Наука, 1987. – 159 с.
2. Шкуліна О.В., Рублев Б.В. Кластеризація медичних даних на основі побудови еліпса мінімальної площі. / Матеріали XIII Міжнародної наукової конференції ім. М. Кравчука; т.3. – К.: НТУУ, 2010. – 120 с.

*Вікторія Ковальчук*

## БІФУРКАЦІЇ ТА СТІЙКІСТЬ МАЯТНИКОВИХ СИСТЕМ ЗІ СЛІДКУЮЧИМИ СИЛАМИ

*Досліджені біфуркації у фазових просторах перевернутого математичного маятника зі слідкуючою силою. Проаналізовані якісні зміни у многовиді станів рівноваги маятника при зміні суттєвих параметрів системи.*

*Исследованы бифуркации в фазовых пространствах перевернутого маятника со следящей силой. Проанализованы качественные изменения в многообразии состояний равновесия маятника при изменении существенных параметров системы.*

*The bifurcations in the phase space of the overturned mathematical pendulum with the follower force's have been investigated. The qualitative changes in the manifold of the equilibrium states have been analysed.*

**Ключові слова:** математичний маятник, стаціонарні стани, біфуркації.

**Вступ.** Актуальність дослідження динамічної поведінки маятникових систем зі слідкуючими силами зумовлена збільшенням висоти будівельних споруд та об'єктів баштового типу. При певних збуреннях порушуються умови нормального функціонування елементів указаних конструкцій як механічних систем і створюється загроза їх міцності та стійкості.

Для одного з конструктивних елементів залізничних споруд (а саме – стиснутого пружного стержня, навантаженого на верхньому кінці слідкуючою силою) ефективною математичною моделлю є перевернутий математичний маятник із пружнозакріпленим верхнім кінцем [1]. При дослідженні особливостей динамічної поведінки одно-, дво- і триланкових систем була встановлена можливість декомпозиції рівнянь збуреного руху маятника [2]. З практичної точки зору важливим результатом є визначення біфуркаційних значень суттєвих параметрів досліджуваної механічної системи [3], оскільки при переході через ці значення відбуваються якісні зміни у многовиді станів рівноваги маятника. Для випадку триланкового маятника в [4] побудовані криві стаціонарних станів і проаналізовано, як змінюється конфігурація цих кривих залежно від параметрів системи. Метою наведених нижче досліджень є аналіз дивергентних і флаттерних біфуркацій у фазових просторах маятника.

**1. Постановка задачі.** Розглянемо механічну систему, що складається з трьох матеріальних точок, з'єднаних між собою невагомими абсолютно твердими стержнями. Розрахункова схема досліджуваної моделі наведена в [1].

Диференціальні рівняння збуреного руху маятника складаємо за допомогою диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду:

© Ковальчук В. В., 2013

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = Q(t, q, \dot{q}). \quad (1)$$

Правою частиною цих рівнянь є матриця-стовпчик  $Q(t, q, \dot{q})$  узагальнених сил, що діють на систему. Розмірність цієї матриці дорівнює  $n \times 1$ . Для одно-, дво- і триланкового маятників відповідно маємо:

$$Q(t, q, \dot{q}) = Q_1(t, q, \dot{q}), \quad Q(t, q, \dot{q}) = \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{pmatrix} \quad \text{та} \quad Q(t, q, \dot{q}) = \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{pmatrix}.$$

Оскільки положення досліджуваної механічної системи визначають кути  $\varphi_1, \varphi_2$  і  $\varphi_3$  відхилення ланок від вертикалі, то узагальненими координатами вважаємо  $q_1 = \varphi_1, q_2 = \varphi_2, q_3 = \varphi_3$ .

Кут, який слідкуюча сила  $\bar{P}$  утворює з вертикаллю, дорівнює  $\alpha = \delta + k\varphi_3$ , де  $k$  – параметр орієнтації, а  $\delta$  – кутовий ексцентриситет. Неточність прикладання цієї сили, викликану як передбачуваними, так і випадковими зовнішніми чинниками, враховує лінійний ексцентриситет  $\varepsilon$  [1, 4]. В частинному випадку  $\alpha = \varphi_3$  слідкуюча сила є симетричною і діє вздовж осі верхньої ланки маятника. В загальному випадку лінія дії сили утворює з верхнім стержнем кут, який має «статичну» ( $\delta$ ) і «динамічну» ( $k\varphi_3$ ) складові. Зауважимо, що внаслідок комутативності поворотів визначати напрямок дії сили  $\bar{P}$  можна двома способами: спочатку повернути від осі верхньої ланки маятника на кут  $\delta$ , а потім – на кут  $k\varphi_3$  або ж навпаки.

Система диференціальних рівнянь (1) допускає стан рівноваги  $q = \dot{q} = 0$ , що відповідає вертикальному положенню ланок маятника. Для збуреного руху диференціальні рівняння можна записати у нормальній формі Коші:

$$x'_{2i-1} = x_{2i}, \quad (2)$$

$$x'_{2i} = F_{2i}(x_1, x_2, \dots, x_{2n}),$$

$$(i = 1, \dots, n).$$

Тут функції  $F_{2i}(x_1, x_2, \dots, x_{2n})$  є нелінійними відносно змінних стану

$$x_1 = \varphi_1, x_2 = \dot{\varphi}_1, x_3 = \varphi_2, x_4 = \dot{\varphi}_2, x_5 = \varphi_3, x_6 = \dot{\varphi}_3.$$

Дослідимо, як кількісні зміни параметрів маятника впливають на якісні зміни у фазовому просторі динамічної системи (2).

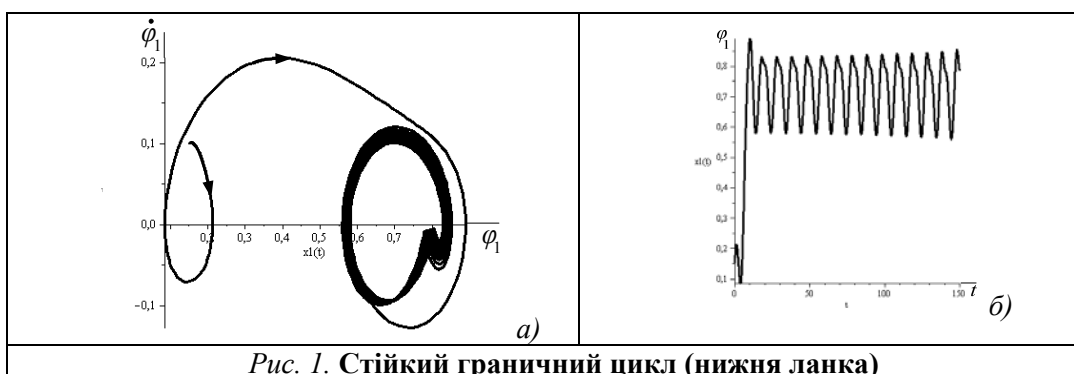
**2. Біфуркації стаціонарних станів маятника.** Суттєвими параметрами досліджуваної маятникової системи вважаємо [1] модуль  $P$  слідкуючої сили та коефіцієнт жорсткості  $c$  пружного закріплення верхнього кінця маятника. При розрахунках використовуємо формули переходу до безрозмірних величин:

$$\bar{P} = \frac{Pl_1}{c_1}, \quad \bar{c} = \frac{cl_1^2}{c_1},$$

де  $l_1$  і  $c_1$  – параметри нижньої ланки маятника, які приймаємо за базисні.

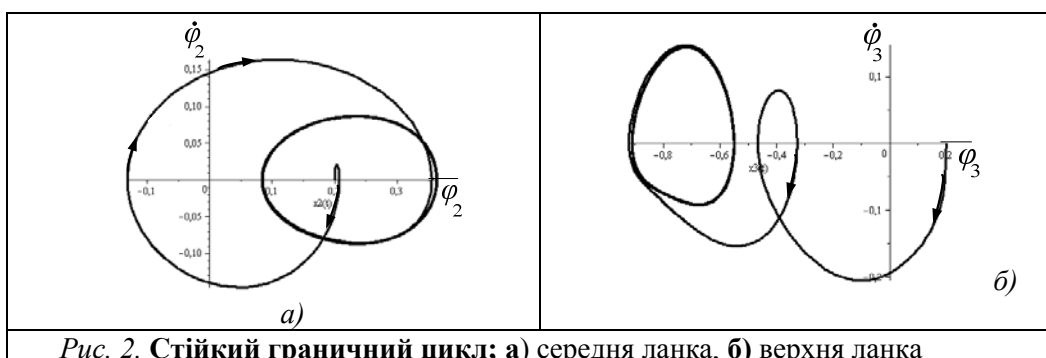
При кількісній зміні одного із суттєвих параметрів і фіксованому значенні іншого параметра у фазовому просторі відбуваються якісні зміни у багатовиді станів рівноваги маятника. При малих значеннях  $\bar{P}$  і  $\bar{c}$  верхнє вертикальне положення є асим-

птотично стійким. При поступовому збільшенні значення  $\bar{P}$  цей стан рівноваги втрачає свою стійкість внаслідок біфуркацій або катастроф. При проходженні через біфуркаційне значення  $\bar{P}_{кр}$ , що відповідає одному нульовому кореню характеристичного рівняння лінійного наближення системи (2), відбуваються дивергентні біфуркації. У фазовому просторі маятника народжуються дві особливі точки, що відповідають неvertикальним станам рівноваги. Якщо величина  $\bar{P}$  проходить через межу області стійкості, що відповідає парі суто уявних коренів характеристичного рівняння, то відбувається народження граничного циклу. На рис. 1, а показаний граничний цикл, побудований на фазовій площині  $(\varphi_1, \dot{\varphi}_1)$  при таких значеннях параметрів:  $k = 0,25$  (параметр орієнтації слідкуючої сил),  $\bar{P} = 1,5$ ,  $\bar{c} = 0,8$ . Інші значення параметрів такі самі, що й у попередніх дослідженнях даного циклу [2, 4].



Фазова траєкторія ілюструє, що для заданої маятникової системи зображуюча точка, яка мала початкове збурення  $\varphi_1 = 0,15$ ,  $\dot{\varphi}_1 = 0,1$ , після певного переходного процесу потрапляє на граничний цикл. Залежність зміни кута  $\varphi_1$  від часу  $t$  показана на рис. 1, б. Як бачимо, з плином часу встановлюється періодичний закон зміни кута.

Фазові портрети на площинах  $(\varphi_2, \dot{\varphi}_2)$  і  $(\varphi_3, \dot{\varphi}_3)$ , які відповідають середній та верхній ланкам маятника, наведені на рис. 2. Траєкторії побудовані за допомогою інтегрування задачі Коші в середовищі MAPLE (застосований оператор *DEplot*) при початкових збуреннях  $\varphi_2 = 0,2$ ,  $\dot{\varphi}_2 = 0$  та  $\varphi_3 = 0,2$ ,  $\dot{\varphi}_3 = 0,3$ .



---

На площині суттєвих параметрів  $(\bar{c}, \bar{P})$  відповідна точка  $(\bar{c} = 0,8; \bar{P} = 1,5)$  розташована в області  $D(4, 2)$ , в якій чотири корені характеристичного рівняння мають від'ємні дійсні частини, а два корені мають додатні дійсні частини. Отже, верхній вертикальний стан рівноваги є нестійким. Таким чином результати комп'ютерного моделювання узгоджуються з теорією стійкості О. М. Ляпунова.

Для випадку, коли відповідна точка площини суттєвих параметрів маятника розташована в області  $D(5, 1)$  дивергентної нестійкості, також були побудовані фазові портрети. Аналіз отриманих графіків дає можливість простежити механізм втрати стійкості вертикального положення рівноваги маятника та дослідити перебудову якісної картини руху при зміні суттєвих параметрів системи.

**3. Висновки.** Проаналізовані два якісно різні типи втрати стійкості верхнього вертикального положення рівноваги: динамічна (типу флаттер) і «квазістатична» (дивергентного типу). Прикладним аспектом наведених досліджень є можливість використання отриманих результатів для удосконалення вихідних характеристик відповідних механічних систем. Крім того, наведена методика дослідження біфуркацій у фазових просторах може бути застосована для вивчення загальних закономірностей у поведінці інших нелінійних систем зі слідкуючими силами, а також при визначенні умов, за яких положення рівноваги системи втрачає стійкість і виникають граничні цикли.

Порівнюючи графіки на рис. 1 і 2, бачимо, що для верхньої ланки граничний цикл формується в області  $\varphi_3 < 0$  (рис. 2, б), а для нижньої та середньої ланок – в областях  $\varphi_1 > 0$  та  $\varphi_2 > 0$ . Це означає, що верхня ланка маятника відхиляється від вертикалі у протилежний по відношенню до двох інших ланок бік. Тому доцільно у подальших дослідженнях унаочнити результати за допомогою розробки анімаційної моделі засобами пакета прикладних програм у середовищі MAPLE.

## ЛІТЕРАТУРА

7. *Lobas L.G.* Dynamic Behavior of Multilink Pendulums under Follower Forces // *Int. Appl. Mech.* – 2005. – **41**, N 6. – P. 587 – 613.
8. *Ковальчук В. В.* Маятникові системи: декомпозиція диференціальних рівнянь руху // Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, Серія «Транспортні системи і технології». – 2010. – Вип.17.– С. 155 – 158.
9. *Jin J.-D. Matsuzaki Y.* Bifurcations in a two-degree-of-freedom elastic system with follower forces // *J. Sound and Vibr.* – 1988. – 126, № 2. – P. 265-277.
10. *Ковальчук В. В., Сипливий М. В.* Про криві стаціонарних станів перевернутого маятника // Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту, Серія «Транспортні системи і технології». – 2012. – Вип. 20. – С. 162 – 166.

Олена Конопля

## ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРОВОГО МИСЛЕННЯ В ПРОЦЕСІ ВИВЧЕННЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ГРАФІКИ СТУДЕНТАМИ-ЗАЛІЗНИЧНИКАМИ

*Розглядається питання формування у студентів технічних вузів просторового мислення, що є актуальною проблемою підготовки висококваліфікованих інженерів-залізничників. Пропонується підхід до вирішення даного питання.*

*Рассматривается вопрос формирования у студентов технических вузов пространственного мышления, что является актуальной проблемой подготовки высококвалифицированных инженеров-железнодорожников. Предлагается подход к решению данного вопроса.*

*The question of spatial thinking formation at technical university students is considered. This is an actual problem in training highly qualified railway-engineers. An approach to the problem solving is suggested.*

**Ключові слова:** просторове мислення, геометрична культура, геометричне моделювання, стратегії розв'язання задач.

Якість геометричної освіти отримується в основному в курсах, розроблених професійними математиками. Закладений ними напрям формування і розвитку геометричної культури не став еталоном, тоді як її відсутність призводить до того, що найпотужніші можливості інтелектуальних систем штучного інтелекту виявляються не задіяними. З одного боку, інженер не може увійти до системи, не володіючи мовою постановки задач в якому геометрична складова відіграє суттєву роль, з іншої – у нього відсутнє необхідне розуміння як процесу, так і результату розв'язання задачі, підтримуваного просторовими динамічними уявленнями.

Проблеми розвитку нарисної геометрії і інженерної графіки (геометричного моделювання) присвячені роботи А. Д. Ботвінникова [1], Е. Н. Кабанова - Міллера [2], Н. Ф. Четверухіна [3], Е. І. Ігнат'єва [4] та ін. Питаннями розробки і впровадження комп'ютерної графіки в учбовий процес займалися Г. Ф. Горшков [5], С. А. Фролов [6] та ін. Проблемам візуалізації і наочності у навчанні присвятили свої праці такі дослідники, як А. І. Розов [7], Ж.-П. Сартр [8] та ін.

Аналіз психолого-педагогічної і спеціальної літератури дозволив виявити такі суперечності і труднощі:

- між потребою сучасного суспільства в підвищенні якості графічної підготовки студентів технічних ВНЗ і традиційною системою навчання у вузі, що склалася, але не вирішує це завдання;

- між потребою у високому рівні розвитку системно-просторового мислення у студентів-залізничників і неможливістю досягти його в рамках традиційної освіти.

© Конопля О. В., 2013

На рис. 1 відображені причини труднощів при вивченні курсу нарисної геометрії.

---

В процесі навчання нарисної геометрії одним із головних постає завдання формування і розвитку у студентів системного просторового мислення. Широке впровадження тривимірних методів геометричного моделювання зумовило необхідність розвитку інтеграційних тенденцій в геометричній освіті, що припускає принципово нову ідеологію.

Яким має бути комплекс педагогічних заходів, методів і засобів, який дозволить сформувати системне просторове мислення у студентів-залізничників в процесі їх графічної підготовки?

1. Необхідно оптимізувати процес формування стратегій розв'язання задач нарисної геометрії.

2. Підсилити учбову мотивацію студентів.

3. Підвищити якість підготовки.

4. Сприяти формуванню системно-просторового мислення студентів-залізничників.

При розв'язанні цих складних задач часто застосовується моделювання, оскільки воно дозволяє дослідити явище, що цікавить, в реальному масштабі часу. При моделюванні приймають низку спрощень реальної ситуації, які не порушують основних закономірностей функціонування аналізованої системи.

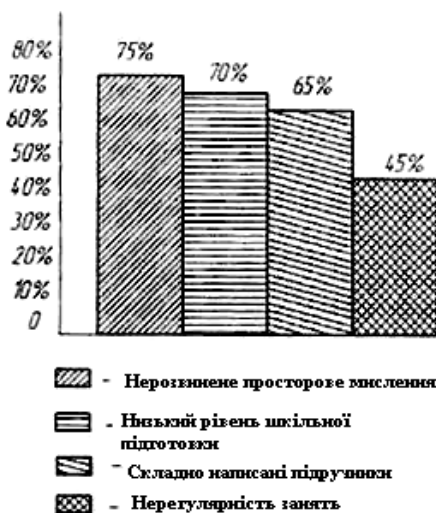


Рис.1. Причини труднощів у студентів при вивченні нарисної геометрії

Таким чином, розв'язання подібних задач сприятиме формуванню деякої закономірності у мисленні студентів, що полягає в застосуванні системного творчого підходу до розв'язання задач, що згодом буде перенесене ними і в практичну діяльність.

Студент перед розв'язанням задачі перебуває у позиції вибору: він повинен визначити характер і складність задачі, що стоїть перед ним. На одному полюсі знаходяться відкриті задачі, які не мають чітко сформульованих умов, і більшість із них суб'єкт повинен визначити самостійно (до такого типу можуть належати деякі творчі задачі проектування). На іншому полюсі знаходяться алгоритмічні задачі з чітким набором умов, певним способом розв'язання і єдино вірною відповіддю (більшість задач курсу нарисної геометрії в нинішньому вигляді). Можна припустити, що кожному типу задач відповідає певна стратегія розв'язання проблемної ситуації. Якщо студент вважає, що перед ним «відкрита» задача, то він реалізовува-

---

тиме «м'яку» стратегію аналізу проблемної ситуації. А якщо студент вважає, що задача, яку йому належить розв'язувати «закрита», то стратегія розв'язання в цьому випадку буде «жорсткою».

Ступінь «м'якості» стратегії розв'язання задачі безпосередньо корелює з рівнем вимог особистості. Високий рівень вимог провокує вибір «м'якої» стратегії, а низький рівень – «жорсткої». Рівень вимог при цьому розуміють як прогнозована студентом успішність в даному виді діяльності і визначається значенням за об'єктивною шкалою досягнень. Якщо шкала досягнень виражається одним параметром, то рівень вимог називають одновимірним, а якщо декількома параметрами, то – багатовимірним.

Показник рівня вимог ілюструє взаємозв'язок мотивації досягнення з творчим мисленням студента. Розвиваючи мотивацію досягнень і тим самим підвищуючи рівень вимог, можна підсилити тенденцію до вибору «м'якої» творчої стратегії розв'язання задач.

Основним критерієм ефективності було прийнято якість знань і умінь студентів з нарисної геометрії.

Обчислювана статистика дозволила зробити висновок, що застосування експериментальної технології використання в учбовому процесі проектної діяльності студентів в групах стимулює до системного вивчення предмету, розвиває відчуття суперництва, творчої ініціативи, активності, самостійності, формує системно-просторове мислення, тим самим підвищуючи якість предметної підготовки студентів-залізничників.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ботвинников А. Д. и др. Креслення. – М.: Высш. шк., 2010. – 202 с.
2. Кабанов-Меллер Е. Н. Формирование приемов воображения в курсе черчения. – М.: Высш. шк., 1964. – 120 с.
3. Четверухин Н. Ф. Вопросы формирования и развития пространственных представлений и пространственного воображения учащихся. – М.: АПН РСФСР, 1949. – 124 с.
4. Игнатьев Е. И. О некоторых особенностях изучения представления и воображения. – М: Высш. шк., 1956. – 192 с.
5. Горшков Г. Ф. Разработка дидактических системных основ графоггеометрическим дисциплинам в вузе в условиях внедрения новых информационных технологий: дисс. – 2000. – 329 с.
6. Фролов С. А. Начертательная геометрия. – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
7. Розов А. И. Фантазия и творчество // Вопросы философии. – 1966. – №9. – С.32-34.
8. Сартр Ж-П. Феноменологическая психология воображения. – Спб.: Наука, 2001. – 320 с.
9. Брушлинский А. В. Субъект: мышление, личность, воображение. – Воронеж: МОДЭК, 1996. – 212 с.
10. Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии. – М.: Педагогика, 1989. – Т.1. – 485 с.

Владимир Семененко  
Татьяна Семененко  
Татьяна Клецкая

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ СУПЕРКАВИТИРУЮЩИХ АППАРАТОВ

*Разработан численный метод анализа произвольного пространственного движения подводного суперкавитирующего аппарата, управляемого с помощью гидродинамических рулей. Исследуется маневренность суперкавитирующих аппаратов по глубине и по курсу, а также проблемы оптимального расположения рулей и взаимного влияния рулей и каверны.*

*Розроблено чисельний метод аналізу довільного просторового руху підводного суперкавітуючого апарата, керованого за допомогою гідродинамічних рулів. Досліджується маневреність суперкавітуючих апаратів по глибині і за курсом, а також проблеми оптимального розміщення рулів і взаємного впливу рулів і каверни.*

*A numerical method of analysis of arbitrary 3D motion of a underwater supercavitating vehicle guided by the hydrodynamic cavity-piercing rudders (fins) has been developed. Both course and depth maneuvering the supercavitating vehicles and also problems on the optimal position of rudders and the mutual influence of rudders and cavity has been investigated.*

**Ключевые слова:** суперкавитирующий аппарат, управляющие рули, пространственное маневрирование, компьютерное моделирование.

**Введение.** Суперкавитирующие аппараты (СКА), движущиеся под водой со скоростями порядка ста и более метров в секунду, являются перспективным средством морского транспорта. В настоящее время является актуальной проблема управления и маневренности СКА. В наших работах [1–4] дано описание аппроксимационной математической модели движения суперкавитирующих тел, основанной на принципе независимости расширения сечений нестационарной суперкаверны Г.В.Логвиновича [5, 6]. На основе этой математической модели нами разработана методика численного расчета и компьютерного моделирования произвольного трехмерного движения самодвижущихся управляемых СКА. В работах [1, 2] исследованы частные случаи движения СКА – продольное и боковое движения, рассмотрены задачи об устойчивости и стабилизации продольного движения и о маневренности СКА по курсу. При этом рассматривалось управление движением СКА путем наклона кавитатора ( $\delta$ -управление) и путем отклонения вектора тяги движителя ( $\eta$ -управление).

© Семененко В. Н., Семененко Т. Н., Клецкая Т. С., 2013

---

В данной статье приводятся результаты дальнейшего анализа маневренности самодвижущихся СКА (см. рис. 1), управляемых с помощью гидродинамических рулей, выступающих из каверны в воду ( $f$ -управление).

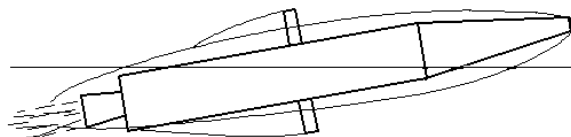


Рис. 1. Схема самодвижущегося управляемого СКА

**1. Расчетная модель.** Основные параметры расчетной модели СКА и начальные параметры движения представлены в таблицах 1 и 2. В таблицах обозначено:  $L$  – длина аппарата;  $D_b$  – наибольший диаметр корпуса;  $D_n$  – диаметр кавитатора;  $m$  – масса аппарата;  $\bar{x}_c = x_c/L$  – расстояние от кавитатора до центра масс аппарата;  $I_z = I_v$  и  $I_x$  – моменты инерции соответственно относительно осей связанной системы координат  $Oz_1$ ,  $Oy_1$  и  $Ox_1$ ;  $V_0$  – начальная скорость;  $H_0$  – начальная глубина;  $\sigma$  – число кавитации;  $Fr = V_0/\sqrt{gD_n}$  – число Фруда;  $F_x$  – гидродинамическое сопротивление;  $L_c$  – длина каверны. Эскиз расчетной модели показан на рис. 2.

Таблица 1. Основные параметры расчетной модели

$L$ , м	$D_b$ , мм	$D_n$ , мм	$m$ , кг	$\bar{x}_c$	$I_z$ , кг · м <sup>2</sup>	$I_x$ , кг · м <sup>2</sup>
5,00	340,0	70,0	600,0	0,600	900	8,0

Таблица 2. Начальные параметры движения расчетной модели

$V_0$ , м/с	$H_0$ , м	$\sigma$	$Fr$	$F_x$ , кН	$L_c$ , м
120	5	0,02	144,8	23,05	6,55

При расчете динамики модели СКА предполагается, что при  $t < 0$  она движется горизонтально на глубине  $H_0$  с постоянной скоростью  $V_0$  под действием постоянной силы тяги движителя  $F_{pr}$  в режиме естественной или искусственной суперкавитации. При  $t \geq 0$  осуществляется управление движением СКА путем  $\delta$ -управления,  $\eta$ -управления и/или  $f$ -управления.

Большую часть времени СКА должен двигаться, глиссируя своей хвостовой частью по нижней стенке каверны для компенсации веса аппарата. При этом СКА должен быть сбалансирован, т.е. сумма всех действующих сил, а также сумма их моментов относительно центра масс должны равняться нулю. Отсюда находят равновесные значения угла тангажа  $\psi^*$ , угла наклона кавитатора  $\delta_z^*$  и угла отклонения вектора тяги  $\eta_z^*$  (см. [3]). В табл. 3 приведены равновесные значения углов  $\psi$  и  $\delta_z$ , рассчитанные при  $\eta_z = 0$  для ряда положений центра масс  $\bar{x}_c$ .

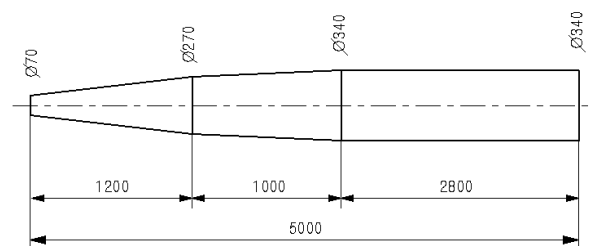


Рис.2. Расчетная модель СКА

Таблица 3. Равновесные значения углов  $\psi$  и  $\delta_z$  в градусах

$\bar{x}_c$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$\psi^*$	0,3956	0,3807	0,3659	0,3515	0,3371
$\delta_z^*$	-10,290	-8,765	-7,264	-5,782	-4,289

Прямолинейное движение сбалансированного СКА является неустойчивым. Как показано в [1], СКА обладают собственными частотами угловых колебаний, которые нелинейным образом зависят от положения центра масс  $\bar{x}_c$ . В этом случае  $\delta$ -управление и/или  $\eta$ -управление могут обеспечить автоматическую стабилизацию движения СКА “в среднем” и его маневрирование по глубине.

Эффективность маневрирования СКА по глубине и по курсу характеризуется углами траектории  $\vartheta = \psi - \alpha$ ,  $\chi = \varphi - \beta$  (где  $\varphi$  – угол рыскания;  $\alpha$  – угол атаки;  $\beta$  – угол скольжения) и скоростями их изменения:

$$\dot{\vartheta} = V(s) \frac{d\vartheta}{ds}, \quad \dot{\chi} = V(s) \frac{d\chi}{ds}, \quad (1)$$

где  $s$  – дуговая координата вдоль траектории центра масс СКА, а также величиной радиусов циркуляции  $R_{iz} = ds / d\vartheta$ ,  $R_{iy} = ds / d\chi$ .

**2. Модельный подход.** Рассмотрим сначала в упрощенной постановке эффект действия гидродинамических рулей при маневрировании СКА отдельно по глубине и по курсу, используя математические модели продольного и бокового движения [1, 2]. Для маневрирования по глубине в продольном движении служит пара симметричных горизонтальных рулей, создающая подъемную силу  $F_{fy}$  (см. рис. 3, а). Для маневрирования по курсу в боковом движении служит пара симметричных вертикальных рулей, создающая боковую силу  $F_{fz}$  (см. рис. 3, б).

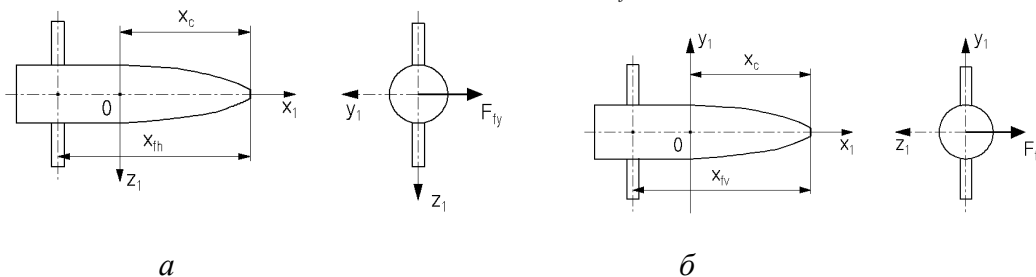


Рис. 3. Схема расположения горизонтальных (а) и вертикальных (б) рулей на корпусе СКА

Используем понятие эффективности рулей  $e_f$  [7], с помощью которого определяется величина боковых сил, создаваемых рулями, относительно сил, возникающих при отклонении на тот же угол дискового кавитатора:

$$F_{fy} = \frac{\rho V^2}{2} S_n e_f c_n \alpha_{fh}, \quad F_{fz} = \frac{\rho V^2}{2} S_n e_f c_n \alpha_{fv}, \quad (2)$$

где  $S_n = \pi D_n^2 / 4$  – площадь кавитатора;  $c_n = 0,82(1 + \sigma)$  – коэффициент сопротивления дискового кавитатора;  $\alpha_{fh}$  и  $\alpha_{fv}$  – эффективные углы атаки горизонтальных и вертикальных рулей. Тогда работу каждой пары рулей можно задать тремя параметрами:  $e_f$ ,  $\delta_{fh}$  или  $\delta_{fv}$  – угол поворота рулей относительно продольной плоскости аппарата,  $x_{fh}$  или  $x_{fv}$  – расстояние от кавитатора до точки приложения боковой силы, создаваемой рулями. Эффективные углы атаки горизонтальных и вертикальных рулей вычисляются по формулам:

$$\alpha_{fh} = \alpha + \delta_{fh} - \frac{V_y}{V} + \frac{\omega_z(x_{fh} - x_c)}{V}, \quad (3)$$

$$\alpha_{fv} = -\beta - \delta_{fv} - \frac{V_z}{V} - \frac{\omega_y(x_{fv} - x_c)}{V}, \quad (4)$$

где  $\omega_z$ ,  $\omega_y$  – угловые скорости аппарата относительно осей  $Oz_1$ ,  $Oy_1$  связанной системы координат. Соответствующие моменты относительно центра масс:

$$M_{fz} = -F_{fy}(x_{fh} - x_c), \quad M_{fy} = F_{fz}(x_{fv} - x_c). \quad (5)$$

Сила сопротивления рулей  $F_{fx}$  при данном подходе не учитывается. В расчетах ниже принято  $e_f = 0,5$ .

Расчеты показали, что для бокового движения зависимость  $\chi_m(s)$  практически линейна, т.е.  $\dot{\chi}_m = const$ . На рис. 4, а показана зависимость угловой скорости поворота по курсу  $\dot{\chi}_m$  от угла поворота вертикальных рулей  $\delta_{fv}$ , рассчитанная для ряда положений рулей  $\bar{x}_{fv} = x_{fv} / L$ . Как видно, наиболее эффективным является расположение рулей в носовой части аппарата, где они работают подобно  $\delta$ -управлению. Наименее эффективным является расположение рулей в корме, где они работают подобно  $\eta$ -управлению (см. [2]).

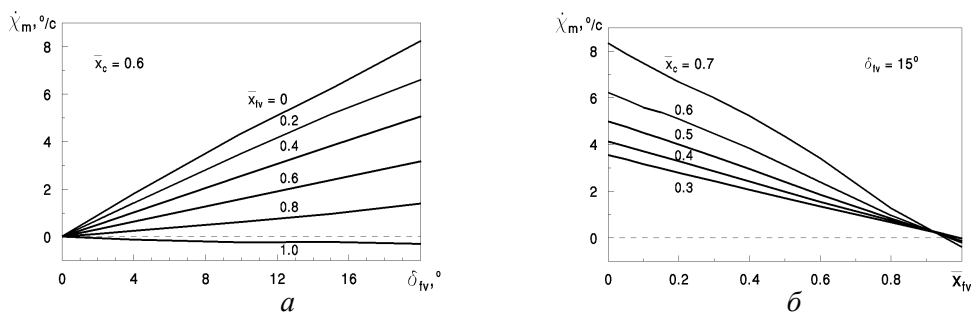


Рис. 4. Влияние угла поворота (а) и положения (б) вертикальных рулей на угловую скорость поворота СКА по курсу

На рис. 4, б приведены графики зависимости угловой скорости поворота по курсу  $\dot{\chi}_m$  от положений вертикальных рулей  $\bar{x}_{fv}$ , рассчитанной при  $\delta_{fv} = 15^\circ$  для ряда положений центра масс  $\bar{x}_c$ . Отсюда видно, что смещение центра масс в корму выгодно с точки зрения управляемости аппарата по курсу.

Интересно, что при любых значениях  $\bar{x}_c$  вблизи кормы существует «нейтральное» положение вертикальных рулей  $x_{fv}^*$ , для которого поворот рулей на любой угол  $\delta_{fv}$  не приводит к повороту СКА. При переходе через значение  $x_{fv}^*$  изменяется направление поворота СКА. Это значит, что традиционное кормовое расположение рулей для СКА является неприемлемым.

В отличие от маневрирования по курсу, возможность маневрирования СКА по глубине ограничена из-за наличия свободной поверхности и из-за повышения с глубиной гидростатического давления, что является причиной уменьшения размеров каверны. В данной работе для простоты считается, что при изменении глубины движения  $\sigma = const$ .

Расчеты показали, что для продольного движения зависимость  $\mathcal{G}_m(s)$  после короткого переходного участка также становится линейной, т.е.  $\dot{\mathcal{G}}_m = const$ . На рис. 5 показаны такие же зависимости, что на рис. 4, для случая маневрирования СКА по глубине. Как видно, графики для маневрирования по курсу и по глубине идентичны. Отличие этих случаев состоит в том, что при маневрировании по глубине в  $f$ -управление СКА определенный вклад вносит сила на наклоненном кавитаторе.

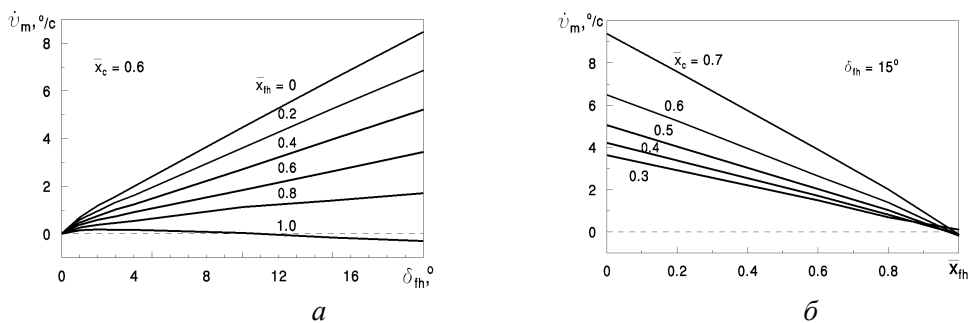


Рис. 5. Влияние угла поворота (а) и положения (б) горизонтальных рулей на угловую скорость поворота СКА по глубине

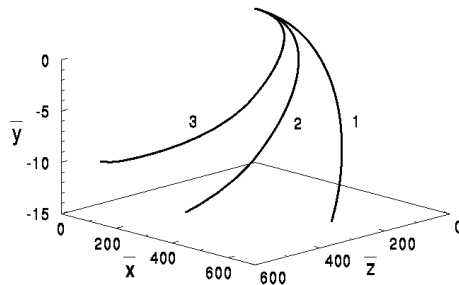


Рис. 6. Формы траекторий при пространственном маневрировании СКА

Описанный модельный подход позволяет моделировать произвольное пространственное маневрирование СКА при одновременном действии вертикальных и горизонтальных рулей. На рис. 6 показаны примеры расчета формы пространственных траекторий СКА в неподвижной системе координат  $Oxyz$ . Параметры расчета: дистанция  $S = 4$  км;  $\bar{x}_c = 0,6$ ;  $\bar{x}_{fh} = \bar{x}_{fv} = 0,4$ ;  $\delta_{fh} = -1^\circ$ ; кривая 1 –  $\delta_{fv} = -5^\circ$ ; кривая 2 –  $\delta_{fv} = -10^\circ$ ; кривая 3 –  $\delta_{fv} = -15^\circ$ . В таблице 4 приведены соответствующие значения угловой скорости поворота  $\dot{\chi}_m$ , радиуса циркуляции по курсу  $R_{ty}$  и достигнутой аппаратом глубины  $H$  в конце дистанции.

Таблица 4. Значения параметров движения СКА в конце дистанции для траекторий рис. 6

$\delta_{fv}$	$0^\circ$	$-5^\circ$	$-10^\circ$	$-15^\circ$
$\dot{\chi}_m, ^\circ/c$	0	-1,634	-3,271	-7,030
$R_{ty}, \text{ км}$	$\infty$	4,216	2,101	0,940
$H, \text{ м}$	86,03	72,29	69,30	56,23

Как видно, с увеличением угла  $\delta_{fv}$  при неизменном  $\delta_{fh}$  не только возрастает угловая скорость поворота СКА по курсу, но и уменьшается отклонение траектории по глубине. В этом взаимодействии продольной и боковой составляющих движения проявляются пространственные эффекты при маневрировании СКА с помощью гидродинамических рулей.

**3. Расчет кавитирующих рулей СКА.** На практике обычно задается форма и конфигурация рулей, а создаваемые рулями боковые силы  $F_{fv}$  и  $F_{fz}$  следует определять. Необходимо рассчитывать также гидродинамическое сопротивление рулей  $F_{fx}$ , которое при постоянной тяге движителя приводит к падению скорости СКА и, следовательно, к уменьшению размеров каверны.

В случае высокоскоростных СКА стабилизаторы и рули, проникающие из каверны в воду, будут обтекаться в режиме суперкавитации. При этом эффективность таких органов управления резко уменьшается по сравнению со случаем их сплошного обтекания. Кроме того, при изменении эффективного угла атаки рулей  $\alpha_f$  может происходить скачкообразное изменение боковой силы, сопровождающееся гистерезисным эффектом (см. [8]).

Как показано выше, наиболее эффективным является носовое расположение рулей на корпусе СКА. Однако при этом скос потока, вызываемый рулями, будет приводить к дополнительному искривлению оси каверны, вследствие чего может измениться сила глиссирования  $\vec{F}_f$ , а также унос газа из каверны  $\dot{Q}_{out}$  в случае вентилируемой каверны. Ниже описан метод расчета гидродинамических характеристик кавитирующих рулей СКА с учетом их взаимодействия с основной суперкаверной.

Как и выше, будем рассматривать пару симметричных горизонтальных рулей, создающих суммарную подъемную силу  $F_{fv}$  и момент  $M_{zy}$ , и пару симметричных вертикальных рулей, создающих суммарную боковую силу  $F_{fz}$  и момент  $M_{fy}$  (см.

рис. 3). Будем считать, что рули СКА имеют прямоугольную форму в плане и клиновидную форму в сечении. На рис. 7 показана схема вертикального гидродинамического руля, проникающего из каверны в воду. На схеме обозначено:  $S_f$ ,  $c_f$ ,  $h_f$  – соответственно площадь, хорда и размах замытой части руля;  $\beta_{fv}$  – полуугол клина в сечении руля;  $\delta_{fv}$  – угол поворота руля относительно оси  $Oy_1$ ;  $\alpha_{fv}$  – эффективный угол атаки руля. На схеме показаны оси поточной системы координат  $Ox_0y_0z_0$  и связанной системы координат  $Ox_1y_1z_1$ .

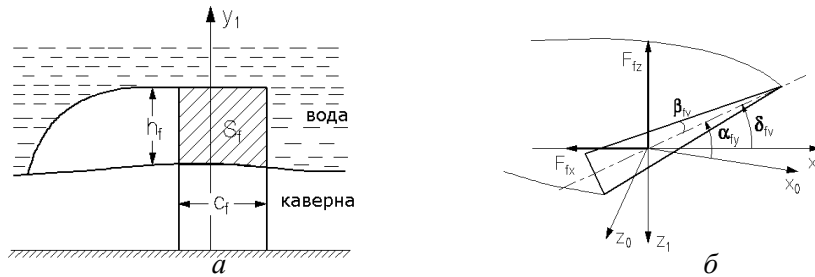


Рис. 7. Схема кавитирующего вертикального руля СКА  
*а* – вид сбоку; *б* – поперечное сечение

Заметим, что если рули имеют отличную от прямоугольной форму в плане, то при расчете сил их можно заменить эквивалентными прямоугольными рулями равной площади  $S_f$  и равного удлинения  $\lambda_f = h_f / c_f$ .

В случае нестационарной каверны площадь замытой поверхности рулей  $S_f$  и, следовательно, компоненты силы  $\vec{F}_f$  и соответствующих моментов будут функциями времени. Более того, значения боковой силы на рулях одной пары могут быть в каждый момент времени различными, что приведет к возникновению осевого момента  $M_{fx}$ .

**4. Расчет длины каверн за рулями.** Будем считать, что для каверн за рулями СКА число кавитации  $\sigma$  имеет то же значение, что для основной каверны. Как показано в [8] теоретически и экспериментально, тип кавитационного обтекания руля с клиновидным сечением зависит от угла атаки. Когда угол атаки мал  $\alpha_f < \beta_f$ , в сечении руля имеем кавитационное обтекание клина (см. рис. 8, *а*). Если  $\alpha_f > \beta_f$ , то руль обтекается в суперкавитационном режиме со срывом каверны с передней кромки (суперкавитационное обтекание пластинки, см. рис. 8, *б*). При переходе через критическое значение угла атаки  $\alpha_f \approx \beta_f$  происходит резкое изменение как боковой силы, так и сопротивления руля. На рис. 8 обозначено:  $c$  – длина хорды руля;  $l$  – длина каверны.

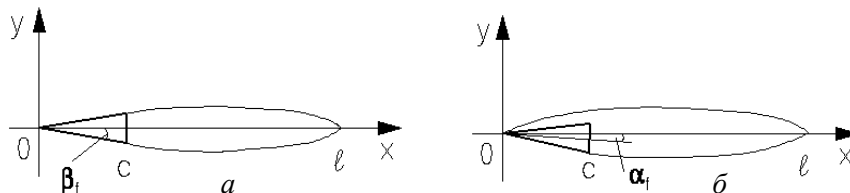


Рис. 8. Схемы кавитационного обтекания тонкого клина (*а*) и пластинки (*б*)

Из известных точных решений линейных задач для кавитирующего клина [9] и для суперкавитирующей пластинки [10] получаем соответственно:

$$\frac{l}{c} = 1 + 7 \left( \frac{\beta_f}{\sigma} \right)^2, \quad \frac{l}{c} = 1 + 4 \left( \frac{\alpha_f}{\sigma} \right)^2. \quad (6)$$

При компьютерном моделировании динамики СКА формулы (6) используются для расчета максимальной длины каверн за рулями при пересечении их границ с границей основной суперкаверны. При построении на экране компьютера форма каверн за рулями в плане аппроксимируется соответствующим квадрантом эллипса.

**5. Вычисление сил, создаваемых рулями.** Гидродинамические рули СКА представляют собой суперкавитирующие крылья малого удлинения, имеющие в сечении форму тонкого клина (см. рис. 8). На практике для определения силы сопротивления и боковых сил на рулях используются данные испытаний или базы данных, полученных путем расчета методами CFD. Однако для приближенного расчета сил на рулях СКА, учитывая высокие скорости обтекания и небольшие углы атаки, можно использовать известные методы линейной теории суперкавитирующих подводных крыльев [9–11]. Для рулей СКА, проникающих из каверны в воду, отсутствует интерференция с корпусом. Поэтому их можно приближенно считать изолированными прямоугольными крыльями малого удлинения. Коэффициенты компонент силы, действующей на рули со стороны жидкости, определяются соотношениями:

$$F_{fx} = \frac{\rho V^2}{2} S_f c_{fx}, \quad F_{fy} = \frac{\rho V^2}{2} S_f c_{fy}, \quad F_{fz} = \frac{\rho V^2}{2} S_f c_{fz}.$$

Коэффициент кавитационного сопротивления тонкого симметричного кавитирующего клина [9]

$$c_{fx} = \frac{2F_{fx}}{\rho V^2} = \frac{8\beta_f^2 l}{\pi(l-c)}. \quad (7)$$

Коэффициент боковой силы руля клиновидного сечения, обтекаемого под малым углом атаки  $\alpha_f$ , близок к коэффициенту подъемной силы некавитирующей пластинки малого удлинения [11]

$$c_{fy} = \frac{\pi}{2} \alpha_f \lambda_f. \quad (8)$$

Суммарное сопротивление, испытываемое рулем, равно сумме кавитационного сопротивления и сопротивления трения:

$$F_{fx} = \frac{\rho V^2}{2} S_f [c_{fx} + 2c_f(\text{Re}_w)], \quad \text{Re}_w = \frac{c_f V}{\nu}, \quad (9)$$

где  $c_f$  – коэффициент вязкостного сопротивления пластинки для турбулентного пограничного слоя [12];  $\text{Re}_w$  – число Рейнольдса.

Коэффициент подъемной силы и коэффициент сопротивления руля, обтекаемого под малым углом атаки  $\alpha_f$  по схеме рис. 8, б, приближенно вычисляются по формулам для суперкавитирующей пластинки малого удлинения [11]:

$$c_{fy} = \frac{\pi}{5} \alpha_f \lambda_f, \quad c_{fx} = \frac{\pi}{5} \alpha_f^2 \lambda_f. \quad (10)$$

Эффективные углы атаки горизонтальных и вертикальных рулей вычисляются соответственно по формулам (3), (4). Коэффициенты моментов боковых сил относительно центра масс аппарата, создаваемых соответственно горизонтальными и вертикальными рулями, определяются соотношениями:

$$M_{fx} = \frac{\rho V^2}{2} S_f L c_{mfx}, \quad M_{fy} = \frac{\rho V^2}{2} S_f L c_{mfy}, \quad M_{fz} = \frac{\rho V^2}{2} S_f L c_{mfz},$$

$$c_{mfz} = -c_{fy}(x_{fh} - x_c), \quad c_{mfy} = -c_{fz}(x_{fv} - x_c). \quad (11)$$

В случае, если боковые силы на рулях каждой пары различны, возникает осевой момент  $M_{fx}$ , коэффициент которого равен

$$c_{mfx} = c_{fz2}z_{fv2} - c_{fz1}z_{fv1} + c_{fy2}z_{fh2} - c_{fy1}z_{fh1}, \quad (12)$$

где  $z_{fh1}$ ,  $z_{fh2}$ ,  $z_{fv1}$ ,  $z_{fv2}$  – расстояния от точек приложения сил соответственно  $F_{fy1}$ ,  $F_{fy2}$ ,  $F_{fz1}$ ,  $F_{fz2}$  до оси аппарата. Здесь индексы 1 и 2 относятся соответственно к нижнему и верхнему вертикальным рулям, а также к левому и правому горизонтальным рулям.

**6. Расчет искривления оси каверны, вызванного рулями.** Поперечные силы  $F_{fy}$  и  $F_{fz}$  на горизонтальных и вертикальных рулях приводят к деформации оси каверны. Согласно теореме импульсов [1], импульс поперечной силы на рулях должен соответствовать импульсу в следе, который имеет ту же величину, но противоположное направление. Это значит, что если сила на горизонтальном руле  $F_{fy}$  направлена вверх, то ось каверны должна отклоняться вниз и наоборот. Аналогично этому, если сила на вертикальном руле  $F_{fz}$  направлена вправо, то ось каверны должна отклониться влево и наоборот.

Применение теоремы импульсов позволяет оценить искривление оси каверны, вызванное силой, создаваемой горизонтальными и вертикальными рулями:

$$h_{fy}(x) = -\frac{F_{fy}(x - x_{fh})}{\pi \rho V^2 R_c^2}, \quad x > x_{fh}, \quad (13)$$

$$h_{fz}(x) = -\frac{F_{fz}(x - x_{fv})}{\pi \rho V^2 R_c^2}, \quad x > x_{fv}, \quad (14)$$

где  $x_{fh}$  и  $x_{fv}$  – расстояния от кавитатора до точки приложения боковой силы, создаваемой горизонтальными и вертикальными рулями.

**7. Примеры компьютерного моделирования.** Таким образом, на каждом шаге расчета действия гидродинамических рулей СКА вычисления производятся в следующем порядке:

- 1) рассчитывается удлинения  $\lambda_f$  и смоченные площади  $S_f$  каждого из рулей;
- 2) рассчитывается эффективные углы атаки каждого из рулей  $\alpha_f$  по формулам (3) или (4);
- 3) определяется тип кавитационного обтекания каждого из рулей (СК-клин или СК-пластинка);
- 4) вычисляются коэффициенты сил для каждого из рулей по формулам (7), (8) или (10);

4) вычисляются коэффициенты моментов относительно центра масс аппарата для каждого из рулей по формулам (11) и (12);

5) рассчитывается искривление оси каверны, вызванное рулями, по формулам (13) и (14).

Описанный алгоритм использован нами при компьютерном моделировании пространственной динамики СКА. При расчетах использовалась та же модель СКА и те же начальные параметры движения, что и выше. Все рули имеют одинаковые размеры 100x150 мм. Вертикальные и горизонтальные рули установлены на расстоянии соответственно 2.3 м и 3.3 м от кавитатора.

На рис. 9, *a* показано, как изменяются со временем смоченная площадь  $S_{fv}$  и эффективный угол атаки  $\alpha_{fv}$  одного из вертикальных рулей, а также длина каверны за рулем  $l_{fv}$  при пространственном движении СКА. Параметры расчета:  $\bar{x}_c = 0.6$ ;  $\beta_{fv} = 3^\circ$ ;  $\delta_y = 0^\circ$ ;  $\delta_z = -4.389^\circ$ ;  $\delta_{fv} = 2^\circ$ ;  $\delta_{fh} = -1^\circ$ . Вертикальные участки на графике  $l_{fv}(t)$  соответствуют смене режима обтекания руля. На рис. 9, *b* для сравнения показано, как на том же временном отрезке изменяются угол тангажа  $\psi$  и угол рыскания  $\varphi$ . Все параметры на графиках безразмерны, углы даны в радианах.

Расчеты показали, что полученные выше выводы относительно маневрирования СКА путем  $f$ -управления остаются в силе. Наиболее существенное отличие состоит в учете сопротивления рулей, которое при большой скорости движения СКА может быть существенным. Если тяга движителя  $F_{pr}$  постоянна и рассчитана для сбалансированного СКА без рулей, то активизация (выдвижение) рулей приводит к уменьшению скорости аппарата и, следовательно, к уменьшению размеров каверны вплоть до кольцевого замыка хвостовой части корпуса аппарата водой. После этого аппарат будет обтекаться в режиме частичной кавитации, при этом его гидродинамическое сопротивление недопустимо возрастает.

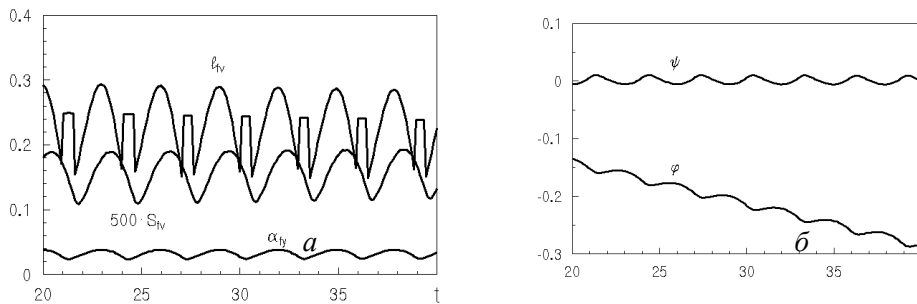


Рис.9. Изменение параметров вертикального руля (*a*) и параметров движения СКА (*b*)

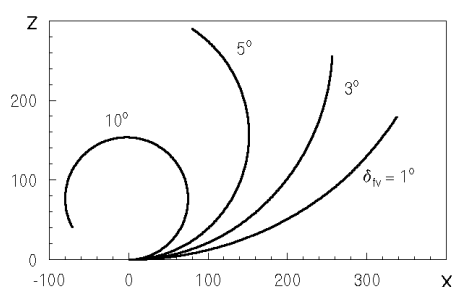
Например, для расчета рис. 9 постоянная тяга движителя, равная сопротивлению сбалансированного аппарата без рулей, составляет 21,65 КН, а суммарное сопротивление четырех рулей составляет в среднем 1,14 КН, т.е. 5% от общего сопротивления. При этом кольцевой замык хвостовой части корпуса аппарата происходит через 41 с после активизации рулей. В таблице 5 приведены промежутки времени  $T$  и пройденные аппаратом дистанции  $S$  до момента кольцевого замыка для ряда значений угла поворота вертикальных рулей  $\delta_{fv}$ .

**Таблица 5. Промежутки времени и пройденные дистанции до момента кольцевого замыва аппарата**

$\delta_{fv}$	2°	3°	4°	5°	6°
$T, c$	41,48	28,87	22,95	17,56	2,64
$S, км$	4,838	3,362	2,667	2,044	0,308

Столь резкое уменьшение параметров  $T$  и  $S$  при возрастании  $\delta_{fv}$  объясняется тем, что при этом возрастают угловая скорость поворота аппарата, погружение транца и площадь смоченного участка корпуса аппарата. Это приводит к увеличению сопротивления трения и, как следствие, к падению скорости движения и уменьшению размеров каверны. Таким образом, для того, чтобы СКА продолжал двигаться в режиме суперкавитации, необходимо компенсировать дополнительное сопротивление рулей.

На рис. 10 показаны формы траекторий при маневрировании СКА по курсу, рассчитанные для ряда значений угла поворота вертикальных рулей  $\delta_{fv}$ . Остальные параметры расчета те же, что на рис. 9, дистанция  $S = 2$  км. При этом движение СКА было стабилизировано по глубине путем автоматического  $\delta$ -управления (см. [1]). В таблице 6 приведены соответствующие значения угловой скорости поворота  $\dot{\chi}_m$  и радиуса циркуляции по курсу  $R_{ty}$  в конце дистанции.



**Рис. 10. Формы траекторий СКА при маневрировании по курсу и стабилизации движения по глубине**

**Таблица 6. Значения параметров движения СКА в конце дистанции для траекторий рис. 10**

$\delta_{fv}$	1°	3°	5°	10°
$\dot{\chi}_m, °/c$	-4,644	-5,480	-9,080	-17,847
$R_{ty}, км$	1,481	1,255	0,757	0,385

Компьютерное моделирование продемонстрировало кардинальное отличие механизма управляемости традиционных водоизмещающих судов и СКА. В первом случае для маневрирования по курсу оптимальным является кормовое расположение руля. Его отклонение вызывает момент, разворачивающий корпус судна, а воз-

---

никающая при этом на корпусе поперечная сила в свою очередь вызывает отклонение траектории движения, т.е. поворот судна. При этом угол отклонения кормового руля и угол поворота судна имеют противоположные знаки. В случае СКА, напротив, кормовое положение рулей является неэффективным. Отклонение траектории движения СКА вызывается поперечными силами, возникающими непосредственно на рулях. При этом знаки углов отклонения руля и поворота СКА совпадают независимо от того, располагаются рули впереди или позади центра масс аппарата.

**Заключение.** Проведенные численные исследования динамики СКА, управляемых с помощью гидродинамических рулей ( $f$ -управление), позволяют сделать следующие выводы.

1. Наиболее эффективным при маневрировании СКА как по курсу, так и по глубине является носовое расположение гидродинамических рулей («схема утка»). При смещении рулей в корму их эффективность падает. Традиционное кормовое расположение рулей является неприемлемым для целей маневрирования СКА.

2. Смещение центра масс СКА в корму приводит к улучшению его управляемости с помощью гидродинамических рулей как по курсу, так и по глубине.

3. Маневрирование СКА путем  $f$ -управления сопряжено с существенным возрастанием сопротивления движению и, следовательно, с потерей скорости движения при постоянной тяге движителя. Поэтому для уменьшения энергетических потерь рули целесообразно выдвигать только на короткое время, необходимое для маневра.

4. Из-за сложного колебательного поведения нестационарной каверны при движении СКА характер обтекания рулей может быть неопределенным. Это значит, что зависимости  $F_{fy}(\delta_{fh})$  и  $F_{fz}(\delta_{fv})$  могут быть неоднозначными и немонотонными. Ввиду неопределенного характера обтекания рулей при маневрировании СКА на практике следует применять систему управления рулями (актуатор) с обратной связью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семененко В.Н., Семененко Т.Н. Устойчивость и стабилизация продольного движения суперкавитирующих аппаратов // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». – 2009, Вип. 15. – С.134-143.
  2. Савченко Ю.Н., Семененко В.Н. О маневренности по курсу подводных суперкавитирующих аппаратов // Прикладна гідромеханіка. – 2011. – Т. 13 – № 1. – С.43-50.
  3. Semenenko V.N., Naumova Ye.I. Study of the supercavitating body dynamics. In book: Supercavitation: Advances and Perspectives. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, 2012, pp. 147-176.
  4. Семененко В.Н. Расчет пространственного движения суперкавитирующих аппаратов // Прикладна гідромеханіка. – 2012. – Т. 14. – № 4. – С.59-64.
  5. Логвинович Г.В. Гидродинамика течений со свободными границами. – К.: Наукова думка, 1969. – 208 с.
  6. Логвинович Г.В., Серебряков В.В. О методах расчета формы тонких осесимметричных каверн // Гидромеханіка – 1975. – Вып. 32. – С. 47-54.
  7. Dzielski J., and Kurdila A. A benchmark control problem for supercavitating vehicles and an initial investigation of solution. Journal of Vibration and Control, 2003, 19(7), pp. 791-804.
  8. Савченко Ю.Н., Семененко В.Н. Розривні гідродинамічні характеристики органів керування, що обтікаються з відривом струменів // Наукові вісті НТТУ «КП». – 2002. – № 2. – С. 82-87.
  9. Tulin M.P. Steady two-dimensional cavity flows about slender bodies, David Taylor Model Basin Report 834, 1953.
  10. Сфремов І.І. Лінеаризована теорія кавітаційного обтікання. – К.: Наукова думка, 1974. – 156 с.
  11. Hsu C.C. Some remarks on the progress of cavity flow studies. ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 97, 1975, pp. 439-452.
  12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 711 с.
-

Віктор Тюнін

**ДО ПИТАННЯ ГРАФІЧНОГО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ ПОБУДОВИ  
НАЙКОРОТШОЇ ВІДСТАНІ  $AB$ , РОЗТАШОВАНОЇ НА БІЧНІЙ ПОВЕРХНІ  
ПРАВИЛЬНОГО КОНУСА, ЯКЩО ПРЯМА  $AB$  ЗАДАНА ПРОЕКЦІЯМИ  
 $A_1B_1$  ТА  $A_2B_2$**

*Коротшу пряму  $AB$  на кривій поверхні правильного конуса можна провести тільки на розгортці цієї поверхні. Рішення задачі починають з побудови відсутніх проєкцій точок  $A_2$  і  $B_1$ , які задані графічно. Точки  $A$  і  $B$  є кінцевими на відрізку  $AB$ . На розгортку ці точки наносять на створюючи:  $A \equiv A^0$  на  $S^0I^0$ ,  $B \equiv B^0$  на  $S^05^0$ . Пряма  $AB \equiv A^0B^0$  і є коротшою. Потім на характерних утворюючих розгортки будують точки  $c^0, d^0, e^0$  та їхні проєкції  $c_1, d_1, e_1$  і  $c_2, d_2, e_2$  та їх з'єднують за допомогою лекала на однойменних площинах проєкцій і отримують плавні криві лінії. Таким чином, найкоротша пряма  $AB$  на проєкціях поверхні конуса зображується кривою лекальною лінією.*

*Кратчайшую прямую  $AB$  на кривой поверхности правильного конуса можно провести только на развертке этой поверхности. Решение задачи начинают с построения недостающих проекций точек  $A_2$  и  $B_1$ , которые заданы графически. Точки  $A$  и  $B$  являются концевыми на отрезке  $AB$ . На развертку эти точки наносят на образующие:  $A \equiv A^0$  на  $S^0I^0$ ,  $B \equiv B^0$  на  $S^05^0$ . Прямая  $AB \equiv A^0B^0$  и есть кратчайшая. Затем на характерных образующих развертки строят точки  $c^0, d^0, e^0$  и их проекции  $c_1, d_1, e_1$  и  $c_2, d_2, e_2$  и их соединяют с помощью лекала на одноименных плоскостях проекций и получают плавные кривые линии. Таким образом, кратчайшая прямая  $AB$  на проекциях поверхности конуса изображается кривыми лекальными линиями.*

*Shortest line  $AB$  on the curved surface of the cone proper, but one can be made only on the unfolding of the surface. Solution of the problem begins with the construction of missing projections of the points  $A_2$  and  $B_1$ , which are defined graphically. Points  $A$  and  $B$  are terminal on the segment  $AB$ . To scan these points are applied to:  $A \equiv A^0$  to  $S^0I^0$ , in  $\equiv B^0$  at  $S^05^0$ . Direct  $AB \equiv A^0B^0$  is shortest. Then to build a distinctive image rozvertki of  $c^0, d^0, e^0$  and their projections  $c_1, d_1, e_1$  and  $c_2, d_2, e_2$ . Then connect them with the help of similar patterns in the plane of projection and are smooth curves. Thus, the shortest line  $AB$  on the projections of the surface of the cone of curves depicted lekalnymi lines.*

**Ключові слова:** криві поверхні другого порядку, лінії взаємного перетину двох кривих поверхонь, фігури перерізу, розгортка конуса.

© Тюнін В. Д., 2013

**Завдання:** Побудувати коротшу пряму лінію АВ на кривій бічній поверхні правильного конуса, якщо пряма задана проекціями  $A_1$  та  $B_2$ . Побудувати проєкції прямої  $A_1B_1$  та  $A_2B_2$ .

**План побудов:**

1. Через вершину конуса та  $A_1$  і  $B_2$  провести твірну конуса до перетину з основою в точках  $1_1$  і  $5_2$ .

2. За проєкційною відповідністю побудувати точки  $A_2$  і  $B_1$ .

3. В основу конуса вписати багатокутник на  $\Pi_1$   $1_1, 2_1, 3_1, 4_1, 5_1, 6_1, 7_1, 8_1$ , а потім і на проєкції  $\Pi_2$ .

4. У вільному місці аркуша провести лінію  $1^0S^0$ , що дорівнює  $2^0S^0$  крайній НВ твірної конуса.

5. Радіусом рівним  $1^0S^0$ , зробити дугу кола з кутом  $\varphi = 360^0 \frac{R}{L}$ .

6. Відкласти на цей дузі сторони багатокутника узяті з  $\Pi$  і побудувати  $1^0, 2^0, 3^0, 4^0, 5^0, 6^0, 7^0, 8^0, 1^0$  і  $S^0$ .

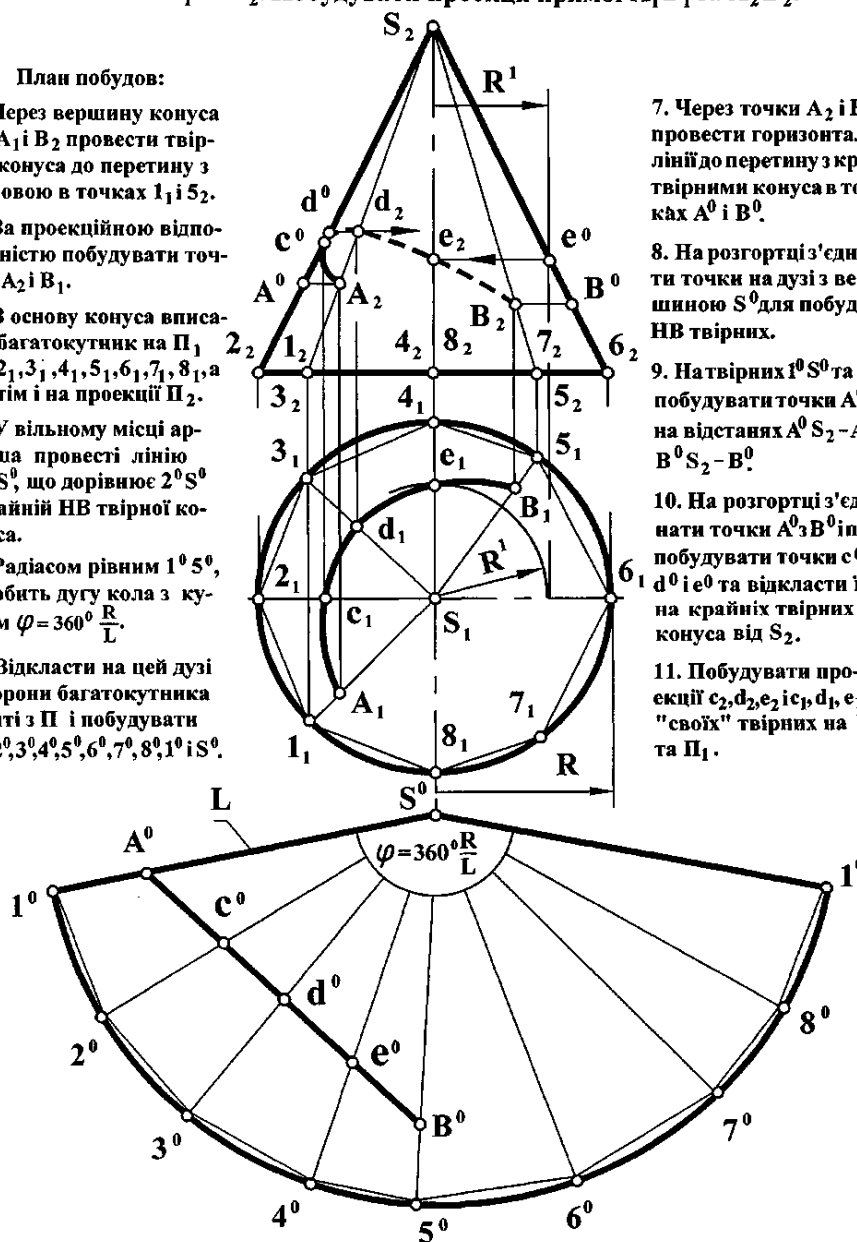
7. Через точки  $A_2$  і  $B_2$  провести горизонтальні до перетину з крайтвірними конуса в точках  $A^0$  і  $B^0$ .

8. На розгортці з'єднати точки на дузі з вершиною  $S^0$  для побудови НВ твірних.

9. На твірних  $1^0S^0$  та  $5^0S^0$  побудувати точки  $A^0$  і  $B^0$  на відстанях  $A^0S^0 - A^0$  і  $B^0S^0 - B^0$ .

10. На розгортці з'єднати точки  $A^0$  і  $B^0$  і побудувати точки  $c^0, d^0$  і  $e^0$  та відкласти їх на крайніх твірних конуса від  $S_2$ .

11. Побудувати проєкції  $c_2, d_2, e_2$  і  $c_1, d_1, e_1$  на "своїх" твірних на  $\Pi_2$  та  $\Pi_1$ .



**Рисунок 1** Побудова коротшої прямої лінії АВ на кривій бічній поверхні правильного конуса

У завданні, що на **рис. 1**, надано правильний конус і на його бічній поверхні *графічно* задана горизонтальна проєкція  $A_1$  точки А і фронтальна проєкція  $B_2$  точки В прямої лінії АВ. Треба побудувати *коротшу* пряму лінію АВ на зовнішній кривій бічній поверхні конуса та зобразити її на площинах  $\Pi_1$  і  $\Pi_2$  у вигляді її проєкцій  $A_1B_1$  та  $A_2B_2$ .

Таку лінію можна провести тільки на плоскій бічній поверхні конуса – на розгортці. Спочатку треба побудувати відсутні проекції  $A_2$  і  $B_1$  кінців шуканої прямої. Для цього через проекції вершини конуса та задані проекції  $A_1$  і  $B_2$  треба провести твірні до перетину з основою конуса в точках  $1_1$  та  $5_2$ . За проекційною відповідністю будують точки  $1_2$  і  $5_1$  та проекції твірних  $S_11_1$ ,  $S_13_1$ ,  $S_15_1$ ,  $S_17_1$  та  $S_21_2$  і  $S_25_2$ , а також  $A_2$  на перетині лінії зв'язку з твірної  $1_2S_2$  і  $B_1$  на перетині лінії зв'язку з твірної  $S_15_1$ .

Далі, в основу конуса на площині  $\Pi_1$  вписують багатокутник (в даному випадку восьмикутник) і послідовно з'єднують між собою точки вершин багатокутника з проекцією вершини  $S_1$ . Тим самим будують вид зверху восьмигранної піраміди, що вписана в конус. Ребра піраміди є твірними, що лежать одночасно на поверхні конуса і прив'язують до поверхні розгортки шукану пряму  $AB$ .

Потім у вільному місці аркуша проводять крайню ліву натуральну твірну  $L \equiv 1^0S^0$  і тим самим радіусом з точки  $S^0$  проводять дугу, довжину якої обмежують кутом  $\varphi$ , розрахованому за формулою  $\varphi = 360^0R/L$ . Далі на цій дузі відкладають послідовно сторони багатокутника, розміри яких беруть з площини  $\Pi_1$ . Кінці сторін позначають  $1^0, 2^0, 3^0, 4^0, 5^0, 6^0, 7^0, 8^0, 1^0$ . Точки  $1^0, 2^0, 3^0, 4^0, 5^0$  з'єднують з  $S^0$ .

Далі на твірній  $1^0S^0$  відкладають точку  $A^0$ , довжину від кінців твірної вимірюють на крайній лівій твірній конуса на  $\Pi_2$  – відрізок  $2_2A^0$ , а на розгортці це –  $1^0A^0$ . На твірній  $4^0S^0$  відкладають точку  $B^0$ , довжину від кінців твірної вимірюють на крайній правій твірній конуса на  $\Pi_2$  – відрізок  $6_2B^0$ , а на розгортці це –  $5^0B^0$ . Після з'єднання між собою прямої точок  $A^0$  і  $B^0$  шукана коротша пряма є побудованою. Вона перетинає твірну  $2^0S^0$  в точці  $c^0$ , твірну  $3^0S^0$  в –  $d^0$ , твірну  $4^0S^0$  в –  $e^0$ .

Для побудови точки  $e(e_1, e_2)$  відрізок  $4^0e^0$  з розгортки переносять на натуральну твірну  $6_2S_2$  і отримують точку  $e^0$ , з якої проводять пряму  $\perp Ox$  до перетину з твірною  $4_2S^0$  і отримують проекцію  $e_2$ . Проекцію  $e_1$  будують за допомогою окружності радіуса  $R^1$ , яку створює площина рівня  $\Phi_2$ , що проведена через  $e^0$ , її дуга перетинає вертикальну лінію зв'язку в точці  $e_1$ . Точку  $d(d_2, d_1)$  будують перенесенням натурального відрізка  $3^0d^0$  з розгортки на ліву твірну  $2_2S_2$  і проведення з точки  $d^0$  лінії  $\perp Ox$  до перетину в точці  $d_2$  з твірною  $3_2S_2$ . На площині  $\Pi_1$  проекція  $d_1$  будується шляхом перетину вертикальної лінії зв'язку, що прямує з точки  $d_2$  до перетину з твірною  $S_13_1$ . Точку  $c(c_1, c_2)$  будують спочатку переносом відрізка  $c^02^0$  з розгортки на ліву твірну  $2_2S_2$  і там отримують проекцію  $c^0 = c_2$ . А потім – проекцію  $c_1$  за допомогою лінії зв'язку, що прямує з точки  $c_2$  до перетину з твірної  $S_12_1$ . Проекції цих точок з'єднують плавною кривою за допомогою лекала. Проекція  $A_1B_1$  коротшої прямої зображується суцільною товстою кривою. Проекція  $A_2B_2$  зображується від точки  $A_2$  до  $c^2 \equiv c^0$  – *видимою* суцільною товстою кривою, тому що розташована на видимій бічній поверхні конуса – до діаметра основи  $2_1b_1$ , а від точки  $c_2$  до  $B_2$  – *невидимою* штриховою тонкою лінією – після діаметра.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Тюнін В. Д. Нарисна геометрія та інженерна графіка.: Конспект лекцій з нарисної геометрії. – К.: ДЕТУТ, 2009. – 221 с.
2. Тюнін В. Д. Методичні вказівки та завдання до практичних занять з нарисної геометрії: – К.: КУЕТТ, 2006. – 172 с.

*Юрий Водяников  
Татьяна Шелейко  
Елена Макеева*

## **ОЦЕНКА РИСКА ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЯ О СООТВЕТСТВИИ ТОРМОЗНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАГОНА НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ**

*Представлен вероятностный метод оценивания тормозной эффективности вагонов на соответствие нормативным требованиям, когда в качестве оценочной величины степени риска принимается вероятность выхода измеренных значений параметра за нормированную величину в пределах интервала рассеяния, а в качестве критерия используются квантили случайных величин с порядком  $p$ . Приведен пример оценивания результатов поездных тормозных испытаний грузового вагона.*

*Подано імовірнісний метод оцінювання гальмівної ефективності вагонів на відповідність нормативним вимогам, коли як оціночну величину ступеня ризику приймається імовірність виходу зміни вимірних значень параметра за нормовану величину в межах інтервалу розсіяння, а як критерій використовуються квантили випадкових величин з порядком  $p$ . Наведено приклад оцінювання результатів поїзних гальмівних випробувань вантажного вагона.*

*Proposed probabilistic approach of freight cars braking efficiency conformance evaluation to the normative requirements, when estimated value of the risk level is expressed by a probability of parameter measured values overranging specified value in the interval of concentration, and random values with order  $p$  quantiles are used as criterion. An example of brake tests results estimation for freight cars was given.*

**Ключевые слова:** оценка риска, квантили распределения, тормозная эффективность, нормативные требования

**Постановка проблемы.** Для создания рациональной, долговечной и надежной конструкции вагона, наряду с расчетно-теоретическими исследованиями, предусматриваются также и экспериментальные исследования, которые, как правило, являются завершающим этапом в создании нового типа вагона. Экспериментальные исследования (испытания) проводятся также и при модернизации существующих в эксплуатации вагонов, а также для дальнейшего развития и совершенствования теории их проектирования, изучения особенностей поведения в эксплуатации тех или иных узлов и деталей вагонов при высоких скоростях движения и осевых нагрузках.

© Водяников Ю. Я., Шелейко Т. В., Макеева Е. Г., 2013

---

Все большее распространение получают статистические методы, основанные на понятии неопределенности измерений [1, 2]. Метод неопределенности измерений базируется на эффективной системе менеджмента измерений, который устанавливает, какие средства измерений и измерительные процессы подходят в том или ином случае, для достижения целей по качеству продукции и управлению рисками получения неправильных результатов измерений. Неопределенность измерений (или просто неопределенность) – параметр, который характеризует рассеяние измеряемых значений при принятой доверительной вероятности.

Целью системы менеджмента измерений является управление рисками, связанными с неправильными результатами измерений и измерительными процессами, которые могут нанести ущерб качеству производимой организацией продукцией.

Тормозная система вагона относится к одной из важнейших составных частей вагона, основной задачей при проектировании является выбор таких ее параметров, которые удовлетворяют действующим требованиям к безопасности, тормозной эффективности и требованиям международных стандартов.

В этой связи, особую актуальность приобретают вопросы оценки и анализа результатов экспериментальных исследований тормозной системы вагона и принятия решения о соответствии (несоответствии) ее нормативным требованиям с учетом неопределенности измерений (интервала рассеяния измеряемого параметра). Принятие решения сопровождается определенной степенью риска, обусловленного случайным характером измеряемой величины, и важное значение при этом имеют вопросы оценки степени риска принимаемых решений.

**Цель статьи.** Предложить метод оценивания тормозной эффективности вагонов на соответствие нормативным требованиям, где в качестве оценочной величины степени риска при принятии решения принять вероятность выхода измеренных значений параметра за нормированные пределы.

**Изложение основного материала.** Критерием оценки тормозной эффективности вагонов является расчетный коэффициент силы нажатия тормозных колодок (далее – тормозной коэффициент), величина которого должна составлять для пассажирских вагонов при скорости 160 км/ч с композиционными колодками при электропневматическом торможении не менее 0,28, при пневматическом – не менее 0,3, для грузовых вагонов – 0,14 и 0,22 соответственно в груженом и порожнем состояниях [3]. Кроме того, для допустимых максимальных скоростей движения поездов установлено единое наименьшее тормозное нажатие в пересчете на чугунные колодки на каждые 100 тс веса поезда [4].

Длина тормозного пути пассажирских и грузовых поездов на нормированных спусках (6 ‰ и 10 ‰) регламентируется инструкцией [5].

Величина тормозного коэффициента имеет ограничения как «снизу», так и «сверху». Ограничение «снизу» обусловлено минимально допустимым значением, исходя из требуемой тормозной эффективности, а «сверху» – недопущением юза (заклинивания колесной пары) при торможении.

Первое ограничение записывается в виде нестрогого неравенства:

$$\delta \geq |\delta|, \quad (1)$$

где  $|\delta|$  – нормативное минимальное значение тормозного коэффициента.

Верхняя граница тормозного коэффициента определяется по допустимому коэффициенту сцепления колеса с рельсом  $|\psi_k|$  по формуле [3, 6, 7]:

$$|\psi_{\kappa}| = \psi(q_0) \cdot \psi(V), \quad (2)$$

где  $\psi(q_0)$  – коэффициент, зависящий от осевой нагрузки на колесную пару:

$$\psi(q_0) = 0,17 - 0,0015 \cdot (q_0 - 5), \quad (3)$$

$\psi(V)$  – коэффициент, зависящий от скорости движения, равный [6, 7]:

– для вагонов на тележках грузового типа –

$$\psi(V) = \frac{V + 81}{2,4 \cdot V + 81}; \quad (4)$$

– для вагонов на тележках пассажирского типа –

$$\psi(V) = \frac{V + 576}{4 \cdot V + 576}, \quad (5)$$

где  $q_0$  – нагрузка на колесную пару (осевая нагрузка) вагона, тс;

$V$  – скорость, км/ч.

Условием недопущения юза является [1, 6, 7]:

$$\delta \cdot \varphi_{mp} \leq |\psi_{\kappa}| \quad (6)$$

или с учетом рекомендуемого запаса по юзу [1] –

$$\delta \leq 0,85 \cdot \frac{|\psi_{\kappa}|}{\varphi_{mp}}, \quad (7)$$

где  $\varphi_{mp}$  – коэффициент трения фрикционной пары тормозной системы. Для дискового тормоза является величиной постоянной и не зависит от скорости движения при торможении; для колодочного тормоза [6, 7]:

– с композиционными колодками –

$$\varphi_{mp} = 0,36 \cdot \frac{V + 150}{2 \cdot V + 150}; \quad (8)$$

– с чугунными стандартными колодками –

$$\varphi_{mp} = 0,27 \cdot \frac{V + 100}{5 \cdot V + 100}. \quad (9)$$

Применение вероятностных методов обуславливает получение интервала изменения исследуемого параметра (рис. 1) при принятой доверительной вероятности (0,95 и более). В качестве оценочной величины степени риска при принятии решения предлагается принимать вероятность выхода измеренных значений параметра за нормированную границу в пределах интервала рассеяния, а в качестве критерия использовать квантили случайных величин с порядком  $p$ . (Квантиль порядка  $p$  одномерного распределения вероятности – такое значение  $x_p$  случайной величины  $x$ , для которого вероятность попадания в интервал  $x < x_p$  не превышает  $p$ , т.е.  $P(x < x_p) \leq p$ ) [8]. Таким образом, при принятии решения о соответствии тормозной системы нормативным требованиям оценочными критериями степени риска принимаются квантили распределения для фиксированного порядка  $|p|$  (уровень значимости). Степень риска принимается равной  $|p| = 0,05$  (5 %).

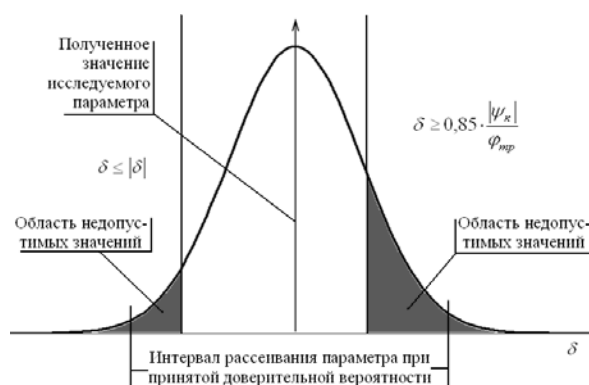


Рис. 1. Рассеяние измеряемого параметра

При принятии положительного решения о соответствии исследуемого параметра нормативному значению должны выполняться условия:

– для ограничений снизу –

$$П_{|p|} \geq |П|, \quad (10)$$

где  $|П|$  – минимальное допустимое нормативное значение параметра;

$П_{|p|}$  – квантиль распределения порядка  $|p|$ ;

– для ограничений сверху –

$$П_{1-|p|} \leq |П|, \quad (11)$$

где  $П_{1-|p|}$  – квантиль распределения порядка  $1 - |p|$ .

При определении квантиля распределения полагается, что измеренный массив значений параметра подчиняется нормальному закону распределения, для которого [8, 9]:

$$\text{функция распределения} - F(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2 \cdot \sigma^2}\right); \quad (12)$$

$$\text{плотность вероятности} - p(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2 \cdot \sigma^2}\right), \quad (13)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение;

$\bar{x}$  – среднее значение случайной величины.

В формулах (12) и (13) в качестве среднего значения принимается измеренное значение исследуемого параметра, а в качестве среднего квадратичного отклонения – одна треть половины интервала изменений (неопределенности измерений).

Базовый алгоритм расчета неопределенности измерений состоит из таких операций [2]:

составление модельного уравнения;

оценивание входных величин, внесения исправлений на известные систематические эффекты;

оценивание результатов измерений;

определение стандартной неопределенности входных величин как стандартных среднее квадратичных отклонений;

определение коэффициентов чувствительности;

вычисление вклада неопределенности каждой входной величины в неопределенность величины, которую измеряют;  
определение попарной корреляции входных величин (при необходимости);  
вычисление суммарной стандартной неопределенности измеряемой величины;  
вычисление коэффициента покрытия;  
вычисления расширенной неопределенности величины – интервала результата измерения, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые достаточно обоснованно могли бы быть приписаны измеряемой величине.

Суммарная стандартная неопределенность тормозного коэффициента определяется по формуле [10]:

$$u_{\delta}(V_0) = \sqrt{\left(d(V_0) \cdot c(V_0) \cdot S(V_0)^{d-1} \cdot u_s\right)^2 + u_{\Delta_{cd}}^2}, \quad (14)$$

где  $c$  и  $d$  – соответственно масштабный множитель и показатель степени функции выравнивания экспериментальных данных (значений тормозных путей) методом наименьших квадратов, которая имеет вид:

$$\delta(V_0) = c(V_0) \cdot S(V_0)^{d(V_0)}, \quad (15)$$

$V_0$  – скорость в начале торможения, км/ч;

$u_s$  – суммарная стандартная неопределенность измерения тормозного пути;

$u_{\Delta_{cd}}$  – стандартная неопределенность тормозного коэффициента, обусловленная определением коэффициентов  $c$  и  $d$ .

Расширенная неопределенность определяется по формуле [1, 2, 10]:

$$U_{\delta} = k \cdot u_{\delta}, \quad (16)$$

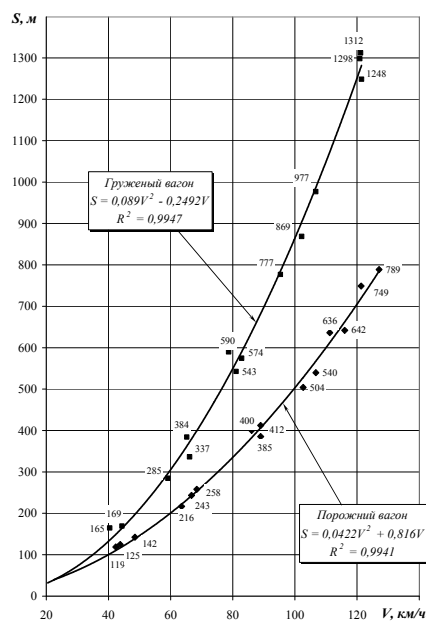
где  $k$  – коэффициент охвата, определяемый как коэффициент из распределения Стьюдента для доверительной вероятности 0,95 и эффективного числа степеней свободы  $\nu_{eff}$ , определяемого по формуле Велча-Сатерсвейта:  $\nu_{eff} = \infty$ ,  $k(\infty) = 1,96$ .

Для иллюстрации предложенной методики рассматриваются результаты ходовых тормозных испытаний грузового вагона в груженом и порожнем состояниях (рис. 2).

Рассчитанные значения неопределенности измерений представлены в табл. 1 и 2, а предельное значение тормозного коэффициента по недопущению юза – в табл. 3.

**Таблица 1. Неопределенность измерений тормозного коэффициента вагона в груженом состоянии**

$V_0$ , км/ч	Тормозной коэффициент				
	$\delta$ при $P = 0,95$	$\delta_{\min}$	$\bar{\delta}$	$\delta_{\max}$	$\sigma$
40	0,1616±0,0262	0,1354	0,1616	0,1879	0,00874
50	0,1554±0,0151	0,1403	0,1554	0,1705	0,00503
60	0,1523±0,0098	0,1425	0,1523	0,1622	0,00328
70	0,1510±0,0069	0,1441	0,1510	0,1580	0,00231
80	0,1508±0,0051	0,1457	0,1508	0,1560	0,00171
90	0,1509±0,0040	0,1469	0,1509	0,1549	0,00133
100	0,1511±0,0032	0,1479	0,1511	0,1543	0,00106
110	0,1515±0,0026	0,1489	0,1515	0,1541	0,00087
120	0,1520±0,0022	0,1499	0,1520	0,1542	0,00072



**Рис. 2. Фактические значения тормозных путей грузового вагона, измеренные в процессе ходовых тормозных испытаний**

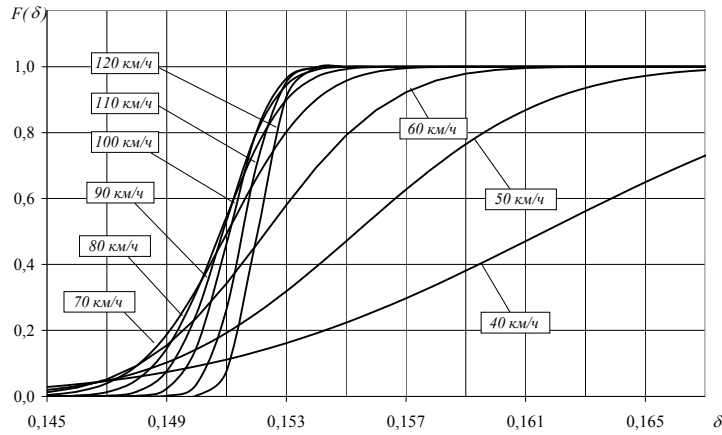
**Таблица 2. Неопределенность измерений тормозного коэффициента для вагона в порожнем состоянии**

$V_0$ , км/ч	Тормозной коэффициент				
	$\delta$ при $P = 0,95$	$\delta_{\min}$	$\bar{\delta}$	$\delta_{\max}$	$\sigma$
40	0,3681±0,0579	0,3102	0,3681	0,4260	0,01930
50	0,3643±0,0367	0,3276	0,3643	0,4010	0,01222
60	0,3643±0,0256	0,3387	0,3643	0,3899	0,00853
70	0,3654±0,0189	0,3465	0,3654	0,3843	0,00631
80	0,3673±0,0146	0,3527	0,3673	0,3819	0,00487
90	0,3698±0,0117	0,3581	0,3698	0,3814	0,00389
100	0,3724±0,0096	0,3628	0,3724	0,3820	0,00319
110	0,3752±0,0080	0,3672	0,3752	0,3832	0,00267
120	0,3781±0,0068	0,3713	0,3781	0,3850	0,00227

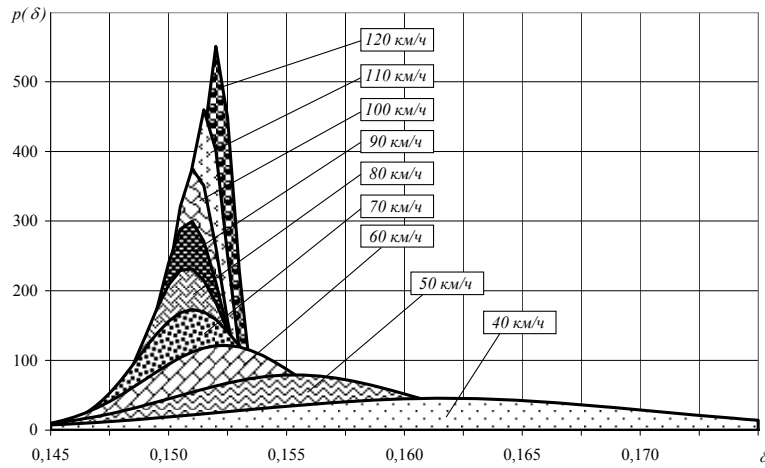
**Таблица 3. Предельное значение тормозного коэффициента при отсутствии юза**

$V_0$ , км/ч	$\varphi_{mp}$	$\psi(q_0)$	$\psi(V)$	$ \delta  = 0,85 \cdot \frac{\psi_{\kappa}}{\varphi_{mp}}$
40	0,2974	0,1685	0,83696	0,403
50	0,2880	0,1685	0,80670	0,401
60	0,2800	0,1685	0,77941	0,399
70	0,2731	0,1685	0,75467	0,396
80	0,2671	0,1685	0,73214	0,393
90	0,2618	0,1685	0,71154	0,389
100	0,2571	0,1685	0,69262	0,386
110	0,2530	0,1685	0,67520	0,382
120	0,2492	0,1685	0,65909	0,379

Функции и плотности распределения тормозных коэффициентов представлены на рис. 3-6.

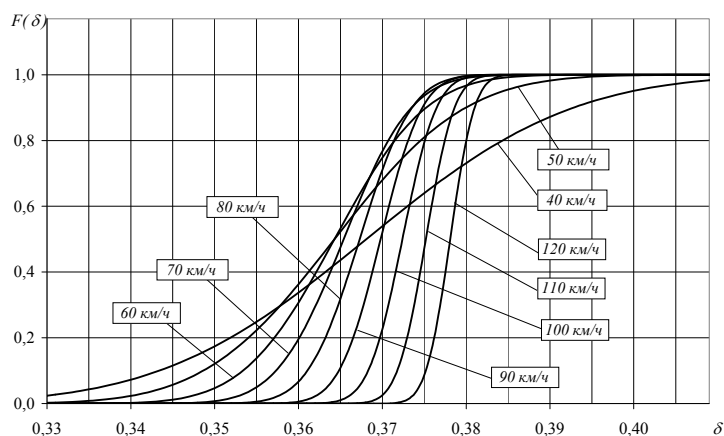


**Рис. 3. Функция распределения тормозного коэффициента грузового вагона в груженом состоянии**

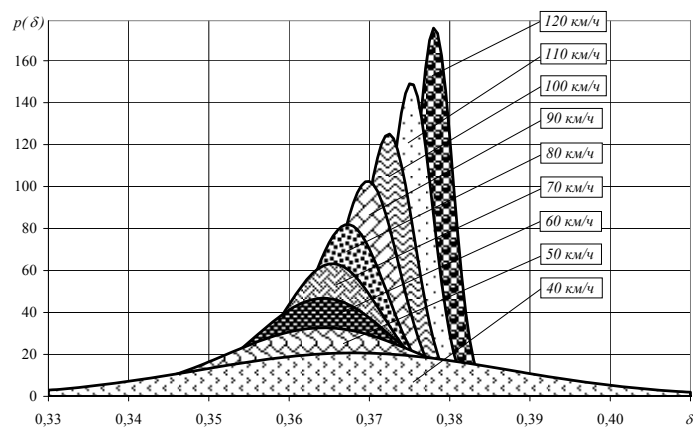


**Рис. 4. Плотность распределения тормозного коэффициента грузового вагона в груженом состоянии**

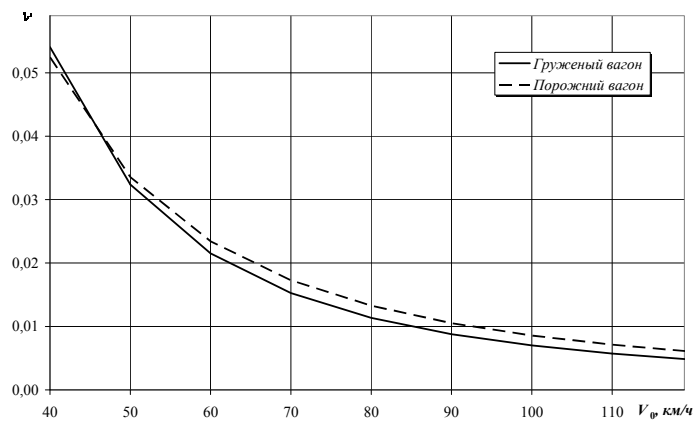
Анализ плотности распределения свидетельствует, что коэффициент вариации значений тормозного коэффициента уменьшается с ростом скорости (рис. 7).



**Рис. 5. Функция распределения тормозного коэффициента грузового вагона в порожнем состоянии**



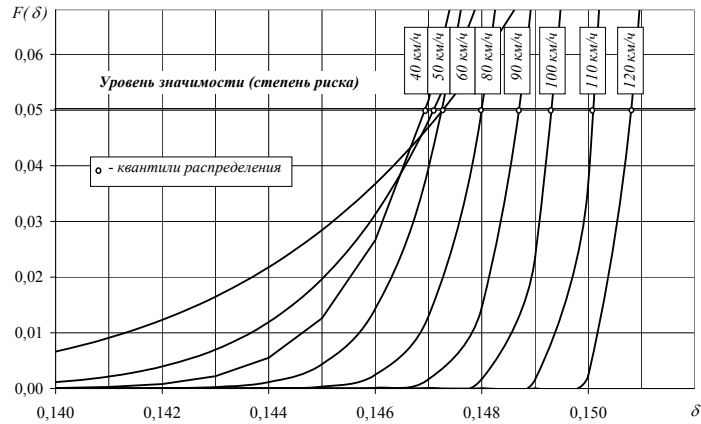
**Рис. 6. Плотность распределения тормозного коэффициента грузового вагона в порожнем состоянии**



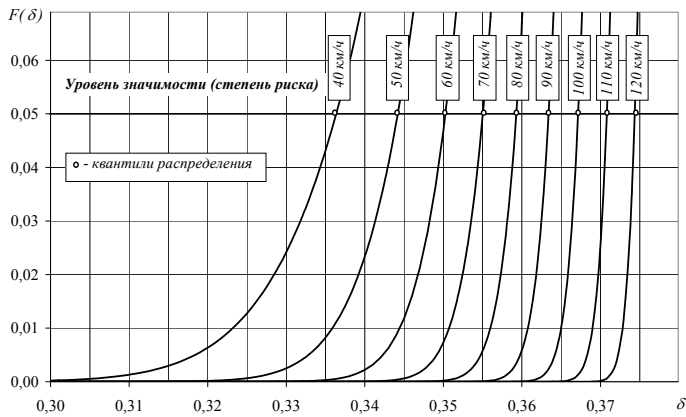
**Рис. 7. Коэффициент вариации тормозного коэффициента**

Квантили распределения довольно легко определяются с применением программного пакета «Excel» и использованием функции НОРМОБР, которая возвра-

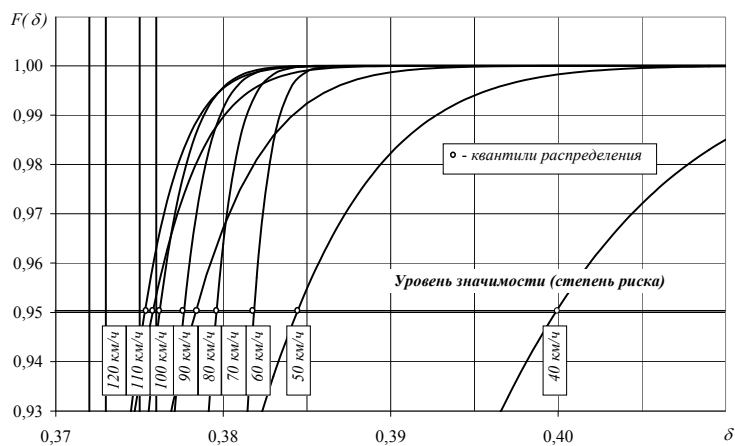
щает квантиль нормального распределения для указанной доверительной вероятности (рис. 8-10).



**Рис. 8. Квантили распределения тормозного коэффициента грузового вагона в груженом состоянии (проверка эффективности)**



**Рис. 9. Квантили распределения тормозного коэффициента грузового вагона в порожнем состоянии (проверка эффективности)**



**Рис. 10. Квантили распределения тормозного коэффициента грузового вагона в порожнем состоянии (проверка на возможность юза)**

Результаты исследования, приведенные в таблицах 4 и 5, показывают, что тормозная эффективность (тормозной коэффициент) соответствует нормативным требованиям, однако для скорости 120 км/ч условие на отсутствие юза не выполняется (табл. 6).

**Таблица 4. Результаты исследования тормозной эффективности грузового вагона в груженом состоянии**

$V_0$ , км/ч	$ \delta $	Квантиль $\delta$	Проверка соответствия	Решение
40	0,14	0,1473	0,1473>0,14	Соответствует
50	0,14	0,1471	0,1471>0,14	Соответствует
60	0,14	0,1469	0,1469>0,14	Соответствует
70	0,14	0,1473	0,1473>0,14	Соответствует
80	0,14	0,1480	0,1480>0,14	Соответствует
90	0,14	0,1487	0,1487>0,14	Соответствует
100	0,14	0,1494	0,1494>0,14	Соответствует
110	0,14	0,1501	0,1501>0,14	Соответствует
120	0,14	0,1508	0,1508>0,14	Соответствует

**Таблица 5. Результаты исследования тормозной эффективности грузового вагона в порожнем состоянии**

$V_0$ , км/ч	$ \delta $	Квантиль $\delta$	Проверка соответствия	Решение
40	0,22	0,336386708	0,3364>0,22	Соответствует
50	0,22	0,344206819	0,3442>0,22	Соответствует
60	0,22	0,350310429	0,3503>0,22	Соответствует
70	0,22	0,355026566	0,3550>0,22	Соответствует
80	0,22	0,359263363	0,3593>0,22	Соответствует
90	0,22	0,363374985	0,3634>0,22	Соответствует
100	0,22	0,36716825	0,3672>0,22	Соответствует
110	0,22	0,370836337	0,3708>0,22	Соответствует
120	0,22	0,374400527	0,3744>0,22	Соответствует

**Таблица 6. Результаты проверки на безюзное торможение порожнего вагона**

$V_0$ , км/ч	$ \delta $	Квантиль $\delta$	Проверка соответствия	Решение
40	0,403	0,399885467	0,3999<0,403	Соответствует
50	0,401	0,384402088	0,3844<0,401	Соответствует
60	0,399	0,378381154	0,3784<0,399	Соответствует
70	0,396	0,375787377	0,3758<0,396	Соответствует
80	0,393	0,375278746	0,3753<0,393	Соответствует
90	0,389	0,376171662	0,3762<0,389	Соответствует
100	0,386	0,377662478	0,3777<0,386	Соответствует
110	0,382	0,379617383	0,3796<0,382	Соответствует
120	0,379	0,381876846	0,3819>0,379	Не соответствует

---

**Выводы.** Использование вероятностных методов для принятия решения о соответствии тормозной системы вагонов нормативным требованиям позволяет получить уточненную оценку ее характеристик, а также оценить степень риска при принятии решения.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First Edition. – ISO, Switzerland, 1993. – 101 p.
- 2 ДСТУ-Н РМГ 43-2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001, ИДТ). – [Чинний від 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 27 с. – (Національний стандарт України)
- 3 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 260 с.
- 4 ЦТ-ЦВ-ЦЛ-0015 Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях України. – К.: Транспорт України, 2002. – 145 с.
- 5 ЦШ-0001 Інструкція з сигналізації на залізницях України. – К.: ТОВ «Інпрес», 2008. – 160 с.
- 6 Р 549/2 Методика расчета тормозов пассажирских вагонов колеи 1520 мм. – Варна, Республика Болгария: Организация сотрудничества железных дорог, 2005. – 13 с.
- 7 Р 549/3 Методика расчета тормозов грузовых вагонов колеи 1520 мм. – Варна, Республика Болгария: Организация сотрудничества железных дорог, 2005. – 12 с.
- 8 Орлов А. И. Математика случая: Вероятность и статистика – основные факты: Учебное пособие / А. И. Орлов. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 110 с.
- 9 Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие / Е. Н. Львовский. – М.: Высшая школа, 1998. – 224 с.
- 10 Шелейко Т. В. Застосування основних положень невизначеності вимірювань для оцінки гальмівної ефективності рухомого складу /Т. В. Шелейко, Ю. Я. Водянніков, С. М. Свистун // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕГУТ, 2012. – Вип. 21. – С. 81-92.

---

## ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 378.046.4

*Василь Габа*

### ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ У СИСТЕМУ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ФАХІВЦІВ ЗАЛІЗНИЦЬ

*У статті розглянуто сучасні тенденції впровадження дистанційної форми навчання в Державному економіко-технологічному університеті транспорту для створення умов щодо удосконалення професійних та фахових знань, умінь і навичок керівників та спеціалістів Укрзалізниці за місцем їх проживання або тимчасового перебування з використанням засобів інформаційно-комунікаційних технологій.*

*В статье рассмотрены современные тенденции внедрения дистанционной формы обучения в Государственном экономико-технологическом университете транспорта для создания условий по совершенствованию профессиональных знаний, умений и навыков руководителей и специалистов Укрзалізниці по месту их жительства или временного пребывания с использованием средств информационно-коммуникационных технологий.*

*In the article are considered modern tendentious of introduction distance learning in the State Economic and Technological University of Transport to create conditions for improving professional knowledge and skills of managers and specialists Railways at their place of residence or temporary stays of the using information and communication technologies.*

**Ключові слова:** дистанційне навчання, інформаційно-комунікаційні технології, спеціалізоване середовище, інтерактивність, модуль, мультимедія, провайдер, Web-портал, Web-сервер, викладачі-тьютори, браузер, глосарій

**1. Постановка проблеми.** Інформатизація освіти в Україні – один з найважливіших механізмів, що стосується основних напрямків модернізації освітньої системи. Сучасні інформаційні технології відкривають нові перспективи для підвищення ефективності освітнього процесу. Велика роль надається методам активного пізнання, самоосвіті, дистанційним освітнім програмам.

Дистанційна освіта – заснована на сучасних інформаційних і комунікаційних технологіях навчання й підвищення кваліфікації. Дистанційні технології навчання можна розглядати як природний етап еволюції традиційної системи освіти від дошки з крейдою до електронної дошки й комп'ютерних навчальних систем, від книжкової бібліотеки до електронної, від звичайної аудиторії до віртуальної аудиторії.

© Габа В. В., 2013

---

---

Ефективність дистанційного навчання заснована на тому, що ті, кого навчають, самі відчувають необхідність подальшого навчання. Вони мають можливість працювати з навчальними матеріалами в такому режимі й обсязі, який підходить безпосередньо їм. Ефект значною мірою залежить від того, наскільки регулярно займається той, хто навчається. Послідовне виконання контрольних завдань, а також підтримка у всіх питаннях з боку викладача-координатора забезпечує планомірне засвоєння знань.

З кожним роком збільшується кількість слухачів – керівників та спеціалістів Укрзалізниці, які повинні проходити навчання за програмою підвищення кваліфікації. За результатами навчання фахівці залізниць отримують встановленого зразка – свідоцтво про підвищення кваліфікації, яке дає їм право працювати на відповідних посадах протягом п'яти років.

Заняття проводяться протягом двох тижнів (72 аудиторних години) за стаціонарною формою навчання, тобто з відривом спеціалістів від виробництва, що негативно впливає на роботу підприємства та економічно є неефективним.

Зміна форм навчання у системі підвищення кваліфікації працівників залізниць України, а саме, впровадження дистанційної форми навчання, дасть можливість дещо покращити як економічні, так і технологічні аспекти роботи підприємств залізничного транспорту.

**2. Аналіз основних досліджень.** Дистанційна освіта, навчання на відстані, стали справжньою новацією ХХІ ст. Серед плюсів такого навчання – це можливість навчатися в будь-якому місці, де є комп'ютер, матеріал суворо дозований по тижнях і збігається з усіма вимогами, які висуваються до слухачів різних напрямів підвищення кваліфікації. Крім того, слухач отримує можливість виконувати завдання в зручний для нього час, а також фінансові переваги – дистанційне навчання дешевше стаціонарного.

«У нашому житті є два великих зрівнювачі – Інтернет і освіта» – це улюблений вислів голови американської корпорації Cisco Systems Джона Чемберса. Так що освіта через Інтернет дає зрівнювач у квадраті, крім того, одержати її можна без відриву від виробництва.

Ідея дистанційної освіти (ДН) не нова – її елементи в тому або іншому ступені реалізовані в таких формах навчання, як заочне й екстернат. Головні аргументи прихильників ДН – це невисока вартість навчання, більша пропускна здатність вузів і інтеграція у світовий освітній процес.

Наприклад, США, посідаючи п'яте місце серед найбільших експортерів освітнього продукту, щорічно заробляють на цьому \$7 млрд. Торік, за даними Інституту міжнародної освіти, у США навчалися 453 787 іноземних студентів. Більша їхня частина (57%) – з Азії, лише 15% – з Європи. Сьогодні вища освіта в США – 100-мільярдний бізнес, що становить 2,7% ВВП.

Але на шляху дистанційної освіти є чимало труднощів.

По-перше, технічна проблема ДН – якість зв'язку. Більшість вузів, що пропонують програми ДН, розміщують у себе на web-сервері всі навчальні матеріали й тести. Але через поганий зв'язок багато слухачів не можуть користуватися ними в режимі «онлайн». Тому єдиним, реально працюючим інструментом для ДН, є електронна пошта. Інші достоїнства Інтернету – доступ до глобальних бібліотек, баз даних найбільших університетів, жива робота з викладачами й іншими слухачами, проходження тестів у режимі «онлайн», цифрове відео – поки що у стадії розроблення.

---

Крім державних інститутів і комерційних навчальних центрів у цій області активно працюють і західні навчальні заклади. Наприклад, Відкритий британський університет, що діє в Росії через свого партнера – міжнародний центр ДН «Линк», що має близько 80 регіональних філій. Одержати британську бізнес-освіту пропонується по відпрацьованій з 70-х років схемі: слухач одержує пакет (кейс) робочих матеріалів, підручників, план занять і зошити-тренажери. З інформаційних технологій використовується тільки електронна пошта. Слухач повинен багато часу провести в особистій роботі з іншими студентами й викладачами. За кожним слухачем закріплюється викладач-консультант (тьютор), який допомагає йому на всіх етапах самостійної роботи.

Інший варіант організації дистанційної освіти – при мінімальній допомозі тьютора – використовується в навчальному центрі Training.ru, підрозділі компанії «Звістка-Метатехнологія». Темп роботи і якість засвоєння матеріалу тут цілком залежать від студента. На його питання відповідає черговий викладач. Набір дистанційних курсів Training.ru пов'язаний із продуктами й технологіями Microsoft. Технологія навчання така: слухач реєструється на web-вузлі центра й оплачує вартість навчання банківським переведенням. Потім йому виділяються логін і пароль для доступу до навчальних матеріалів і тестів. По звичайній пошті висилаються CD-ROM і підручник. Тестування проходить раз у тиждень на сайті навчального центра. Наприкінці чотиритижневого курсу, студент (слухач) здає очний іспит і одержує сертифікат про закінчення курсу.

Переваги курсів ДН в тому, що вони як мінімум удвічі дешевше звичайного навчання на денній формі, а студенти (слухачі) проходять їх на своєму робочому місці.

Особливо широко й ефективно можна застосовувати дистанційне навчання у внутрішньокорпоративних системах підвищення кваліфікації співробітників. Конкуренція на ринку й швидкість, з якою обновляється продукція, змушують великі компанії впроваджувати власні системи дистанційного навчання. Корпоративні освітні мережі побудували IBM і Cisco Systems, General Motors, Ford Motors та ін. Більшість з цих систем значно випереджають як по складності, так і по кількості тих, яких навчають, університетські системи ДН. При створенні 93% навчальних програм використовуються найпопулярніші web-технології, а також технології телевізійного повідомлення на робоче місце (streaming video to the desktop).

Одним з перших серед ВНЗ, які почали розвивати дистанційну форму навчання в Україні, став Харківський авіаційний інститут. З 1996 р. в інституті функціонує факультет заочної освіти. Метою його створення було розвивати саме ДН. Факультет здійснює підготовку фахівців за такими напрямками, як «економіка підприємств», «фінанси», «біотехнічні та медичні апарати і системи», «інформаційно-вимірвальні системи».

Значний внесок у розвиток педагогічної теорії та практики зробила проблемна лабораторія ДН Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» під керівництвом професора В. Кухаренка. У цьому ВНЗ, починаючи з 1995р., постійно проводяться семінари з упровадження інформаційних технологій у навчальний процес. Поступово основною темою семінару стала дистанційна освіта, а в 1997р. в університеті було створено проблемну лабораторію ДН. Лабораторія займається не тільки теоретичними дослідженнями, але й практикою ДН: розроблено власну технічну платформ у ДН «Web-клас ХПІ», розроблено та впроваджено дистанційні курси. Здобутий досвід дозволив лабораторії стати провідною установою в галузі дистанційної освіти в Україні.

---

---

У 1997р. було створено Асоціацію користувачів телекомунікаційної мережі закладів освіти й науки України –Українську науково-освітню мережу «УРАН», призначенням якої є організація доступу установ та фізичних осіб до потрібної інформації в галузі освіти й науки.

У лютому 1998 р. Верховна Рада України прийняла Закон «Про національну програму інформатизації», у якому сформульовано завдання з інформатизації освіти та визначено напрями їх реалізації.

У 2004р. було затверджено перше Положення про дистанційне навчання в якому закріплено систему дистанційної освіти в Україні, розписано функції центрів дистанційної освіти – від локального до головного, принципи організації управління системою, на зміну якого діє нове Положення про дистанційне навчання, затверджене Наказом МОН № 466 від 25.04.2013.

### **3. Викладання основного матеріалу**

За період роботи факультету післядипломної освіти при Державному економіко-технологічному університеті транспорту, з січня 1996 р. по жовтень 2013 р., пройшли навчання з відривом від виробництва за програмами підвищення кваліфікації більше 10 тисяч спеціалістів Укрзалізниці.

Згідно з анкетуванням слухачів, організація навчання їх в цілому задовольняє. Якість навчання також досить висока, але відрив від виробництва на два тижні (особливо таких спеціалістів як бухгалтера, спеціалістів з організації та нормування праці, працівників відділів кадрів) негативно впливає на роботу підприємств.

В Університеті до 2013 р дистанційна форма навчання не запроваджувалась. Як експеримент, у вересні 2013 р., вперше розпочалось сплановане разом з Укрзалізницею, стаціонарно-дистанційне навчання (підвищення кваліфікації) керівників та спеціалістів Укрзалізниці на базі факультету післядипломної освіти Університету за двома напрямками: «Організація ведення бухгалтерського обліку, складання фінансової та податкової звітності з урахуванням зміни організаційної структури підприємств залізничного транспорту при реформуванні галузі»; «Шляхи удосконалення організації, нормування та оплати праці».

З метою планування спільних організаційних дій та визначення першочергових заходів із впровадження елементів дистанційного навчання у системі підвищення кваліфікації керівних працівників та фахівців галузі на базі вищих навчальних закладів залізничного спрямування, Укрзалізницею була проведена нарада за участю фахівців вузів, ЦКАДР УЗ та спеціалістів ГЮЦ УЗ. Розроблена схема організації навчального процесу за дистанційною формою навчання з використанням платформи підтримки дистанційних курсів MOODLE (рис. 1). Визначені етапи, щодо впровадження та експлуатації системи дистанційного навчання (далі СДН) у професійну підготовку працівників залізничного транспорту України.

**I етап – розробка нормативно-правового забезпечення.** На даному етапі керівництвом Університету, було прийнято рішення про впровадження дистанційної форми навчання, за процедурою визначеною Статутом ВНЗ.

Розроблено:

Положення про організацію дистанційного навчання у вузі;

Положення про створення, оновлення, використання, захист і зберігання Web-ресурсів навчальної програми (дисципліни).

У процесі розробки знаходяться:

Положення про науково-методичну експертизу та сертифікацію Web-ресурсів навчальної програми (дисципліни)

---



**Рис. 1. Схеми організації навчального процесу за дистанційною формою навчання**

Положення про затвердження норм часу для обліку методичної та навчальної роботи науково-педагогічних працівників ВНЗ при організації навчального процесу за технологіями дистанційного навчання.

**II етап – визначення відповідальних працівників та функціональних обов’язків кожної категорії працівників.** На даному етапі було визначено науково-педагогічний склад відповідальних працівників таких категорій:

Викладач; Розробник дистанційного курсу; Куратор; Методист.

У Положенні про організацію дистанційного навчання з розширення профілю (підвищення кваліфікації) керівників та спеціалістів «Укрзалізниці», прийнятому та затвердженому в Державному економіко-технологічному університеті транспорту у червні 2013 р. визначені функціональні обов’язки кожної категорії працівників.

**III етап – технічне забезпечення.** На даному етапі було визначено та налаштовано необхідну кількість клієнтських машин відповідальних працівників ВНЗ для доступу до системи дистанційного навчання.

Встановлені вимоги до обладнання:

- процесор – тактова частота 1,5 ГГц і вище,
- оперативна пам’ять – 1GB і вище;
- жорсткий диск не менше 2 GB,
- мережевий адаптер – 1xGigabit Ethernet,
- наявність веб-камери;

Вимоги до програмного забезпечення:

- операційна система – XP, Windows 7,
- браузер Microsoft Internet Explorer версій 7 і вище.

**IV етап – реєстрація в СДН.** Після визначення науково-педагогічного складу та відповідальних працівників для роботи в СДН, був підготовлений відповідний список, погоджений в ЦКАДРі УЗ, що дозволяє отримати доступ до програми Moodle

---

\\– платформи підтримки системи дистанційного навчання у головного адміністратора – ГІОЦ УЗ.

**IV етап – Розробка навчально-програмного забезпечення.** На даному етапі розроблявся навчальний план із врахуванням особливостей дистанційної форми навчання при цьому враховувалось: категорія слухачів, тривалість навчання, форма навчання, режим знань, перелік модулів та тем, кількість навчальних годин, форма контролю знань. Проводилась розробка навчальних програм, графіків навчальних заходів, підготовка електронних навчально-методичних комплексів та контроль готовності електронних навчально-методичних комплексів. Зазначені матеріали були затверджені встановленим порядком та розміщені в програмі Moodle на сайті «Система дистанційного навчання Укрзалізниці» (<http://moodle.uz.gov.ua>).

**VI етап – Навчальний процес.** Відповідно до графіка навчального процесу за дистанційною формою навчання організація навчального процесу складається із дистанційної та очної форми навчання.

**Дистанційна (36 годин)** – керована самостійна робота слухачів протягом двох тижнів.

Під час цієї форми навчання здійснюється реєстрація слухачів в системі дистанційного навчання та зарахування їх до навчальних груп.

проведення навчальних занять (самостійне вивчення запропонованих модулів навчальної програми).

На дистанційному етапі слухачі:

працюють з науковою та навчально-методичною літературою, електронними навчальними посібниками відповідно до обраних програм навчання;

виконують практичні завдання та поточні тестування – узагальнення знань по темі;

створюють та захищають авторські творчі проекти ( на вимогу);

беруть участь у тематичних форумах;

спілкуються і консультуються з викладачами та тьютором у синхронному та асинхронному режимах.

**Очна (36 годин)** – підсумковий контроль знань за дистанційний етап, вхідне тестування, навчальна робота та підсумковий контроль знань – заключне тестування протягом одного тижня – 5 навчальних днів.

Очне навчання слухачів проводиться за затвердженими розкладами згідно з навчально-тематичними планами. Після успішного закінчення навчання слухачам видається свідоцтво встановленого зразка.

Підготовлені викладачем матеріали для дистанційного курсу повинні містити:

передмову (висвітлюються: навчальна мета, ключові слова, стисла інформація про підготовлений матеріал – модуль, розділ або тему);

основний текст (теоретичне викладення змісту теми) – текст має бути структурований, тобто поділений на окремі питання, розміщені у відповідній логічній послідовності. Викладення навчального матеріалу передбачає також надання викладачем методичних рекомендацій щодо додаткового опрацювання запропонованих джерел. Текст повинен бути адаптований до самостійного вивчення теми слухачами. Викладачеві на висвітлення теми відводиться до 20 друкованих сторінок тексту (у форматі, зазначеному нижче);

дискусійні питання, які пропонуються до обговорення на форумі слухачів за кожною темою модуля;

---

---

тестові завдання, що охоплюють зміст кожної теми модуля. Всього викладачем має бути представлено 30 тестових завдань з правильними відповідями на них. При цьому відповіді на тестові завдання повинні бути обгрунтовані (містять коментарі та посилання на використані джерела);

термінологічний словник використаних термінів (глосарій).

**Висновок.** Не зважаючи на те, що у 2013 р. в ДЕТУТ за дистанційною формою навчалось тільки дві групи, деякі висновки можна зробити:

Більшості слухачів ця форма навчання сподобалась. Інформація в текстовому форматі сприймалась значно краще, а матеріал, який був на сайті, – цікавий та різнобічний. Це підтвердили і результати тестування: середній бал по курсу склав 720 балів (із 800 загальноможливих)

Витрати залізниць на навчання слухачів за очною формою з впровадженням елементів дистанційного навчання суттєво зменшилися. Економія витрат тільки на навчання однієї групи 28 осіб складає 35 тис. гривень, або 37 % від загальної суми.

При дистанційній формі навчання слухач в середньому протягом двох тижнів витрачав на навчання 3 год., а ретшу часу працював в робочому режимі підприємства.

Запроваджена в ДЕТУТ система дистанційного навчання для підвищення кваліфікації керівників та спеціалістів Укрзалізниці є досить прогресивною, ефективною та економічно вигідною як для замовників – залізниць України так і для виконавців – вищих навчальних закладів залізничного спрямування.

Дистанційна система навчання після її доопрацювання може використовуватись і для підготовки студентів заочної форми навчання Університету.

Однак треба враховувати дві думки потенціальних слухачів: для одних нова система навчання – єдиний доступний спосіб одержати якісну освіту, інші – нізащо не проміняли б традиційне навчання на дистанційне, оскільки сприймають університет не тільки як місце навчання, але й можливість особистого спілкування з колегами і з викладачами.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про національну програму інформатизації» [електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/74/98-вр>.
  2. Концепція розвитку дистанційної освіти в Україні [електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.osvita.org.ua/distance/pravo/00.html>.
  3. Положення про дистанційне навчання [електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0703-13>.
  4. Асоціація УРАН. Загальні відомості [електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.uran.net.ua/~ukr/frames.htm>.
  5. Бессалова Т. В. Можливості та перспективи розвитку дистанційної освіти в Україні / Т. В. Бессалова // «Гілея: науковий вісник»: Збірник наукових праць. – К., 2012. – Вип. 60. – С. 597–600.
  6. Волов В. Т., Волова Н. Ю., Четырова Л. Б. Дистанционное образование: истоки, проблемы, перспективы / В.Т. Волов, Н. Ю. Волова, Л. Б. Четырова. – Самара: Рос. Академия наук, Самарский научный центр, 2000. – 137 с.
  7. Жевакіна Н. В. Педагогічні умови організації дистанційного навчання студентів гуманітарних спеціальностей у Педагогічному університеті: дис... канд. наук: 13.00.04 2009. 271 с.
  8. Журавський В. С. Вища освіта як фактор державотворення і культури в Україні / В. С. Журавський. – К.: ВД «ІнЮре». – 2003. – 416 с.
  9. Згуровський М. З., Сидоренко С. І., Холмська Г. Д. Шляхами педагогіки комп'ютерних технологій. Перший досвід технічного університету / М. З. Згуровський, С. І. Сидоренко, Г. Д. Холмська. – К.: Наук. Думка, 2003. – 188 с.
  10. Козакова Г. О. Інформаційно-програмне забезпечення дистанційної освіти: зарубіжний і вітчизняний досвід / Г. О. Козакова. – К.: ВЦ «Просвіта», 2002. – 230 с
-

*Олександр Герцій*

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ  
ТА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ ІР-МЕРЕЖ**

*В роботі проведено аналіз проблем забезпечення якості в сучасних телекомунікаційних мережах та розглянуто сучасні методи вирішення поставленого завдання на основі моделей інтегрованого IntServ та диференційованого DiffServ обслуговування.*

*В работе проведен анализ проблем обеспечения качества в современных телекоммуникационных сетях и рассмотрены методы решения поставленной задачи, на основе моделей интегрированного IntServ и дифференцированного DiffServ обслуживания.*

*This paper analyzes the problems of quality assurance in modern telecommunications networks and the methods solution of the problem, based on the models of integrated IntServ and differentiated DiffServ service.*

**Ключові слова:** ІР-мережа, якість обслуговування, модель інтегрованого обслуговування, модель диференційованого обслуговування.

**Вступ.** Інформаційні потоки телекомунікаційних мереж дуже розрізняються за своїм складом і вимогами, що можна пояснити стрімким зростанням кількості нових мережевих додатків, а також зміною співвідношення між вже існуючими і новими мережевими послугами. Це вимагає належного врахування залежностей між об'ємами трафіку, показниками якості обслуговування та структурними параметрами мережі, що в кінцевому результаті можуть бути використані для визначення вартості того чи іншого рішення.

Так, останнім часом зріс інтерес до послуг передачі мультимедійного трафіка, що стало причиною нових труднощів, пов'язаних з забезпеченням функціонування телекомунікаційних мереж. Організована на базі ІР-технології вона є орієнтованою для передачі даних і сама по собі не може гарантувати належного обслуговування трафіка реального часу. В зв'язку з цим було розроблено цілу низку механізмів забезпечення якості обслуговування (Quality of Service – QoS). Проте неузгодженість їх взаємної реалізації не дозволяють гарантувати необхідний рівень обслуговування.

Тому розробка та дослідження механізмів, що охоплюють моделювання і оптимізацію проектних рішень при проектуванні ІР-мережі, є актуальним завданням.

**Основні моделі забезпечення якості.** Для боротьби з перевантаженнями на лініях доступу в ІР-мережах було розроблено досить багато механізмів підтримки QoS. Однак через неузгодженість їх використання кожним оператором, вони не давали значних результатів в масштабах великих мереж. З цією метою була проведена розробка єдиних стандартів та механізмів забезпечення якості обслуговування, що

© Герцій О. А., 2013

---

---

позначилося на створенні сучасних моделей забезпечення QoS пакетних мереж. Як результат, для середовища IP були розроблені два основних механізми забезпечення якості, представлені моделями інтегрованого IntServ (Integrated Service) та диференційованого DiffServ (Differentiated Service) обслуговування.

Розглянуті технології є досить дієвими механізмами забезпечення якості послуг в сучасних телекомунікаційних мережах. Проте проведений аналіз свідчить, що на даний момент не існує універсальної технології QoS, що здатна задовольняти одночасно всім вимогам побудови мультисервісних мереж зв'язку. В результаті, розроблені моделі представляють вирішення лише певної частини проблем, пов'язаних з забезпеченням QoS. Це обумовлено значною складністю питання забезпечення якості, його багатогранністю. До того ж неузгодженість параметрів якості в різних мережах та відмінність їх реалізації у різних виробників обладнання додатково ускладнюють їх взаємодію. Як результат, методи забезпечення якості, що лежать в основі цих технологій, визначають область їх застосування в сучасних телекомунікаційних мережах [1, 2].

Зокрема перевагою моделі IntServ є забезпечення чітко визначеної і гарантованої пропускної спроможності. Однак існує низку недоліків, таких як збільшення часу встановлення з'єднання, неефективне резервування смуги пропускання, що заважає широкому використанню RSVP в пакетних мережах. Проте найбільший недолік IntServ пов'язаний з масштабованістю RSVP, особливо у високошвидкісних магістральних мережах, де обсяг ресурсів, які необхідні маршрутизатору для обробки й зберігання інформації RSVP, збільшується пропорційно кількості потоків QoS. Як результат технологія IntServ використовується для організації невеликих корпоративних мереж для виконання обмеженого кола завдань.

Перевагами моделі DiffServ є простота пріоритеризації трафіка, можливість масштабування, підвищена надійність. Все це визначає гнучкість та універсальність технології. Проте технологія має певні суттєві недоліки. Зокрема при передачі однорідного трафіка застосування механізму пріоритетів втрачає смисл, адже при цьому мережа починає працювати в режимі Best Effort, а через вибіркове відкидання пакетів в періоди сплесків абонентської активності існує велика ймовірність відмови в обслуговуванні з'єднань з низьким пріоритетом. В зв'язку з цим модель DiffServ зручна для організації великих обчислювальних мереж та територіально розподілених мереж з різнорідним трафіком та малим часом з'єднання.

Очевидно, що взаємна робота IntServ та DiffServ є оптимальним варіантом для надання необхідної якості QoS із кінця в кінець (рис. 1.). При цьому слабкі місця однієї моделі будуть компенсуватися відповідними рішеннями іншої [3]. Зокрема, погано масштабована IntServ на магістральних ділянках мережі може бути замінена на більш просту DiffServ, з іншого боку, за допомогою протоколу RSVP може бути вирішена проблема з невизначеністю надаваного сервісу, що властива «чистим» DiffServ-мережам. Реалізація такої моделі дозволить ліквідувати причину низької якості передачі мультимедіа на основі IP-протоколу та підвищити продуктивність традиційних послуг.

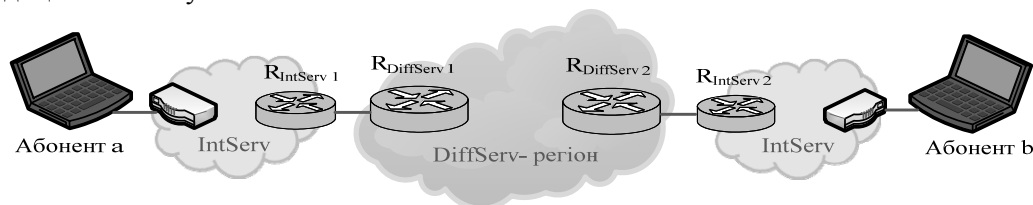


Рис. 1. Модель взаємодії DiffServ та IntServ

Представлений механізм взаємодії технологій забезпечує необхідну якість послуг, дозволяючи оптимально використовувати ресурси мережі. При цьому доцільність використання технологій повинна ґрунтуватися на попередньому аналізі ефективності їх роботи шляхом моделювання останніх. Тому є актуальним дослідження кількісних показників ефективності функціонування обох моделей, для обґрунтування доцільності використання кожної з них в межах тієї чи іншої частини мережі.

За основний критерій якості обслуговування, було обрано параметр часу затримки передачі. Вибір параметра ґрунтується на рекомендаціях ІТУ-Т У.1540. При цьому він виділяється не лише як основний критерій передачі трафіка реального часу, а як параметр, що найбільш повно відображає функціонування мережі взагалі.

**Методика проведення дослідження.** Обґрунтування того чи іншого підходу при дослідженні процесу передачі даних в першу чергу повинне ґрунтуватися на дослідженні властивостей абонентського трафіка. При цьому намагаються як найточніше змоделювати характер поведінки трафіка, щоб найбільш повно відповідав статистичним даним. Зокрема, на основі аналізу робіт деяких закордонних вчених (Crovella, Molnar та ін.) була отримана класифікація, яка відображає співвідношення між типами трафіка та законами розподілу, що дозволяють найбільш повно описати параметри трафіка на конкретному рівні моделі OSI [4]. Результати класифікації подані в табл. 1.

Як видно з табл. 1, для опису трафіка в мультисервісних ІР-мережах найширше застосовується розподіл Парето. Крім того, для трафіка конкретних додатків обмежено використовується розподіл Вейбула, нормований логарифмічний розподіл та розподіл Пуассона. Важливо відмітити, що розподіл Парето належить до розподілів з важким «хвостом» і володіє нескінченною дисперсією в діапазоні  $1 < \alpha < 2$ , де показник  $\alpha$  характеризує «вагу» «хвоста» розподілу та визначає «пачковість» процесу. Такі процеси належать до самоподібних та характеризують трафік сучасних комп'ютерних мереж. Враховуючи широке застосування закону Парето для опису трафіка ІР-орієнтованих мереж, в подальшому буде використовувати саме розподіл Парето.

Таблиця 1. Закони розподілу для типів трафіка на різних рівнях моделі ТСП/ІР

Тип трафіка	Рівень	Закони розподілу		Публікації
		A	B	
VoIP	Прикладний	P	P	Molnar, 2002
FTP/TCP	Транспортний	P	W та LN	Downey, 2003
SMTP/TCP	Транспортний	M	M	Molnar, 2000
HTTP/TCP	Транспортний	P	LN та P	Crovella, 1996
IP	Мережевий	P	P	Paxson, 1995
Ethernet	Канальний	P	P	Taqqu, 1997

Тут: А – закон розподілу вхідного потоку;  
В – закон розподілу величини блоку даних.

Як модель системи масового обслуговування виберемо систему з загальним розподілом вхідного потоку та процесу обслуговування, з одним каналом та обмеженим розміром  $m$  буфера вузла [6, 7]. З використанням символіки Кендала вона пред-

ставляється моделлю  $G/G/1/m$ . Завдання розрахунку системи такого виду для вказаних вхідних процесів та процесів обслуговування ускладнена тим, що дисперсії цих процесів є нескінченними. Тому для спрощення розрахунків варто використовувати обмеження випадкової величини за мінімальним та максимальним значенням, що дозволить розрахувати необхідні коефіцієнти без зміни форми самого розподілу.

На основі запропонованих припущень проводиться дослідження роботи зазначених QoS-моделей IntServ та DiffServ, що ґрунтується на особливостях організації кожної з них.

Зокрема при роботі механізму IntServ враховується його поетапність, де процес передачі даних включає посилення запиту на передачу  $Path$ , процес резервування ресурсів на основі повідомлень  $Resv$  та сам процес передачі даних. Враховуючи такий підхід розрахунок часу затримки передачі для моделі IntServ можна провести за формулою:

$$T_{IntServ} = T_{Path} + T_{Resv} + T_{data} \quad (1)$$

де  $T_{Path}$  – час передачі сигнального повідомлення  $Path$ ;

$T_{Resv}$  – час передачі сигнального повідомлення  $Resv$ ;

$T_{data}$  – час передачі блоку абонентських даних.

Тут кожна складова часу може бути подана як сумарний час затримки на вузлах мережі та час затримки передачі по лінії зв'язку:

$$T_{Path} = T_{line.Path} + T_{treatment.Path} \quad (2)$$

$$T_{Resv} = T_{line.Resv} + T_{treatment.Resv} \quad (3)$$

$$T_{data} = T_{line.data} + T_{treatment.data} \quad (4)$$

де  $T_{line.Path}$ ,  $T_{line.Resv}$ ,  $T_{line.data}$  – час передачі лінією повідомлень  $Path$ ,  $Resv$  та абонентських даних відповідно;

$T_{treatment.Path}$ ,  $T_{treatment.Resv}$ ,  $T_{treatment.data}$  – час обробки пакетів в вузлах мережі повідомлень  $Path$ ,  $Resv$  та абонентських даних відповідно.

При моделюванні технології DiffServ враховується, що процес передачі даних мережею включає проведення попередньої обробки (класифікація та маркування) трафіка на граничних вузлах мережі, затримки в буферах вузлів та затримки в лінії. У цьому випадку розрахунок часу затримки пропонується проводити за такою розрахунковою формулою:

$$T_{DiffServ} = T_{line.DiffServ} + T_{treatment.DiffServ} + T_{classification} \quad (5)$$

де  $T_{line.DiffServ}$  – час передачі абонентських даних по лінії;

$T_{treatment.DiffServ}$  – час затримки даних в мережевих вузлах;

$T_{classification}$  – затримка класифікації даних в граничних вузлах мережі.

Розрахунок часу передачі даних лінією може бути представлений сумою часу затраченого на поширення сигналу по лінії та часу самої передачі даних:

$$T_{line.x} = T_{distribution.x} + T_{transmission.x} \quad (6)$$

де  $T_{distribution.x}$  – час затримки поширення сигналу в лінії;

$T_{transmission.x}$  – час затримки передачі даних по лінії;

---

$x$  – індекс, що визначає тип даних та технологію, що використовується.

Затримки поширення сигналу по лінії будуть визначатися нормованою довжиною лінії та її характеристиками:

$$T_{distribution.x} = \frac{L_{line}}{c_{signal}} \quad (7)$$

де  $L_{line}$  – нормована довжина лінії передачі;

$c_{signal}$  – швидкість поширення сигналу в лінії.

А затримка передачі – величиною даних, що передається абонентами та швидкістю передачі на інтерфейсі:

$$T_{transmission.x} = \frac{R_{date.x}}{V_{interface}} \quad (8)$$

де  $R_{date.x}$  – середній обсяг даних, що передається абонентом;

$V_{interface}$  – швидкість передачі на інтерфейсі.

Час обробки даних у вузлах мережі визначається затримками пакетів в буферах даних. Для розрахунків часу затримки на вузлах скористаємося результатами теорії дифузійної апроксимації [8], що представлені в монографії Зелінгера М. Б., Чугреєва О. С. та Яновського Г. Г.:

$$T_{treatment.x} = P \cdot \frac{t_s}{m \cdot (1 - \rho)} \cdot \frac{C_a^2 + C_s^2}{2} \quad (9)$$

де  $m$  – розмір буфераа вузла мережі;

$\rho$  – навантаження системи трафіком;

$P$  – ймовірність відмови в обслуговуванні через зайнятість приладів;

$t_s$  – середній час обслуговування пакету мережевим пристроєм;

$C_a^2$  та  $C_s^2$  – квадратичні коефіцієнти варіації розподілу вхідного потоку та часу обслуговування відповідно.

Згідно з теорією телетрафіка, навантаження системи визначається за формулою:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (10)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність поступання абонентського трафіка;

$\mu$  – інтенсивність обслуговування трафіка пристроєм.

У даному випадку інтенсивність навантаження буде виражатися через середню інтенсивність навантаження від одного абонента:

$$\lambda = N \cdot \lambda_s \quad (11)$$

де  $N$  – кількість абонентів мережі;

$\lambda_s$  – середня інтенсивність трафіка від одного абонента;

Ймовірність відмови в обслуговуванні залежить від завантаження вузлів мережі і може бути наближено обчислена за другою формулою Ерланга:

$$P = m \cdot (1 - \rho) \cdot \frac{\rho^m}{1 - \rho^m} \quad (12)$$

Квадратичні коефіцієнти варіації, відповідно до розподілу Парето, будуть визначатися на основі такої апроксимаційної формули [6]:

---

$$C_x^2 = \frac{(1-\alpha)^2 \cdot (L^\alpha - k^\alpha)}{\alpha \cdot (L \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k)^2} \cdot \left( \frac{L^2 \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k^2}{(2-\alpha)} - \frac{\alpha \cdot (L \cdot k^\alpha - L^\alpha \cdot k)^2}{(1-\alpha)^2 \cdot (L^\alpha - k^\alpha)} \right) \quad (13)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт ваги «хвоста» розподілу, що визначає «пачковість» процесу;  
 $L$  – максимальний розмір блоку даних;  
 $k$  – мінімальний розмір блоку даних.

При цьому під розміром блоку даних розуміють розмір пакет, що генерується додатком або ж розміри пачки пакетів, що виникають в результаті роботи додатку чи проходження пакетів по мережі.

**Математичне моделювання механізмів IntServ та DiffServ.** На основі описаної методики були проведені розрахунки ефективності роботи механізмів забезпечення QoS, що представлені моделями IntServ та DiffServ. При цьому процес моделювання реалізовувався шляхом використання програмного середовища Mathcad.

Як досліджувану мережу було обрано мережеву область організовану на чотирьох маршрутизаторах, де один з маршрутизаторів відіграє роль ядра мережі, а інші три є її приграничними вузлами, до яких підключаються локальні мережі кінцевих абонентів. При цьому приграничні маршрутизатори були з'єднані з центральним маршрутизатором за допомогою оптичних одномодових волокон довжиною в 2 км зі швидкістю передачі 100 Мбіт/с (згідно з стандартом 100BASE-FX Fast Ethernet) [3].

Передбачається, що мережа обслуговуватиме до 1000 абонентів, де середня інтенсивність трафіка від кожного з них становитиме 30 кбіт/с.

Змінюючи кількість активних абонентів моделюється різна величина навантаження мережі. При цьому для моделі DiffServ в формулу 11 для розрахунку загального навантаження вводиться додатковий коефіцієнт, що враховує зменшення загального навантаження, пов'язаного з відкиданням частини пакетів, що не відповідає умові про рівень обслуговування SLA (Service Level Agreement). В нашому випадку кількість відкинутих пакетів відповідає 10% загального трафіка.

Щоб реалізувати режим великого навантаження системи, інтенсивність обслуговування трафіка маршрутизаторами вибиралася близькою до максимальної. Зокрема найближчим нормативним значенням із лінійки пропускних спроможностей маршрутизаторів була обрана величина інтенсивності в 32 Мбіт/с.

Як нормативна довжина лінії в роботі зазначена лінія довжиною в 4000 м, що відповідає відстані між будь-якими приграничними маршрутизаторами мережі.

Обсяг даних, що передається одним абонентом, обирався рівним 10 кбайт, щоб цим самим нівелювати затримки на передачу службових повідомлень.

Величини сигнальних повідомлень *Path* та *Resv* були обраховані за їх структурою. Зокрема повідомлення *Path*, крім заголовка Common Header в 64 байти містить вісім об'єктів по 64 байти – *Integrity*, *Session*, *RSVP Hop*, *Policy Data*, *Sender Template*, *Sender TSpec*, *ADSpec*, – що в загальному дають 576 байт. До складу повідомлення *Resv* входить загальний заголовок Common Header в 64 байти та десять об'єктів також по 64 байти – *Integrity*, *Session*, *RSVP Hop*, *Time Values*, *RSVP Confirm*, *Scope*, *Policy Data*, *Style*, *FlowSpec*, *FilterSpec*, – що в сумі дають 704 байти.

Середній час обробки даних на вузлі та середній час класифікації в приграничних маршрутизаторах були прийнятими в 100 мкс.

Розмір буфера вузла був обраний рівний 8, що відповідає восьми максимальним розмірам IP-пакетів, тобто 32 кбайти.

За мінімальний та максимальний розмір блока даних було обрано величину IP-пакета в 64 та 4000 байт відповідно.

Величина ваги «хвоста» абонентського трафіка відповідає за взаємкореляцію між трафіком та визначає його «пачковість». Зокрема для вхідного трафіка був обраний коефіцієнт ваги рівний 1,1, що відповідає його високій «пачковості». Через застосування політики вирівнювання (*shaping*), вихідний трафік маршрутизаторів є більш рівномірним, а тому для нього був обраний коефіцієнт 1,7. Сигнальний трафік, що генерується обладнанням є періодичним, а тому «пачковість» йому як така не характерна. У зв'язку з цим коефіцієнт ваги для повідомлень *Path* та *Resv* був обраний рівним 1,97.

Результати моделювання IntServ та DiffServ за прийнятими значеннями наведені в табл. 2 та табл. 3 відповідно.

Таблиця 2. Результати моделювання роботи технології IntServ

Кількість абонентів	Навантаження системи	Час затримки передачі, мс			
		Повідомлення <i>Path</i>	Повідомлення <i>Resv</i>	Даних	Сумарний
10	0,009	0,0205	0,0218	0,8148	0,8572
100	0,094	0,0205	0,0218	0,8148	0,8572
200	0,188	0,0206	0,0219	0,8148	0,8572
300	0,281	0,0206	0,0219	0,8149	0,8573
400	0,375	0,0207	0,0220	0,8153	0,8581
500	0,469	0,0216	0,0228	0,8180	0,8624
600	0,563	0,0248	0,0261	0,8285	0,8794
700	0,656	0,0355	0,0368	0,8630	0,9352
800	0,750	0,0671	0,0684	0,9654	1,1010
900	0,844	0,1651	0,1663	1,2830	1,6140
1000	0,938	0,6391	0,6404	2,8170	4,0970

Результати експериментальних досліджень та їх аналіз. На основі проведених обчислень були отримані результати затримки передачі даних в мережах IntServ та DiffServ. Їх графічна інтерпретація подана на рис. 2.

Таблиця 3. Результати моделювання роботи технології DiffServ

Кількість абонентів	Навантаження системи	Час затримки передачі, мс			
		В приграничних вузлах	В проміжних вузлах	В лінії	Сумарний
10	0,008	0,1000	-	0,8148	0,9148
100	0,084	0,1000	-	0,8148	0,9148
200	0,169	0,1000	-	0,8148	0,9148
300	0,253	0,1000	-	0,8148	0,9148
400	0,338	0,1000	0,0003	0,8148	0,9150
500	0,422	0,1000	0,0014	0,8148	0,9162
600	0,506	0,1000	0,0058	0,8148	0,9207
700	0,591	0,1000	0,0203	0,8148	0,9352
800	0,675	0,1000	0,0609	0,8148	0,0830
900	0,759	0,1000	0,1682	0,8148	1,0830
1000	0,844	0,1000	0,4678	0,8148	1,3830

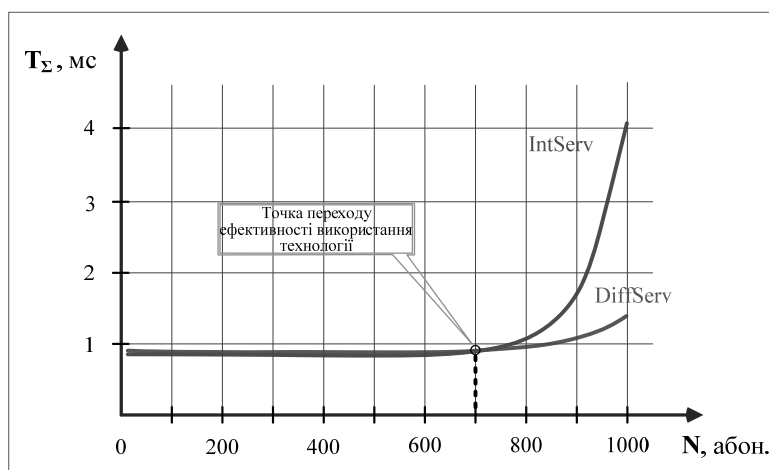


Рис. 2. Час затримки передачі за технологіями IntServ та DiffServ

Аналіз приведених графіків підтверджує вищезазначені характеристики обох механізмів. Зокрема чітко видно, що модель DiffServ є гнучкішою порівняно з IntServ, адже забезпечує менші величини затримки при великих значеннях навантаження, а отже є ефективнішою для організації великих мереж з різномірними типами трафіка. При цьому перехід на більш ефективнішу DiffServ є виправданим, починаючи з точки перетину двох графіків, що за даних умов відповідає навантаженню від 700 абонентів. Це так звана «точка переходу ефективності використання технології», що є опорною для порівняння та вибору ефективнішої технології.

У деяких випадках представлені графіки можуть не перетинатися. Це визначається співвідношеннями між заданими значеннями вихідних величин. У такому випадку аналіз доцільності застосування варто проводити з урахуванням кривизни графіка. Як правило, за такого характеру графіків, перехід на більш ефективнішу технологію є виправданим, починаючи з точки, де затримка передачі є в два рази більшою від номінальної (відповідає малим навантаженням), за якою вже йде область стрімкого зростання часу затримки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Букатов А. А., Шаройко О. В. Методы распределения емкости телекоммуникационных каналов и обеспечения качества сетевого обслуживания // ЮГИНФО Южного федерального университета, 2008. – 23 с.
2. Герцій О. А., Гребінь Р. О. Методи забезпечення якості зв'язку мультисервісних мереж. // Збірник наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 20. – К.: ДЕТУТ, 2012. – с.191-196
3. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для ВУЗов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
4. Столлингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
5. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 400 с.
6. Яновский Г. Г. Качество обслуживания в сетях IP. // Вестник связи, – 2008. – №1. – с. 1-16.
7. Симонина О. А. Автореферат диссертации на тему «Модели расчета показателей QoS в сетях следующего поколения». – СПб: ГУТ, 2005. – 17 с.
8. Зелингер Н. Б., Чугреев О. С., Яновский Г. Г. Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений. – М.: Радио и связь, 1992. – 175с.

*Наталья Кокряцкая*

**МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ПАРАЛЛЕЛЬНО-ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СЕТИ**

*В статье разработан метод прогнозирования с использованием параллельно-иерархической (ПИ) сети, использующий идею сглаживания эмпирических данных по гиперболе. Данный метод использует для прогнозирования предыдущие значения временного ряда, сглаживания по гиперболе и данные ПИ сети. Разработанный метод за счет использования ПИ сети в сочетании со сглаживанием по гиперболе является более эффективным для систем реального времени при реализации операции прогнозирования положения энергетических центров изображений пятен лазерных пучков для оптических систем связи по сравнению с традиционными нейронными сетями.*

*У статті розроблено метод прогнозування з використанням паралельно-ієрархічної (ПІ) мережі, який використовує ідею згладжування емпіричних даних по гіперболі. Даний метод використовує для прогнозування попередні значення часового ряду, згладжування по гіперболі і дані ПІ мережі. Розроблений метод за рахунок використання ПІ мережі у поєднанні зі згладжуванням по гіперболі є більш ефективним для систем реального часу при реалізації операції прогнозування положення енергетичних центрів зображень плям лазерних пучків для оптичних систем зв'язку в порівнянні з традиційними нейронними мережами.*

*In the paper a forecasting method using a parallel-hierarchical (PH) network was developed. It uses the idea of smoothing the empirical data with the hyperbole. It is shown that this method uses the values of previous time series, the smoothing with the hyperbole and PH network data for prediction. The developed method is more efficient for real time systems due to the use of PH network combined with smoothing with a hyperbola; with the implementation of prediction operations of energy center laser beam image position for optical communication systems compared to conventional neural networks.*

**Ключевые слова:** параллельно-иерархическая (ПИ) сеть, изображения пятен лазерных пучков, статистическое наблюдение, временные ряды, прогнозирование.

Новый метод прогнозирования сочетает в себе комбинацию использования временных рядов и предложенной авторами многоуровневой модели ПИ сети. Суть нового метода сводится к тому, что при обработке входных данных в ПИ сети производится сетевое преобразование.

© Кокряцкая Н. И., 2013

---

В базе данных сохраняются параметры, которые являются вспомогательными: коэффициент корреляции матриц эталонной и текущей ПИ сетей на нулевом уровне, коэффициенты корреляции на нулевом, первом, среднем, предпоследнем и третьем с конца уровнях ПИ сети. Параметры гиперболы поступают в систему прогнозирования параметров трассы, где определяется положение по осям X и Y следующего фрагмента трассы. В блоке синхронизации результатов, обработанные в сети данные, поступают в базу данных, где производится выборка наиболее похожих данных за счет использования вспомогательных параметров ПИ сети. После этого над выбранными из базы данных и выходными данными ПИ сети производится операция коррекция ошибки. Скорректированные данные обновляют запись вспомогательных параметров в базе данных, где также сохраняется результат прогнозирования. Процесс происходит рекурсивно, начиная с первого фрагмента трассы, и заканчивая последним ее фрагментом. Разработанный метод за счет использования ПИ сети в сочетании со сглаживанием по гиперболе является более эффективным для систем реального времени при реализации операции прогнозирования положения энергетических центров изображений пятен лазерных пучков для оптических систем связи по сравнению с традиционными нейронными сетями. Средняя ошибка прогнозирования для разработанного метода – 0,55%, а для нейронных сетей – 1,62%.

Быстро возрастающие требования современных вычислительных сред стимулируют к разработке новых интеллектуальных методов передачи и обработки информации. Жесткие требования систем, обрабатывающих информацию в режиме реального времени, заставляют исследователей регулярно создавать и обновлять системы передачи информации. В наше время большинство Интернет-каналов не способны обеспечить необходимый качественный обмен информацией между такими системами, что, в свою очередь, приводит к перегрузке данных каналов и созданию так называемых цифровых пробок. Одним из способов решения проблемы передачи больших объемов информации может быть применение оптоволоконного кабеля. Использование лазерных технологий [1] позволяет решить данную проблему и является одной из самых перспективных моделей передачи информации в ближайшем будущем. В этом случае стало бы возможным, например, передавать десятки полнометражных фильмов и виртуальных миров в любую точку земного шара за доли секунды. Большинство спутников передают информацию, например телевизионные программы, с помощью микроволнового излучения. В то же время передача информации с помощью лазера может происходить в сотни раз быстрее, что, в свою очередь, существенно повлияет на пропускную способность канала передачи.

Для решения задачи эффективного прогнозирования целесообразно повысить точность определения центра пятенного объекта с помощью максимального использования его информационных признаков, а также классифицировать кадры последовательности изображений пятен лазерных пучков, с целью фильтрации лазерной трассы от сильно искаженных действием помех изображений, тем самым сформировать туннель эталонных изображений. Классификация кадров предполагает относить каждый из кадров трассы к одному из классов изображений: недеформированные атмосферой – «хорошие» и деформированные – «плохие».

Системы передачи данных с помощью лазерного луча широко применяются в мире и активно развиваются. Поэтому, широко употребляемым их названием есть аббревиатура FSO (Free Space Optic). Однако, распространение лазерного излучения в атмосфере сопровождается очень большим набором явлений линейной и нелинейной взаимодействия, что создает значительные помехи приему и требует кор-

---

ректировки приемника. В результате этих воздействий лазерный пучок расширяется или расщепляется, поэтому найти координаты его центра, а значит и точно оценить перемещение передатчика становится достаточно сложно. В результате определить координаты энергетического центра в профиле такого изображения лазерного луча простыми геометрическими методами, становится невозможно. Приходится применять различные специальные методы обработки и классификации изображений. Однако такие методы обычно предназначены для выполнения на стационарных компьютерных системах, где исследователь не ограничен временем, в то же время оптические системы связи требуют высокопроизводительных портативных устройств обработки информации, которые способны работать в реальном времени.

Поэтому актуальной является задача разработки такого метода обработки изображений, который даст возможность вычислить и спрогнозировать координаты энергетического центра нечеткого изображения, фильтруя деформированные изображения, с наилучшей эффективностью и в приемлемое время.

В данной статье разрабатывается метод прогнозирования положения энергетических центров фрагментов трасс лазерных пучков, использующийся в системах оптической связи, навигации, локации, а также в военной технике. Разработка системы прогнозирования на основе ПИ сети позволяет решить следующие задачи:

- автоматический контроль объектов;
- передача данных с помощью лазеров;
- прогнозирование поведения подвижных оптических объектов.

Параллельно-иерархическая сеть устроена следующим образом. Сеть состоит из ряда уровней (рис. 1), а каждый уровень – из параллельных ветвей. Причем, начиная со второго уровня, каждая формирующаяся последующая ветвь сдвинута во времени относительно предыдущей ветви. Входной образ подается на элементы параллельных ветвей первого уровня, а элементы ветвей второго и последующих уровней формируются последовательно во времени соответственно из элементов ветвей первого и ветвей предыдущих уровней. В каждой ветви ПИ сети реализуется преобразование вида (1). Длина алгоритма ПИ сети и соответственно число элементов в ветвях, число ветвей и уровней не является величиной постоянной, а зависит от характера распределения входных данных.

Основным назначением ПИ сети является решение задачи быстрого преобразования, классификации и прогнозирования, ориентированной на обработку видеоданных в реальном времени.

На вход ПИ сети (на входные элементы ветвей 1-го уровня сети, рис.1) подается вектор входного образа. Рассмотрим математическую модель параллельного разложения множества  $\mu = \{a_i\}, i = \overline{1, n}$  [14, 15], применяемого в каждой ветви ПИ сети.

$$\sum_{i=1}^n a_i = \sum_{j=1}^R \left( n - \sum_{k=0}^{j-1} n_k \right) (a^{j^*} - a^{j^*-1}), \quad (1)$$

где  $a_i \neq 0, R$  - размерность данного множества (число элементов множества) или размерность ветви ПИ сети каждого ее уровня,  $a^k, k = \overline{1, R}$ , – элементы подмножеств, состоящих из одинаковых элементов  $n_k$  – число элементов в  $k$ -м подмножестве (то есть кратность числа  $a_i$ ),  $a^{j^*}$  – элемент множества  $\{a^k\}$ , выбранный на  $j^*$ -м шаге,  $j^* = \overline{1, R}, a^0 = 0, n_0 = 0$ . Размерность множества определяется размерностью входного изображения.

Функциональное описание ПИ сети представим в следующем виде.

Рассмотрим преобразование  $G(M) = \{a_j | j = 1, 2, \dots, m_1\}$ , применяемое в каждом канале (ветви ПИ сети) обработки, и представленное с помощью формулы (1). Исходное изображение  $M$  представим  $n$  сегментами, над которыми преобразование  $G$  одновременно выполняется в каждом канале обработки  $i, i = 1, \dots, n$ . Тогда, анализируемый  $i$ -й сегмент изображения -  $M_i^1 = \{a_{ij}^1 | j = 1, 2, \dots, m_i^1\}$ , где  $m_i^1$  – число компонентов в  $i$ -м канале первого уровня, а все анализируемые сегменты могут быть представлены в виде матрицы  $A_1$ :

$$A_1 = \begin{bmatrix} M_1^1 \\ M_2^1 \\ \dots \\ M_i^1 \\ \dots \\ M_n^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}^1 & a_{12}^1 & \dots & a_{1m_1^1}^1 & x & x & \dots & x \\ a_{21}^1 & a_{22}^1 & \dots & \dots & a_{2m_2^1}^1 & x & \dots & x \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & x \\ a_{i1}^1 & a_{i2}^1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & a_{im_i^1}^1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & x \\ a_{n1}^1 & a_{n2}^1 & \dots & a_{nm_n^1}^1 & x & x & \dots & x \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $x$  обозначает отсутствие компоненты. Индекс столбца указывает на шаг извлечения компоненты, а индекс строки указывает канал, из которого этот компонент извлечен. В операторной форме анализ данных, заданных матрицей  $A_1$ , на втором уровне отобразим при помощи операции транспонирования –  $T$ . То есть исходная матрица на втором уровне будет представлена как  $A_1^T = T(A_1)$ . После выполнения операции транспонирования индекс строки указывает на номер шага для извлечения компоненты.

На втором уровне обработки, иначе втором уровне ПИ сети, преобразование  $G$  организовано так, что имеется возможность для исследования корреляций между компонентами, которые были одновременно извлечены из различных каналов первого уровня. Эта процедура применяется к строкам матрицы  $A_1^T$ :

$$A_2 = G(A_1^T) = G(T(G(M))) = \begin{bmatrix} a_{11}^2 & a_{12}^2 & \dots & \dots & a_{1m_1^2}^2 & x & \dots & x \\ a_{21}^2 & a_{22}^2 & \dots & a_{2m_2^2}^2 & x & x & \dots & x \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & x \\ a_{i1}^2 & a_{i2}^2 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & a_{im_i^2}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & x \\ a_{n^2,1}^2 & a_{n^2,2}^2 & \dots & a_{n^2,m_{n^2}^2}^2 & x & x & \dots & x \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $n^2 = m^1, m^2$  соответственно обозначает число параллельных каналов и номер шага обработки на втором уровне.

Матрица  $A_2$  формируется на втором уровне обработки (втором уровне ПИ сети) после выполнения временной декомпозиции, при которой каждая компонента  $a_{ij}^2$  извлекается на шаге  $t = i + j^* - 1$ . Если матрица  $A_2$  сформирована таким образом, что индекс столбца указывает шаг извлечения компоненты, то та же самая процедура обработки может быть применена на каждом последующем уровне иерархии. Эта процедура реализована как горизонтальное выравнивание строк матрицы  $A_2$  и располагает первый непустой элемент в каждой строке на главной диагонали. Ре-

зультулирующая матрица обозначена как  $A_2^*$ , и  $A_2^* = P(A_2)$ , где  $P$  – оператор сдвига строки.

$$A_2^* = \begin{bmatrix} a_{11}^2 & a_{12}^2 & \dots & \dots & \dots & a_{1m_1}^2 & x & \dots & \dots & \dots & \dots & x \\ x & a_{21}^2 & a_{22}^2 & \dots & a_{2m_2}^2 & x & x & \dots & \dots & \dots & \dots & x \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & x \\ x & x & x & a_{i1}^2 & a_{i2}^2 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & a_{im}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & x \\ x & x & x & x & x & a_{n^2_1}^2 & a_{n^2_2}^2 & \dots & a_{n^2_{m_1}}^2 & x & \dots & x \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Компонента  $a_{11}^2$  является единственной и поэтому может быть извлечена на первом шаге обработки второго уровня. Эта компонента во времени не связана со всеми другими компонентами второго уровня и поэтому является выходной (первым хвостовым элементом ПИ сети). Она является также промежуточным результатом сетевой обработки, и единственной компонентой, извлеченной в результате многоступенчатой обработки на втором уровне. Эта компонента получается из матрицы, путем удаления первого ее столбца, а остающиеся компоненты сохраняются в матрице  $A_2^{**}$ . Эта процедура выполняется путем применения оператора  $L$ , то есть  $L(A_2^*) = a_{11}^2 + A_2^{**}$ . Матрица третьего уровня  $A_2^T$  получается после выполнения операции транспонирования  $T$  матрицы  $A_2^{**}$ , которая может быть записана в следующем виде -  $A_2^T = T(L(P(A_2^*)))$ .

Описанная процедура выполняется на каждом последующем иерархическом уровне до последнего уровня –  $k_{\max}$ , в котором матрица  $A_{k_{\max}}$  содержит одиночный элемент. Тогда  $T(L(P(A_{k_{\max}}))) = \emptyset$ . Последовательное использование операторов  $G, P, L, T$  может быть представлено как выполнение оператора  $F$ :  $F(A_k^T) = T(L(P(G(A_k^T)))) = A_{k+1}^T$ . Последовательное применение оператора  $F$  может быть представлено как  $F^k(A_1^T) = F^{k-1}[F(A_1^T)]$ . Тогда весь многоуровневый процесс можно представить в следующей операторной форме:

$$F^{k_{\max}-1} \left[ T \left( G \left( \bigcup_{i=1}^n M_i \right) \right) \right] = \{ a_{11}^k \mid k = 2, 3, \dots, k_{\max} \}. \quad (5)$$

Таким образом, результат обработки в ПИ сети представляется как вектор образа.

Воспользуемся общей идеей популяционного кодирования [2], построив модель какого-либо конечного действия, совершаемого по всем текущим действиям. Т. е. конечное действие состоит из последовательности текущих действий. Так, например, конечное действие в виде зрительной саккады состоит из последовательности текущих микросаккад [3]. На уровне ветвей нейронной сети данное конечное действие при реализации популяционного кодирования отвечает усредненным параметрам этой сети [2].

Для ПИ сети усредненными параметрами являются количество элементов в ветви каждого уровня, которые определяются на основе модели вида (1), и значения самого элемента. В этом случае текущий образ, который распознается, будет отображаться текущей ПИ сетью, и сравниваться с эталонной ПИ сетью с усредненными

ми параметрами. ПИ сеть с усредненными параметрами формирует эталонную сеть эталонного образа.

Обозначив среднее значение произвольного элемента (первого уровня через  $\bar{a}_{i,j}^1$ , второго уровня –  $\bar{a}_{i,j}^2$ , третьего уровня –  $\bar{a}_{i,j}^3$  и т.д.  $k$ -го последнего уровня  $\bar{a}_{i,j}^k$ , а также среднее число элементов первого уровня –  $N_{\bar{a}_{i,j}^1}$ , второго уровня –  $N_{\bar{a}_{i,j}^2}$ , третьего уровня –  $N_{\bar{a}_{i,j}^3}$  и т.д.  $k$ -го уровня –  $N_{\bar{a}_{i,j}^k}$  можно сформировать

ПИ сеть с усредненными параметрами согласно с идеей популяционного кодирования. Среднее число элементов произвольного уровня вычисляется в соответствии с формулой:

$$\bar{a}_{i,j}^k = \frac{\sum_k a_{i,j}^k}{N_{\bar{a}_{i,j}^k}}. \quad (6)$$

Синтезированная таким способом структура ПИ сети с усредненными параметрами показана на рис. 1.

Текущий образ или исследуемый образ, который обработан ПИ сетью с текущими параметрами  $a_{i,j}^1, a_{i,j}^2, a_{i,j}^3, \dots, a_{i,j}^k$  и соответствующим числом элементов в ветвях каждого уровня –  $N_{a_{i,j}^1}, N_{a_{i,j}^2}, N_{a_{i,j}^3}, \dots, N_{a_{i,j}^k}$ , сравнивается с эталонным образом,

который обработан ПИ сетью с усредненными параметрами –  $\bar{a}_{i,j}^1, \bar{a}_{i,j}^2, \bar{a}_{i,j}^3, \dots, \bar{a}_{i,j}^k$  и средним числом элементов в ветвях соответствующего уровня  $N_{\bar{a}_{i,j}^1}, N_{\bar{a}_{i,j}^2}, N_{\bar{a}_{i,j}^3}, \dots, N_{\bar{a}_{i,j}^k}$ . Текущие параметры ПИ сети  $a_{i,j}^1, a_{i,j}^2, a_{i,j}^3, \dots, a_{i,j}^k$  вычисляются в ее ветвях по формуле (1).

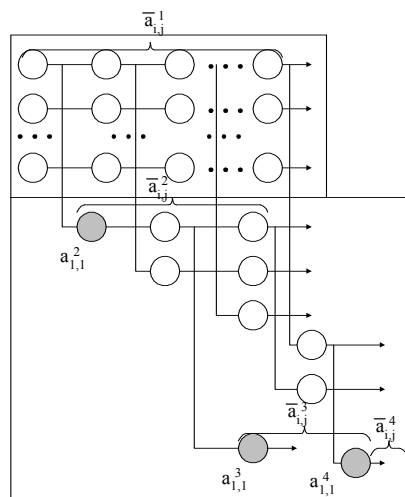


Рис. 1. Структура ПИ-сети [4] с усредненными параметрами

Если воспользоваться препарированием, т.е. адаптивным пороговым преобразованием с вычисляемым порогом с применением формулы для контурного препарирования, так как это описано в работе [5], элементов ПИ сети для каждого уровня [2], то от усредненных параметров  $\bar{a}_{i,j}^1, \bar{a}_{i,j}^2, \bar{a}_{i,j}^3, \dots, \bar{a}_{i,j}^k$  можно перейти на основе трехуровневого кодирования к их отображению тернарными препаратами (-1, 0, +1). Затем определяются массивы разностей элемента со средним значением яркостей элементов разложения образа (или его фрагмента), в котором находится элемент изображения.

Для произвольного усредненного параметра тернарный переход может отображаться тремя видами препаратов: нулевым  $a_{i,j}^0$ , положительным  $a_{i,j}^1$ , отрицательным  $a_{i,j}^{-1}$  или обозначение препаратов в общем виде  $a_{i,j}^{(\cdot)}$ . В этом случае ПИ сеть с числовыми отсчетами преобразуется в ПИ сеть с отсчетами  $a_{i,j}^0, a_{i,j}^1, a_{i,j}^{-1}$  [6]. Эту процедуру тернарного преобразования можно описать в следующем виде:

$$R_{ij} = a_{i,j}^k - \bar{a}_{i,j}^k. \quad (7)$$

Для препарирования образа полученная разность сравнивается с вычисляемым порогом  $\delta$ , т.е.

$$a_{i,j}^{(\cdot)} = \begin{cases} 1, & \text{если } R_{ij} > \delta \\ -1, & \text{если } R_{ij} < -\delta \\ 0, & \text{если } |R_{ij}| \leq \delta \end{cases} \quad (8)$$

Причем порог  $\delta$  вычисляется из условия:

$$N_t^{(1)} \cdot N_t^{(-1)} \cdot N_t^{(0)} = \text{Max}, \quad (9)$$

где  $N_t^{(1)}, N_t^{(-1)}, N_t^{(0)}$  – количество единичных, минус единичных и нулевых препаратов для каждого порога  $t$ . При выполнении условия (9) будет справедливо соотношение  $N_t^{(1)} \approx N_t^{(-1)} \approx N_t^{(0)}$ .

В отличие от пороговой передаточной функции нейрона для известных нейронных сетей [16] для пороговой функции (8) при реализации ПИ сети порог не задается как некоторая постоянная величина, а является функцией от числа положительных, отрицательных, нулевых препаратов и вычисляется с помощью формулы (9).

Таким образом, пороговое адаптивное преобразование необходимо для того, чтобы при формировании тернарных препаратов сравнение текущих и усредненных элементов изображения по формуле (8) производилось не на уровне шумовых сигналов, т.е. с нулем, а для каждого изображения вычислялся свой порог  $\delta$ , который адаптировался к конкретному изображению, тем самым повышая помехоустойчивость преобразования.

При таком преобразовании существенно упрощается процедура корреляционного сравнения отсчетов текущей и эталонной ПИ сетей, т.к. данное сравнение выполняется не над полутоновыми отсчетами, а над простыми тернарными препаратами (0, +1, -1).

Для формирования эталонов изображения необходимо провести обучение по выборке. Для этого следует делать усреднение в ветвях каждого уровня, то есть

---

формировать усредненные элементы  $\bar{a}_{i,j}^1, \bar{a}_{i,j}^2, \bar{a}_{i,j}^3, \dots, \bar{a}_{i,j}^k$ , а затем перейти к тернарным препаратам  $a_{i,j}^0, a_{i,j}^1, a_{i,j}^{-1}$ . Выполнив вышеуказанные действия, сформируем ПИ сеть с эталонными параметрами для текущих изображений. После этого найдем коэффициент корреляции с ПИ сетью, которая использует текущие параметры. (Под ПИ сетью с текущими параметрами понимается ПИ сеть с текущими значениями ее элементов  $a_{i,j}^1, a_{i,j}^2, a_{i,j}^3, \dots, a_{i,j}^k$  с переходом к тернарным препаратам  $a_{i,j}^0, a_{i,j}^1, a_{i,j}^{-1}$  и текущим числом элементов в ветвях каждого уровня  $N_{a_{i,j}^1}, N_{a_{i,j}^2}, N_{a_{i,j}^3}, \dots, N_{a_{i,j}^k}$ ).

Для анализа данных, для которых существенна последовательность, используют хронологические ряды, которые иначе называют временными рядами. Каждый временной ряд состоит из периодов, или моментов времени  $t$ , которым соответствуют «уровни ряда», и моменты времени  $t$ . В качестве статистических показателей в данном методе используются координаты энергетических центров изображений пятен лазерных пучков [7, 8].

Сглаживание эмпирических данных по гиперболе. Из проведенного в работе [9] анализа методов сглаживания эмпирических данных видно, что независимо от метода сглаживания и способа определения линии тренда происходит одинаковое распределение «пиков» и «ям». Для второй стадии статистического исследования, то есть статистической сводки и группировки первичных данных, будет использоваться метод сглаживания по гиперболе, описанный ниже.

Выявление основной тенденции ряда (тренда) является одним из главных методов анализа и обобщения временных рядов. Линия тренда временного ряда указывает на изменение исследуемого явления во времени без определенных отклонений, вызванных разными факторами. Тенденцию развития явлений во времени можно найти в соответствии с методами увеличения интервалов, скользящей средней и аналитического сглаживания [10].

Уровни временного ряда рассмотрим как функцию времени (10):

$$\hat{Y}_t = f(t). \quad (10)$$

Задача сглаживания сводится к нахождению такого вида функции, ординаты точек которой являются ближайшими к значениям фактического временного ряда.

Самыми распространенными закономерностями, описывающие тенденцию развития явлений, являются: прямая, показательная функция, парабола второго и третьего порядков, гипербола, логистическая функция, экспонента, ряд Фурье и др. Анализ показывает, что наиболее целесообразным является использование метода сглаживания по гиперболе, поскольку именно гипербола наиболее точно описывает возрастание или спадание временного ряда, а также данный метод сглаживания является менее трудоемким по сравнению с другими методами [10, 11].

Уравнение гиперболы можно записать в виде:

$$\hat{Y}_t = a_0 + \frac{a_1}{t}, \quad (11)$$

где  $a_0, a_1$  – параметры уравнения гиперболы, для нахождения которых методом наименьших квадратов необходимо применить систему нормальных уравнений вида:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Y_i = na_0 + \sum_{i=1}^n \frac{a_1}{t_i}, \\ \sum_{i=1}^n Y_i \frac{1}{t_i} = a_0 \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i} + a_1 \sum_{i=1}^n \frac{1}{t_i^2}. \end{cases} \quad (12)$$

Из системы (12) несложно находятся параметры уравнения гиперболы  $a_0, a_1$  вида:

$$\lg a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg Y_i}{n}, \quad (13)$$

$$\lg a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \lg Y_i}{\sum_{i=1}^n t_i^2}. \quad (14)$$

Если выполнить аппроксимацию сглаженного ряда на  $N$  шагов вперед, то можно осуществить прогноз тренда на несколько шагов. Качественные показатели прогнозирования (средняя и максимальная ошибки прогнозирования) можно найти путем экспериментального определения оптимального шага дискретизации и количества шагов прогнозирования.

Исходя из заданий контроля параметров пучка лазерного излучения, будем использовать векторы  $\bar{X}$  и  $\bar{Y}$ , использующие координаты  $X$  и  $Y$  энергетических центров фрагментов трасс в качестве основных показателей для распознавания изображений пятен лазерных пучков и прогнозирования. Коэффициенты корреляции на первом, среднем, предпоследнем и третьем с конца уровнях ПИ сети будут вспомогательными при использовании метода обучения ПИ сети для распознавания динамических образов.

Для разработанного метода прогнозирования положения энергетических центров изображений пятен лазерных пучков и точного измерения положения энергетических центров изображений пятен лазерных пучков путем определения центра тяжести разработано программное обеспечение.

Для начала работы с изображениями лазерной трассы ее файл необходимо открыть через диалоговое окно выбора файла трассы. Разработанное программное средство содержит окно для иллюстрации динамики движения пятен лазерных пучков по осям  $X$  и  $Y$ , а также прогностического графика движения лазерных пучков по осям  $X$  и  $Y$ . Также содержатся следующие информационные блоки: информация о видеотрассе; определение центра тяжести – энергетических центров пятенных образов лазерной трассы; статистические параметры; прогнозирование.

После загрузки файла трассы первый информационный блок автоматически заполняется следующей информацией: количество кадров, содержащихся в трассе; ширина и высота кадра в пикселях; глубина цвета в битах; количество кадров в секунду.

Также автоматически заполняется третий информационный блок следующей информацией: минимальные и максимальные значения координат по осям  $X$  и  $Y$  соответственно; средние значения координат по всей трассе по осям  $X$  и  $Y$  соответственно; средние квадратичные отклонения координат по всей трассе по осям  $X$  и  $Y$  соответственно.

Вычисление центра тяжести происходит динамически в реальном времени при работе с файлом с фиксацией следующих параметров: - положение энергетического центра пучка по осям  $X$  и  $Y$  соответственно в пикселях с точностью до 3-го знака

после запятой;- отклонение энергетического центра пучка по осям  $X$  и  $Y$  от средних значений в пикселях с точностью до 3-го знака после запятой;- номер кадра.

Последний информационный блок программной реализации «Прогнозирование» предназначен для прогнозирования координат местоположения энергетических центров лазерных трасс. В данном блоке можно отрегулировать следующие параметры прогнозирования:- шаг дискретизации прогнозирования;- количество шагов, которые необходимо спрогнозировать;- точность, которая будет использоваться при прогнозировании.

Для проверки эффективности работы разработанной программной реализации были проведены эксперименты над образами пятен лазерных трасс. Основные результаты получены, используя базы данных лазерных трасс, предоставленные НПО «Астрофизика» и ЗАО «Космические информационно-аналитические системы» (г. Москва, РФ), где проводилось внедрение полученных практических результатов работы.

Базы содержат последовательности кадров пятен лазерных пучков, формирующих отдельные трассы. Каждая трасса формируется из фрагментов (как правило, от двух до пяти тысяч), полученных от приемного устройства с периодичностью 40 мс. Каждое изображение образа имеет размерность  $128 \times 128$  э.р.

Для проверки разработанного метода и определения эффективности его работы, были проведены эксперименты по прогнозированию положения энергетических центров изображений лазерных пучков на основе известных нейронных сетей. Прогнозирование выполнялось на один шаг. Эксперименты промоделированы в программе STATISTICA 6.0 [12]. Максимальная относительная погрешность  $\delta_{\text{max}}$  меньше при использовании нейронных сетей, поэтому они являются более предпочтительными для применения по сравнению с численными методами [11].

Результаты экспериментальных исследований по прогнозированию временных рядов приводятся в табл. 1.

**Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований по прогнозированию временных рядов, полученных с помощью известных типов нейронных сетей**

№ п/п	Нейронная сеть	Средняя ошибка прогнозирования, %	Максимальное значение ошибки прогнозирования, %	Количество шагов прогнозирования
1	РБФ S1	1,63	5,81	1
2	Линейная S5	1,63	4,74	1
3	Линейная S3	1,62	4,75	1
4	МП 5-8-4	1,63	5,04	1
5	МП 5-5-4	1,63	5,04	1
6	ПИ	0,55	1,23	1

Погрешности вычислялись следующим образом:

$$\delta_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^N |(X_{\text{прогн.}} - X_{\text{тек.}}) / X_{\text{тек.}}|}{N} \cdot 100\%, \quad (16)$$

$$\delta_{\text{max}} = \text{MAX} \left( |(X_{\text{прогн.}} - X_{\text{тек.}}) / X_{\text{тек.}}| \right) \quad (17)$$

где  $X_{\text{прогн.}}$  – спрогнозированное значение координаты;  $X_{\text{тек.}}$  – текущее значение координаты.

Исследованы многочисленные примеры, которые убедительно демонстрируют целесообразность применения разработанного метода для задач корреляционного сравнения и прогнозирования характеристик изображений, в частности в задачах идентификации изображений для систем профилирования лазерных лучей (исследовано 10 видео трасс по 2044 изображений пятен лазерных пучков в каждой).

Из проведенных исследований видно, что средняя погрешность прогнозирования с применением разных типов нейронных сетей практически одинакова и составляет 1,62%. Максимальное значение погрешности прогнозирования с применением разных типов нейронных сетей колеблется в пределах 4,74%-5,81%.

Выполним прогноз с помощью разработанной программной реализации с применением ПИ сети. На рис. 2 и рис. 3 приводятся графики, полученные при прогнозировании временных рядов координат X и Y лазерных трасс.

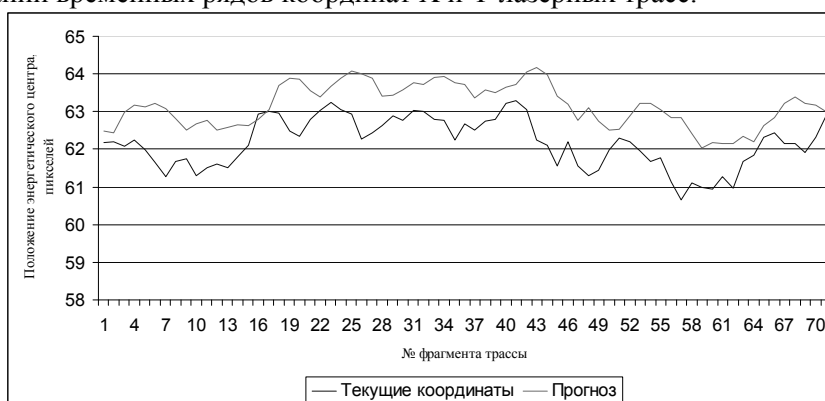


Рис. 2. Выполнение прогнозирования с использованием ПИ сети

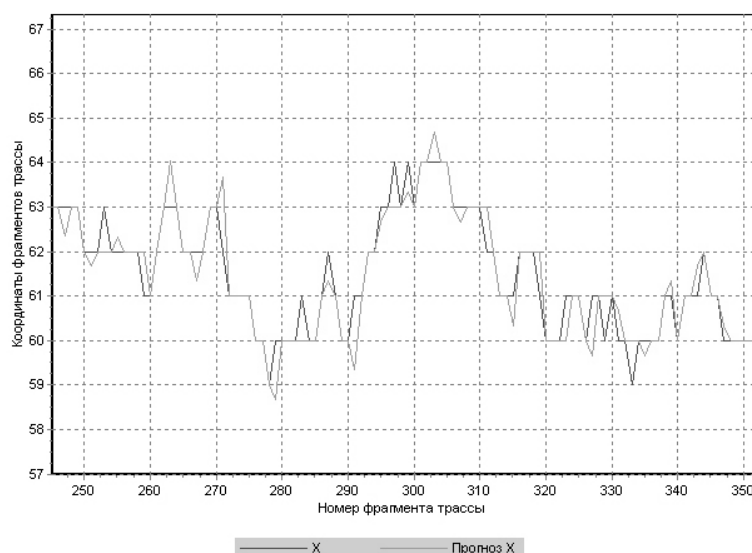


Рис. 3. Выполнение прогнозирования с помощью нейророботной ПИ сети (увеличенный фрагмент)

Соответствующие показатели составили: 1) средняя погрешность прогнозирования – 0,552 %; 2) максимальное значение погрешности прогнозирования – 1,23 %.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Елисеев И. И., Костеева Т. В., Хоменко Л. М.* Международная статистика.– Минск: Высш. шк., 1995.– с. 58-63.
2. *Л. И. Тимченко, Ю. Ф. Кутаев, В. П. Кожемяко, А. А. Яровой, А. А. Герций, А. Т. Теренчук, Н. Швейки* .Метод обучения параллельно-иерархической сети, на базе популяционного кодирования для обработки изображений расширенных лазерных трас // Труды SPIE.– Т. 4790, 2002. – С. 465-479.
3. *Тимченко Л. И.* Конвергентні та дивергентні процеси в реальних та штучних нейронних мережах. //Вісник ВПІ. – 1997. – №1. – С. 5-10.
4. *Четыркин Е. М.* Статистические методы прогнозирования.– М.: Статистика, 1987.–200 с.
5. *Железняк А. Л., Тимченко Л. И., Стасюк О. І., Скорюкова Я. Г., Марков С.М.* Сегментація напівтонних зображень за ознакою зв'язаності: Монографія.- К.:ДЕТУТ, 2008.–144 с.
6. *Тимченко Л. И.* Многоэтапная параллельно-иерархическая сеть как модель нейроподобной схемы вычислений.// Кибернетика и системный анализ.– №2.– 2000.– с.114-134.
7. Применение параллельно-иерархического метода распознавания изображений пятен лазерных пучков. //Материалы Международной научно-технической конференции «Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы – 2009» / Л. И.Тимченко, В. В.Мельников, Н. И.Кокряцкая [и др.] – Таганрог. – С. 147-150.
8. Метод знаходження енергетичних центрів фрагментів лазерних протяжних трас в реальному масштабі часу для розпізнавання образів. // Праці ІХ Всеукраїнської міжнародної конференції «Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів» / Л. І.Тимченко, В. В.Мельніков, Н. І.Кокряцька [та ін.] – Київ. – 2008.– С. 213-216.
9. Теорія статистики / Вашків П. Г., Пастер П. І., Сторожук В. П [та ін.] – К. Либідь, 2001.– с.8-9.
10. *Копрен У.* Методы выборочного исследования.– М.: Статистика, 1976.
11. *Тимченко Л., Поплавский А., Петровский Н., Кокряцкая Н., Кутаев Ю.* Метод формирования туннеля для улучшения прогноза результатов поведения пучков изображений лазерного пятна. J. Opt. Eng. 50, 117007 (2011), DOI:10.1117/1.3655502.
12. *Боровиков В. П.* STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере.– СПб.: Питер, 2003.– 688 с.

---

## ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

УДК 656.025.2

*Тетяна Грушевська*

### ТЕХНОЛОГІЯ ПРИМІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗАЛЕЖНО ВІД ІНТЕРВАЛУ ВІДПРАВЛЕННЯ І ДАЛЬНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ

*В даній статті висвітлено основні проблеми, що існують у приміському пасажирському комплексі та запропоновано заходи щодо удосконалення технології організації приміських перевезень залежно від інтервалу руху і дальності перевезення пасажирів на залізницях України.*

*В данной статье рассматриваются основные проблемы, существующие в пригородном пассажирском комплексе и предложены мероприятия по совершенствованию технологии организации пригородных перевозок в зависимости от интервала движения и дальности перевозки пассажиров на железных дорогах Украины.*

*This article highlights the main problems that exist in suburban passenger complex and suggest measures to improve the technology of commuter traffic, depending on the interval of motion and distance of passengers on the railways of Ukraine.*

**Ключові слова:** приміські пасажирські перевезення, населеність вагонів, технологія перевезень, інтервали відправлення поїздів.

#### **Постановка проблеми та її зв'язки з науковими і практичними завданнями**

Пасажирські перевезення в приміському сполученні наймасовіші і доступні для населення, мають високу соціальну значимість. Вони складають близько 90% у загальних обсягах перевезених пасажирів. Накопичений вітчизняний і закордонний досвід роботи щодо удосконалення організації приміських пасажирських перевезень свідчить про необхідність застосування нових організаційних і технологічних рішень в управлінні перевезеннями. Для раціонального використання пасажирського рухомого складу і підвищення зручностей, комфорту пасажирів на залізницях треба постійно проводити дослідження населеності вагонів у поїздах приміського сполучення залежно від сезонності, рівня сервісу, якості наданих послуг, а також інтервалу відправлення і дальності перевезень пасажирів.

Подальше збільшення перевезень вимагає формування нового рівня транспортного забезпечення потреб економіки і суспільства. Однак на сьогоднішній день технологія приміських перевезень відбувається, зважаючи на обсяги перевезень відповідного періоду минулого року, без урахування існуючого коливання попиту на перевезення, який може змінюватися. Тому в подальшому ефективнішим буде здійснювати коригування організації приміського руху залежно від величини пасажиропотоку, інтервалів відправлення приміських поїздів, з урахуванням

© Грушевська Т. М., 2013

---

раціонального використання рухомого складу в умовах його дефіциту, оскільки набирають сили небезпечні тенденції фізичного і морального старіння виробничо-технічної бази та зниження провізних спроможностей залізниць.

Основна задача організації приміських пасажирських перевезень полягає в досягненні максимальної ефективності функціонування приміського пасажирського транспорту, забезпеченні повного і якісного задоволення попиту населення на перевезення з виправданим рівнем витрат. Одним із основних напрямків розвитку організації приміських пасажирських перевезень є формування та подальше удосконалення інтервалів відправлення та дальності перевезень пасажирів.

**Аналіз попередніх досліджень і виділення не вирішених раніше аспектів проблеми, яким присвячена стаття.** У розвиток досліджень організації приміських пасажирських перевезень, розроблення систем регулювання розмірів руху поїздів зробили великий внесок такі вчені: Аксьонов І. М., Балака Є. І., Бараш Ю. С., Бутько Т. В., Власюк Т. А., Гудков О. М., Ейтутіс Г. Д., Задоя В. О., Константинов Д. В., Кочнев Ф. П., Кулаєв Ю. Ф., Марчук Б. Є., Мукмінова Т. А., Негрей В. Я., Пазойський Ю. О., Позднякова Л. О., Правдін Н. В., Семенцова О. В., Христофор О. В., Шубко В. Г., Яновський П. О. та ін. Але, незважаючи на велику кількість публікацій науковців та фахівців, що присвятили свої роботи проблемам поліпшення стану та підвищення ефективності організації приміських залізничних перевезень, через різні причини не могли бути повно розкриті нові питання організації приміських перевезень, які здатні адаптувати розвиток залізничних перевезень до ринкових умов, що змінюють підходи до розв'язання цієї задачі.

Зокрема до найперспективніших напрямків зниження затрат у приміському сполученні належить удосконалення графіка руху приміських поїздів з впровадженням черговості та інтервалу відправлення приміських поїздів. А оскільки населеність приміських составів варіюється в широкому діапазоні, то це призводить до того, що в періоди спаду пасажиропотоку відбувається непродуктивне використання енергоресурсів на тягу напівпорожніх составів. Раніше аспект енергозбереження ніколи не був таким актуальним як нині, тому інтервали відправлення, дальність перевезень і порядок прокладки в графіку руху приміських поїздів з урахуванням цього аспекту потребує додаткових досліджень.

**Мета** даної статті – обґрунтувати напрямок вдосконалення технології приміських пасажирських перевезень за рахунок встановлення черговості та інтервалів відправлення приміських пасажирських поїздів, враховуючи змінний попит пасажирів на перевезення.

**Подання основного матеріалу досліджень з обґрунтуванням наукових результатів.** Система організації приміських пасажирських перевезень розглядається як одна із складових єдиної системи пасажирського транспорту. На залізничному транспорті система організації перевезень етапна. На першому етапі встановлюється очікуваний обсяг перевезень на основних напрямках і ділянках, на другому – вибирається раціональний план формування составів приміських поїздів, потім складається схема обороту составів на полігонах мережі і розробляється графік пасажирського руху.

Розміри руху приміських поїздів значною мірою визначають якість і ефективність перевізного процесу, оскільки з одного боку з ними пов'язані умови проїзду пасажирів, а з іншого – потреба у рухомому складі, необхідна пропускна спроможність. Враховуючи збитковість приміських пасажирських перевезень і високу собівартість, необхідність уникнення в перспективі «перехресного субсидування»,

---

---

кількість поїздів повинна відповідати величині та структурі приміських пасажиропотоків, технічним можливостям депо, власників та операторів рухомого складу, напрямків та станцій. [6].

Особливо актуальним в сучасних умовах є розробка комплексу задач з визначення раціональних експлуатаційних параметрів, що сприяють підвищенню ефективності приміських перевезень, зокрема: розрахунок кількості приміських поїздів для освоєння пасажиропотоку на конкретній дільниці; організація руху приміських поїздів з різною частотою, пасажиромісткістю і кількістю вагонів; визначення показників, що характеризують якість приміських пасажирських перевезень та ін.

Приміські пасажирські поїзди можуть прямувати на короткі, середні і далекі відстані. А для того, щоб покращити населеність составів приміських електропоїздів, необхідно передбачити їх можливу граничну населеність при різних варіантах прокладки ниток на графіку руху поїздів та характеристиках цих поїздів. В пікові періоди перевезень черговість прокладки поїздів на ближні і більш далекі відстані не впливає на величину пропускної спроможності ділянки. Проте порядок прокладки поїздів на графіка в ці періоди здійснює суттєвий вплив на умови проїзду пасажирів. Тому в пікові періоди доцільно спочатку прокладати поїзди, які прямують на ближні відстані, а потім на більш далекі. При такому способі прокладки поїздів на графіка руху пасажирів ближніх зон не будуть заповнювати поїзди, які прямують на далекі зони. І тому покращаться умови проїзду пасажирів далеких зон.

У періоди спаду пасажиропотоків доцільно використовувати зонний непаралельний графік руху поїздів. При цьому для забезпечення найбільшої пропускної спроможності ділянки спочатку варто прокладати поїзди, які прямують на далекі відстані, а потім на ближні [7].

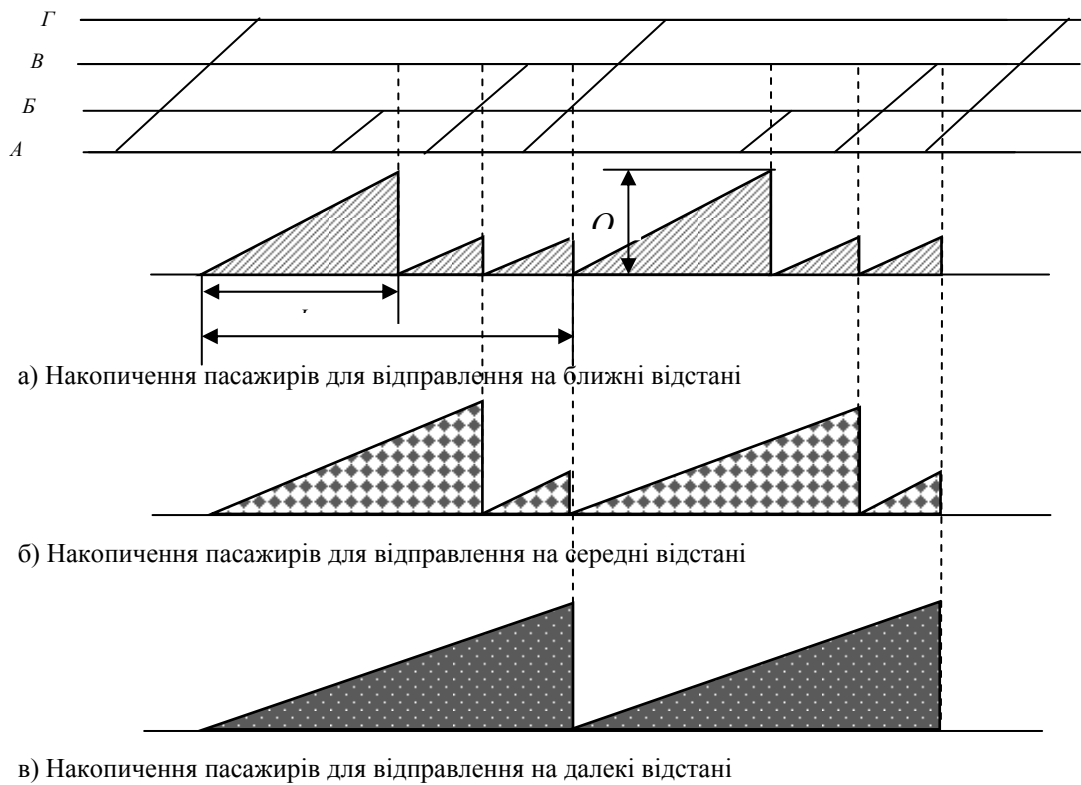
З метою покращення якості обслуговування пасажирів доцільно прокладати нитки графіка руху приміських поїздів з нерівними інтервалами (рис. 1). Для цього після відправлення поїзда далекого призначення відповідно до інтенсивності накопичення пасажирів на головній станції, робити більш тривалий інтервал до відправлення приміського поїзда ближнього призначення. Це дозволить збільшити населеність составів приміських поїздів ближніх призначень і значно покращити ступінь їх використання.

При строго рівномірній прокладці поїздів виходить найбільша нерівність заселеності вагонів приміських поїздів. Далекі поїзди виявляються перенаселеними у порівнянні з наявними місцями в 1,5 – 3,0 рази.

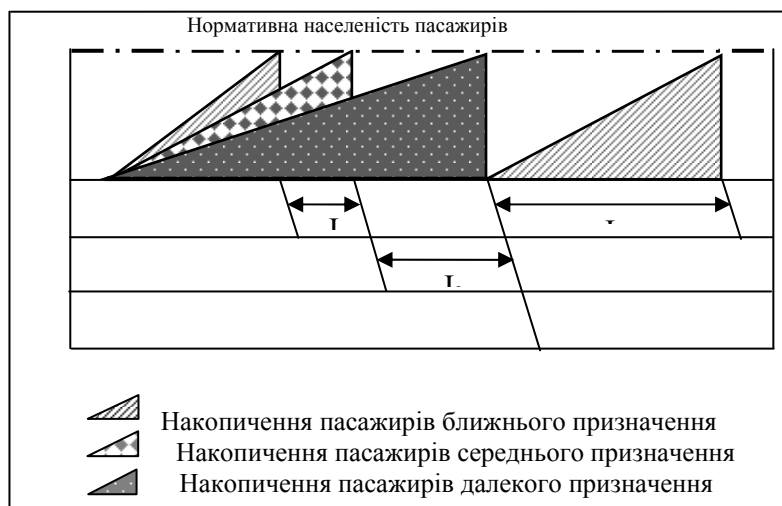
Створення нерівномірності в прокладці приміських поїздів і щільність їх перед поїздами далеких призначень дозволяє зменшити населеність далеких і збільшити заселеність ближніх поїздів. Від ступеня щільності в прокладці приміських поїздів різних призначень перед далекими поїздами залежить характер населеності вагонів далекого призначення. В практичних умовах можливо, що інтервал між поїздами може бути від мінімального до максимального (рис. 2).

Слід врахувати, що нерівномірність в прокладці приміських поїздів, яка зумовлює передумови до їх рівномірної або однакової заселеності, створює значні додаткові незручності для пасажирів, що пов'язані із збільшенням часу очікування пасажирів свого відправлення із станції. В даній статті рекомендується використовувати формули для розрахунку нормативного часу очікування відправлення пасажирів, а залежно від цього можна розрахувати інтервали згущення при прокладці приміських поїздів різних призначень.

---



*Рис. 1. Характер накопичення пасажирів при відправленні далеких поїздів після відправлення приміських поїздів призначенням на ближні і середні відстані з нерівномірним інтервалом, отриманий натурно-аналітичним методом: де  $Q_c$  – норма населеності состава приміського поїзду пасажирями;  $J_d$  – інтервал між двома приміськими поїздами, які слідують на найбільш далекі відстані;  $J_s$  – інтервал згущення, тобто час між відправленням далекого і першого ближнього приміського поїзда.*



*Рис. 2. Залежність інтервалів відправлення приміських поїздів від інтенсивності накопичення пасажирів*

Із рис. 1 видно, що поїзди різних призначень відрізняються між собою залежно від ступеня населеності вагонів. Враховуючи те, що ця населеність повинна бути прийнятною, тобто для пасажирів вона не повинна перевищувати граничної вмістимості составів, а для перевізника – не нижча, ніж передбачена вмістимість поїздів. Таким чином, при відправленні далеких поїздів перед поїздами ближнього призначення, далекі поїзди населяються пасажирами, які прямують як на ближні, середні і далекі відстані, що часто призводить до перенаселення поїздів далекого призначення. Разом з тим поїзди ближнього і середнього призначення можуть бути з населеністю меншою, ніж нормативна.

Розглянемо сумарний час очікування відправлення пасажирами, які прямують на ближні, середні і далекі відстані при рівномірній і нерівномірній прокладці приміських поїздів. Враховуючи характер накопичення пасажирів при відправленні далеких поїздів після приміських составів призначенням на ближні і середні відстані з різними інтервалами, що схематично зображено на рис. 1, 2, пасажиро-години очікування поїздів для різних призначень можна визначити як площу трикутника.

### **Рівномірна прокладка приміських поїздів**

*Для пасажирів, які прямують на ближні відстані*

При строго рівномірній прокладці приміських електропоїздів протягом одного циклу сумарні пасажиро-години очікування відправлення пасажирами ближнього призначення до станцій можна визначити за формулою:

$$\sum nt_{\text{бли}} = N_{\text{гр}} \cdot \left( \frac{J_{\text{д}} \cdot Q_{\text{с}}}{N_{\text{сп}}} \cdot \frac{1}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{J_{\text{д}} \cdot Q_{\text{с}}}{N_{\text{сп}}}, \quad (1)$$

де  $N_{\text{гр}}$  – кількість составів приміських поїздів в групі між двома далекими поїздами;

$J_{\text{д}}$  – середній інтервал між прямунням двох приміських поїздів у разі рівномірної їх прокладки, хв.;

$Q_{\text{с}}$  – повна населеність состава у разі повного зайняття всіх наявних місць, пас;

*Для пасажирів, які прямують на середні відстані*

Для даної категорії пасажирів частина із них буде більш тривалий час очікувати часу відправлення із станції. Тоді, зважаючи із особливостей накопичення, зображених на рис.1 і 2, сумарний час очікування їх відправлення можна визначити за формулою:

$$\sum nt_{\text{ср}} = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot \frac{J_{\text{ср}} \cdot Q_{\text{с}}}{N_{\text{сп}}} = 2,5 \cdot \frac{J_{\text{д}} \cdot Q_{\text{с}}}{N_{\text{сп}}} \quad (2)$$

*Для пасажирів, які прямують на далекі відстані*

Сумарні пасажиро-години накопичення пасажирів можна визначити за формулою:

$$\sum nt_{\text{дал}} = \frac{1}{2} \cdot J_{\text{д}} \cdot Q_{\text{с}} \quad (3)$$

### **Нерівномірна прокладка приміських поїздів**

Нерівномірна прокладка приміських поїздів призводить до того, що для певних напрямків з окремими составами буде відправлятися нерівномірна кількість пасажирів.

---

*Для пасажирів, які прямують на далекі відстані*

Час очікування відправлення пасажирями, які прямують на далекі відстані, при будь-яких інтервалах між поїздами можна визначити за формулою:

$$\sum nt_{\text{дал}} = \frac{1}{2} \cdot J_{\text{д}} \cdot Q_c \quad (4)$$

А для поїздів ближнього і середнього призначення сумарний час очікування відправлення пасажирями буде змінюватися.

*Для пасажирів, які прямують на середні відстані*

Для пасажирів, які прямують на середні відстані, пасажиро-години очікування пасажирями відправлення з початкової станції визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} \sum nt_{\text{дал}} = & \frac{1}{2} \cdot \left( J_3 + \frac{J_{\text{д}} - J_3}{2} \right) \cdot \left[ \frac{J_3 + \frac{1}{2} \cdot (J_{\text{д}} - J_3)}{J_{\text{д}}} \right] \cdot Q_c + \\ & + \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{J_{\text{д}} - J_3}{2} \cdot \frac{J_{\text{д}} - J_3}{2J_{\text{д}}} \cdot Q_c \right] \end{aligned} \quad (5)$$

$J_3$  – інтервал згущення, тобто час між відправленням далекого і першого ближнього приміського поїзда.

*Для пасажирів, які прямують на ближні відстані*

Залежно від характеру зміни інтервалів між поїздами час очікування ближніми пасажирями відправлення з початкової станції при нерівномірних інтервалах можна визначити таким чином:

$$\begin{aligned} \sum nt_{\text{бли}} = & J_3 \cdot \frac{J_3}{J_{\text{д}}} \cdot Q_c \cdot \frac{1}{2} + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{(J_{\text{д}} - J_3)}{2} \cdot \left( Q_c - \frac{J_3}{J_{\text{д}}} \cdot Q_c \cdot \frac{1}{2} \right) = \\ & \frac{J_3^2}{J_{\text{д}}} \cdot Q_c \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot (J_{\text{д}} - J_3) \cdot \left( Q_c - \frac{J_3}{J_{\text{д}}} \cdot Q_c \cdot \frac{1}{2} \right), \text{нас / год} \end{aligned} \quad (6)$$

Пасажири, які прямують на короткі відстані, можуть відправлятися з поїздами, які прямують як на короткі і середні відстані, так і з далекими поїздами. А це означає, що чим на більш далеку відстань проїжджає поїзд, тим більше пасажирів може відправитися на ньому. Збільшується ймовірність найбільшої заселеності його на початку шляху прямування, а далі по ходу поїзда на ділянках місця будуть звільнятися й зменшуватиметься населеність вагонів, що приведе до значного підвищення питомих експлуатаційних витрат, які пов'язані з нерівномірністю пасажиропотоку.

В ближніх поїздах будуть відправлятися лише пасажири, які прямують на короткі відстані.

При відправленні приміських поїздів на середні відстані в них будуть знаходитись пасажири, які прямують на короткі і середні відстані.

При нерівномірному інтервалі між поїздами, що відправляються, при умові відправлення далеких поїздів після відправлення приміських поїздів ближнього і середнього призначення із зменшеним інтервалом, значно знижується населеність далеких поїздів і збільшується населеність поїздів призначенням на ближні і середні відстані. (рис. 5).

---

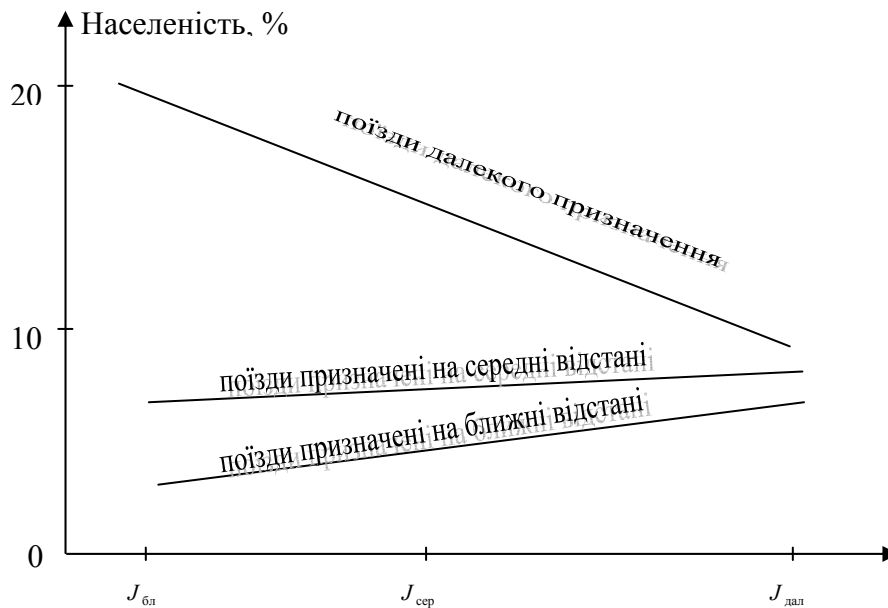


Рис. 5. Залежність населеності поїздів від зміни інтервалу

**Висновок.** Закономірності, що приведені вище, можуть бути використані при оцінці ефективності прокладки у великих містах маятникового графіка приміського руху. Цей принцип також може бути використаний при оцінці раціональних варіантів розміщення в графіка руху приміських поїздів, які прямують на ближні, середні і далекі відстані.

При сучасній організації приміських перевезень залізниці повинні якнайкраще задовольняти вимоги і попит споживачів. А з метою забезпечення прийнятної як для пасажирів, так і для перевізника населеності приміських поїздів, доцільно прокласти нитки графіка таким чином, щоб перед поїздами далекого призначення, відправляти поїзди на більш ближні призначення, що дозволить покращити показники ефективності приміських залізничних перевезень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Разработка рациональной схемы обращения пассажирских поездов./ Под ред. Федорова В. А. – М.: Транспорт, 1982 – 104 с. (Труды ВНИИЖТ, вып. 662).
2. Боровикова М. С. Организация движения на железнодорожном транспорте: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2003. – 368 с.
3. Кочнев Ф. П. Пассажирские перевозки на железных дорогах./ изд. 6-е, переработанное и дополненное. – М.: Транспорт, 1980. – 496 с.
4. Каретников А. Д., Воробьев Н. А. График движения поездов./ изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1979. – 301с.
5. Самсонкін В. М., Гудков О. М. Основи реорганізації пасажирського комплексу залізничного транспорту // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2009. – №25. – с. 78 – 81.
6. Грушевська Т. М. Організація приміських перевезень в умовах реформування залізничного транспорту // Залізничний транспорт України. – 2013. – №1.
7. Бецева Н. И. Местное пассажирское движение на электрифицированных линиях. – М.: Транспорт, 1969. – 223 с.
8. Бутько Т. В., Константинов Д. В. Удосконалення технології організації приміських перевезень // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 102. – с. 15 – 23.

## МЕТОДИ ЗБІЛЬШЕННЯ ОБЛАСТІ ДОПУСТИМИХ ШВИДКОСТЕЙ ВИХОДУ ВІДЧЕПІВ З ГАЛЬМОВИХ ПОЗИЦІЙ

*В статті подані результати досліджень, спрямованих на удосконалення сортувального процесу на гірках. Функціонування сортувальних гірок відбувається в умовах відсутності точної інформації про ходові властивості відцепів та умови їх скокування. Розглянуто заходи, що забезпечують збільшення області допустимих швидкостей виходу відцепів з гальмових позицій. Реалізація цих заходів дозволяє зменшити вимоги до точності інформації про ходові властивості відцепів і, як наслідок, спростити системи автоматизованого управління швидкістю скокування відцепів.*

*В статье представлены результаты исследований, направленных на совершенствование сортировочного процесса на горках. Функционирование сортировочных горок происходит в условиях отсутствия точной информации о ходовых качествах отцепов и условий их скатывания. Рассмотрены мероприятия, обеспечивающие увеличение области допустимых скоростей выхода отцепов из тормозных позиций. Реализация этих мероприятий позволяет уменьшить требования к точности информации о ходовых качествах отцепов и, как следствие, упростить системы автоматизированного управления скоростью их скатывания.*

*The paper presents results of researches aimed at improving the sorting process on the sorting humps. Exploitation of sorting humps occurs in the absence of full information about rolling cuts and about rolling conditions. Ways of enlarging of set of allowed speed of cars exit from braking positions are described. The implementation of these measures will reduce the requirements for the accuracy of the information about the characteristics of the rolling cuts and conditions of rolling and, consequently, to simplify the system of automated speed control on sorting humps.*

**Ключові слова:** сортувальна станція, сортувальна гірка, режим гальмування, гальмовий уповільнювач, розформування составів

Розформування-формування составів на сортувальних гірках є одним з основних елементів перевезень вантажів залізничним транспортом України. На сьогодні технічне забезпечення сортувального процесу в Україні представлено зразками техніки розробки 60-70 років 20-го сторіччя є фізично зношеним та морально застарілим і поступається закордонним аналогам по показникам безпеки сортувального процесу та його економічності [1]. Тому дослідження питань механізації та автоматизації сортувальних гірок є актуальною задачею для залізничного транспорту України в сучасних умовах.

---

Однією з основних задач комплексних автоматизованих систем управління процесом розформування составів, що залишається принципово не вирішеною на українських залізницях, є задача управління швидкістю скочування відчепів. Вирішення цієї задачі в Російській Федерації, Західноєвропейських країнах, Канаді та США досягається за рахунок комплексних заходів, що передбачають реконструкцію станцій та впровадження новітніх уповільнювачів і автоматизованих систем управління розпуском [2-6]. Разом з тим, в сучасних умовах залізниці України відчувають дефіцит інвестиційних ресурсів і перевага віддається поетапним проектам оновлення технічних засобів, що не вимагають значної концентрації коштів. Велика кількість комплексних систем та окремих технічних засобів, які забезпечують підвищення ефективності роботи гірок, вплив місцевих умов на ефективність функціонування гірок вимагає оцінки доцільності кожного з окремих заходів модернізації. Тому, метою дослідження є визначення взаємозв'язків між технічним забезпеченням сортувального процесу, режимами гальмування відчепів та експлуатаційними показниками роботи сортувальної гірки.

Поставлена мета досягається в результаті вирішення задачі дослідження впливу конструкції сортувальної гірки та її технічного забезпечення та величину області допустимих режимів гальмування відчепів.

При виборі режимів гальмування на сортувальній гірці вирішуються задачі забезпечення вимог прицільного та інтервального регулювання швидкості скочування відчепів, а також забезпечення допустимих швидкостей входу відчепів на уповільнювачі. Як управляючі параметри на трипозиційних гірках можуть бути прийняті швидкості виходу відчепів з першої (ВГП) та другої (СГП) гальмових позицій, відповідно,  $v'$  та  $v''$ . Швидкість виходу відчепа з третьої гальмової позиції (ПГП)  $v'''$  є залежною від  $v''$  і обирається з умови забезпечення вимог прицільного гальмування [7]. Вектор значень  $v = \{v', v''\}$ , можна розглядати як точку на площині; при цьому вся множина точок  $v$  утворює область  $\Omega$  можливих швидкостей виходу відчепа з гальмівних позицій спускної частини гірки. Режими гальмування, які забезпечують вимоги прицільного регулювання швидкості скочування відчепів та швидкості їх входу на уповільнювачі утворює область  $\Omega_{\text{п}}$ . Режими гальмування, які забезпечують розділення відчепа з попереднім та наступним утворюють область  $\Omega_{\text{н}}$ . Перетин областей  $\Omega_{\text{п}}$  і  $\Omega_{\text{н}}$  являє собою область допустимих режимів скочування відчепів:  $\Omega_{\text{д}} = \Omega_{\text{п}} \cup \Omega_{\text{н}}$ . Як обмеження області  $\Omega_{\text{д}}$  виступають такі обмеження: 1 – по потужності ВГП; 2 – по потужності СГП; 3 – по потужності ПГП; 4 – по імовірності зупинки відчепа в уповільнювачі ПГП; 5 – по імовірності перевищення встановленої швидкості входу відчепа на уповільнювач СГП; 6 – по величині прискорення на ділянці між ВГП та СГП; 7 – по умовах розділення відчепа з попереднім; по – 8 умовах розділення відчепа з наступним (див. рис. 1).

Як критерій для оцінки прицільного регулювання швидкості скочування відчепів використовується середня величина вікна, що припадає на один розформований вагон  $\bar{l}_{\text{в}}$ , а для оцінки інтервального регулювання – ризик нерозділення на стрілках  $r_{\text{н}}$ . Дослідження залежностей  $\bar{l}_{\text{в}} = f(v', v'')$  та  $r_{\text{н}} = f(v', v'')$  виконано в [8-11]. Зокрема встановлено, що область  $\Omega_{\text{п}}$  складається з двох підобластей, що розділяються лінією  $v''_{\text{н}}$ . В підобласті  $\Omega_{\text{п1}}$  величина  $\bar{l}_{\text{в}}$  зменшується зі збільшенням швидкості виходу відчепа з СГП  $v''$ , а в підобласті  $\Omega_{\text{п2}}$  залишається постійною.

---

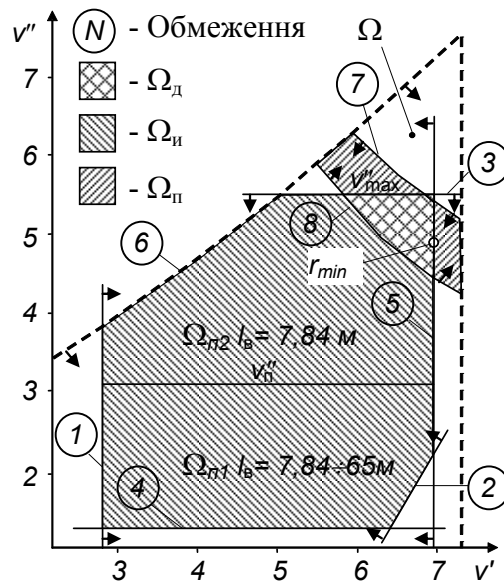


Рис. 1. Область допустимих режимів гальмування відцепів

Напрямок зменшення значень  $r_n$  однозначно визначається розташуванням розділових стрілок по маршруту скочування. При цьому, якщо точка входу на ізольовану ділянку стрілочного перевалу розділення у першій парі відцепів знаходиться далі по маршруту скочування ніж точка виходу відчепа із ізольованої ділянки стрілочного перевалу розділення у другій, то мінімальний ризик нерозділення досягається на нижній чи правій межі області  $\Omega_D$ , інакше на верхній чи лівій. При низьких швидкостях виходу відцепів з гальмових позицій (менше 3 м/с) мінімальний ризик нерозділення відцепів може досягатися і в середині області  $\Omega_D$  через збільшення відносної похибки реалізації заданих швидкостей виходу відцепів з гальмових позицій при зменшенні швидкості руху відчепа. Таким чином, кожен режим гальмування  $v = \{v', v''\}$  характеризується вектором параметрів  $\mathbf{d} = \{\bar{l}_B, r_n\}$ . Прийнято, що  $\mathbf{d}_1 < \mathbf{d}_2$  якщо  $\bar{l}_{B1} < \bar{l}_{B2}$  або  $\bar{l}_{B1} = \bar{l}_{B2}$  та  $r_{n1} < r_{n2}$ .

Аналіз експлуатаційної роботи залізниць та наукових робіт з проблем механізації та автоматизації сортувального процесу на гірках показує, що основним напрямком вирішення задачі управління швидкістю скочування відцепів в умовах дії випадкових факторів є збільшення області  $\Omega_D$ . При цьому таке збільшення може досягатися різними способами. В сучасних умовах на станціях, де спостерігається зменшення обсягів роботи, збільшення відстані між обмеженнями 7 та 8 досягається за рахунок зменшення швидкості розпуску. Результатом чого є зниження переробної спроможності гірок. На іноземних залізницях збільшення ширини області  $\Omega_H$  досягається за рахунок підвищення точності реалізації гальмовими уповільнювачами заданих швидкостей виходу відцепів, оцінки ходових властивостей відцепів та умов навколишнього середовища. Це викликає необхідність ускладнення конструкції уповільнювачів, систем їх управління, створення системи датчиків та обробки їх інформації. Такий підхід збільшує капітальні витрати на облаштування сортувальних гірок автоматизованими системами управління розпуском та вартість їх ек-

платуації. У зв'язку з цим в роботі розглянуті альтернативні напрямки удосконалення управління швидкістю скочування відчепів.

Для визначення положення оптимальних режимів в області  $\Omega$  виконано оптимізацію режимів гальмування відчепів для вагонопотоку непарної системи станції Нижньодніпровськ-Вузол. Виконані дослідження довели, що для переважної кількості відчепів оптимальні режими знаходяться на обмеженнях 6, 3, 1 області  $\Omega_{\Pi}$  та вздовж лінії  $v''_{\Pi}$  (див. рис. 2). Збільшення області допустимих швидкостей виходу відчепів з гальмових позицій в першу чергу повинно здійснюватись у напрямку саме цих обмежень, що забезпечить найбільший ефект.

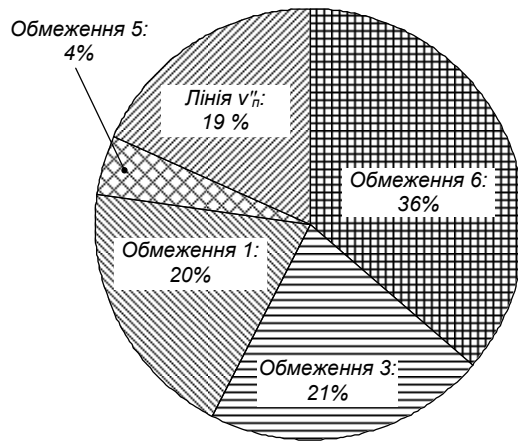


Рис. 2. Частоти потрапляння оптимальних режимів на обмеження області  $\Omega_{\Pi}$  та на лінію  $v''_{\Pi}$

Основним фактором, що впливає на величину прискорення відчепа на ділянці між ВГП та СГП, тобто на положення обмеження 6, є ухил відповідного елемента поздовжнього профілю  $i_{мп}$ . Для прикладу на рис. 3. проілюстровано вплив  $i_{мп}$  на положення обмеження 6 відчепа важкої вагової категорії.

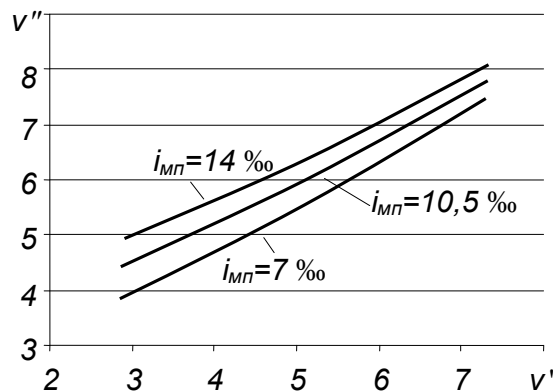


Рис. 3. Розташування обмеження 6 залежно від ухилу елементі профілю між ВГП та СГП

Разом з тим збільшення ухилу елемента поздовжнього профілю між ВГП та СГП призводить до зменшення допустимої швидкості виходу відчепа з ВГП і, відповідно, до зміни положення обмеження 5. Так, при величині допустимої швидкості входу відчепа на СГП рівній 7 м/с, збільшення ухилу  $i_{мп}$  з 7 до 14 ‰ призвело до збільшення частоти появи обмеження 5 серед активних у 4 рази.

Рішенням цієї проблеми є збільшення допустимих швидкостей входу відцепів на уповільнювачі СГП. На рис. 5. подано залежності між допустимою швидкістю входу відцепів на СГП та потрібною швидкістю виходу відцепів з ВГП при різних значеннях  $i_{мп}$  та різній точності реалізації ВГП заданої швидкості виходу відцепів. Залежності побудовані з умови забезпечення допустимої швидкості входу на СГП із ймовірністю  $p_{вх}=0,95$ . Аналіз отриманих результатів свідчить, що використання уповільнювачів нових конструкцій з допустимою швидкістю входу у 8 м/с, таких як УВСК [12], дозволяє практично виключити обмеження 5 із активних.

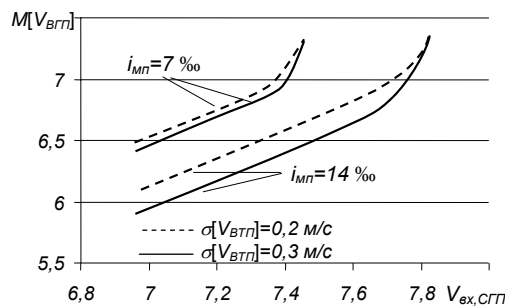


Рис. 4. Залежності між допустимою швидкістю входу відцепів на СГП та потрібною швидкістю виходу відцепів з ВГП

Збільшення величини  $v''_{max}$ , і, відповідно, зменшення частоти попадання обмеження 3 до переліку активних досягається за рахунок збільшення потужності ПГП. Так збільшення потужності ПГП до 2 м.ен.в практично забезпечує виключення обмеження 3 з переліку активних. Необхідно зазначити, що у закордонних системах механізації сортувального процесу використовуються потужні гальмові уповільнювачі на паркових гальмових позиціях, що забезпечують підхід вагонів до розрахункової точки з допустимою швидкістю навіть при вільному скочуванні вагонів до уповільнювача. Відповідно покращуються умови інтервального регулювання швидкості скочування так, як уповільнювачі спускної частини гірки використовувались виключно для вирішення цієї задачі.

Зміна положення обмеження 1 досягається за рахунок збільшення потужності ВГП. Проте, виконані дослідження довели, що збільшення потужності ВГП понад 2,7 м.ен.в не дає суттєвого ефекту, оскільки через низьку швидкість суттєво збільшується середнє квадратичне відхилення часу руху відчепа по маршруту і мінімальні ризики нерозділення знаходяться в середині області  $\Omega_d$ .

Положення лінії  $v''_n$  визначається потенціальною енергією відчепа в момент його виходу з ПГП (середнім ухилом сортувальної колії  $i_{ск}$ ). Разом з тим збільшення величини  $i_{ск}$  призводить до того, що для частини відцепів ухил стає прискорюючим і, як наслідок, до збільшення величини  $\bar{t}_в$  в межах області  $\Omega_{д2}$ . Тому зменшення величини  $v''_n$  може досягатися за рахунок комплексних заходів зі збільшення ухилу  $i_{ск}$  разом з впровадження регульованого скочування відцепів на сортувальних коліях за рахунок

---

спорудження додаткових гальмових позицій, чи реалізації квазінеперервного регулювання швидкості [13, 14]. Так, спорудження другої паркової гальмової позиції та обладнання перед нею ділянки для уточнення ходових характеристик відчепів дозволяє зменшити середню величину вікна на сортувальних коліях на 42%.

Таким чином, виконані дослідження дозволяють встановити взаємозв'язки між параметрами технічного забезпечення сортувального процесу та конфігурацією області допустимих режимів гальмування. Встановлено, що суттєве збільшення області допустимих швидкостей виходу відчепів з гальмівних позицій може бути досягнуто за рахунок збільшення потужності паркових гальмових позицій, збільшення ухилу ділянки між першою та другою гальмовими позиціями, підвищення допустимої швидкості входу відчепів на уповільнювачі другої гальмової позиції. В результаті можуть бути зменшені вимоги до точності інформації про ходові властивості відчепів та умови їх скочування і, як наслідок, спрощені системи автоматизованого управління швидкістю скочування відчепів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Шиш В. О.* Автоматизація та механізація технологічних процесів на сортувальних станціях / В.О. Шиш // Залізничний транспорт України. – № 3. – 2011. – с. 44-47
2. Комплекс горочный микропроцессорный на базе промышленных компьютеров // Наши работы: «КГМ» – ВНИИ Автоматизации и связи МПС [електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.rfnias.ru/rfnias\\_rus/kgm1.htm](http://www.rfnias.ru/rfnias_rus/kgm1.htm)
3. *Peschel M.* Modernization of Marshalling Yard Antwerp-North / M. Peschel // Rail Engineering International, 1988. № 1, p.6-9.
4. *Kube K.* Modernization of Marshalling Yards in North America / K. Kube // Progressive Railroading, 2002, № 7, p. 50 – 52.
5. Модернизация завершена // Литовский курьер on-line №18 (740) 30 Апреля [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kurier.lt>
6. *Шабельников А. Н.* Системы автоматизации сортировочных горок на основе современных компьютерных технологий: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. / А. Н. Шабельников, В. Н. Иванченко, С. М. Ковалев и др.; Под общей редакцией А. Н. Шабельникова. – Ростов-на-Дону: НИИАС. Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2010. – 436 с.
7. *Бобровский В. И.* Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках.: Монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. П. Божко, Н. В. Рогов, Н. И. Березовый, А. В. Кудряшов. – Днепропетровск.: Изд-во Маковецкой, 2010. –260 с.
8. *Козаченко Д. Н.* Исследование прицельного регулирования скорости скатывания отцепов в условиях неопределенности информации об их ходовых свойствах. / Козаченко Д. Н., Коробйова Р. Г., Таранець О. І. // Восточно-европейский журнал передовых технологий.– №6/2(42) – 2009.– с 45 – 50.
9. *Козаченко Д. Н.* Исследование условий интервального регулирования скорости скатывания отцепов на автоматизированных горках./ Козаченко Д. Н. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 34. – Дніпропетровськ.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010.– с 46-50.
10. *Бобровский В. И.* Исследование влияния режимов торможения отцепов на условия их разделения на стрелках. / Бобровский В. И., Козаченко Д. Н., Болвановская Т. В. // Залізничний транспорт України. – № 3.– 2011. – с 3-6.
11. *Козаченко Д. М.* Ефективні режими гальмування відчепів на сортувальних гірках. // Збірник наукових праць ДНУЗТ «Транспортні системи і технології перевезень».– 2011. – вип. 2. – с. 55-59
12. *Козаченко Д. М.* Новий вагонний уповільнювач УВСК українського виробництва. / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, М. І. Березовий, А. А. Гарбузов // Заліз. трансп. України – 2010. – № 2. – С. 34-38.
13. *Липинин С.* Принцип действия точечной системы автоматического регулирования скорости отцепов. / С. Липинин // Вагонный парк. – 2010. – № 9. – с 34-35.
14. *Козаченко Д.М.* Дослідження ефективності заходів автоматизації управління швидкістю скочування відчепів на сортувальних гірках. / Д. М. Козаченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2010. – № 5(147). – ч. 2. – С. 276-284.

*Віктор Костюшко*

## РЕГУЛЯТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

*В статье рассматриваются вопросы исследования механизмов государственного регулирования развития железнодорожного транспорта*

*У статті розглядаються питання дослідження механізму державного регулювання розвитку залізничного транспорту.*

*The article considers issues concerning research of mechanisms for state control of railway transport development.*

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, экономическое пространство, государственное регулирование, социально-экономические условия.

Исследование механизмов государственного регулирования развития железнодорожного транспорта имеет не только весомое значение, но и свои особенности.

Во-первых, регулирование имеет оперативный характер, потому что связано с движением, и поэтому и механизмы регулирования должны постоянно учитывать быстро переменчивую среду.

Во-вторых, принятие регулятивных решений по большей части происходит в условиях случайных явлений и конкретных ситуаций, часто руководствуясь собственным опытом и интуицией, способностью к умному риску, самостоятельному нахождению управленцами нужных источников, непрерывного инновационного поиска необходимой информации, которая тормозит процесс развития железнодорожного транспорта и интегрирования Украины в мировое экономическое пространство, порождает неустроенность системы государственного регулирования, которое требует неотложного и оперативного привлечения исследователей к научному решению таких важных ключевых заданий:

- поиск новых механизмов упорядочивания системы государственного регулирования железнодорожного транспорта;
- адаптация законодательной и организационной базы к новым условиям;
- ускоренного развития транспортной инфраструктуры;
- создание международных транспортных коридоров;
- интегрирование в транспортные системы Европы и других регионов;
- усиление роли человеческого фактора в управлении отраслью и др.

При безусловной важности этих исследований, в целом состояние научной проработки указанной проблемы является фрагментарным. Его нельзя считать удовлетворительным. Впрочем, исследование механизмов государственного регулирования развития железнодорожного транспорта, которое предопределено объектив-

© *Костюшко В. П., 2013*

---

ными социально-экономическими условиями, нуждается в поиске более совершенных механизмов эффективного влияния государства на реформирование и развитие железнодорожного транспорта Украины, связанное с наличием ряда противоречивых тенденций и причин, которые тормозят его развитие. Отмеченные обстоятельства нуждаются в научном обосновании соответствующего перспективного плана действий и их программного обеспечения.

Достижение этой цели в значительной степени определяется качеством государственного регулирования, направленностью государственно-управленческого механизма на изучение и учет тенденций и закономерностей, что присуще развитию транспорта на том или ином отрезке времени, своевременное выявление и решение противоречий, предвидения основных проблем и последствий событий нынешнего времени, взаимосогласованность интересов разных регионов не только Украины, но и Европы, уровней иерархии в структуре государственного управления железнодорожным транспортом.

Следует отметить, что развитие теории и практики государственного регулирования любого экономического процесса, в том числе и железнодорожного транспорта, зависит от многих факторов, в частности таких, как: трансформация государственно-управленческих отношений, усовершенствование структурно-функциональных основ построения системы государственного управления, форм и методов управления обществом вообще и его отдельными отраслями и сферами, от адаптации новых научных разработок управленческой мысли и тех методических рекомендаций, которые указывают на пути практического решения конкретной проблемы. Органическая взаимосвязь этих факторов закономерна: наука определяет тенденции, закономерности, возникшие противоречия, разрабатывает новые подходы к их преодолению. Практика призвана обеспечить их проверку на эффективность и отобрать наиболее оптимальные ее варианты.

Но вполне правильно некоторые исследователи проблем государственного регулирования развития железнодорожного транспорта, в последнее время, указывают на большой отрыв теоретических исследований от предоставления квалифицированной и научно обоснованной помощи в преодолении существующих на транспорте противоречий и проблем. Это приводит к большому отставанию в развитии железнодорожного транспорта во всех вопросах его функционирования: замедляется изменение нормативно-управленческих актов, законов, положений, инструкций; ослабляются организационно-правовые методы влияния субъекта управления на модернизацию, техническую переоснастку железнодорожного транспорта и т.п.

В Украине, сегодня, к сожалению, имеет место серьезное отставание в отрасли своевременной координации научных поисков исследователей сферы железнодорожного транспорта. Исследования украинских ученых редко заканчиваются актуальными для практики нынешнего времени выводами, научно обоснованными практическими рекомендациями, в частности, относительно внедрения новых механизмов целевого государственного регулирования развития железнодорожного транспорта, который предопределяет большой разрыв между теорией и практикой, порождает формализм и несогласованность в деятельности центральных органов исполнительной власти.

Проблема усложняется еще и тем, что в самой науке управления отсутствует достоверная научно обоснованная концептуальная позиция и интерпретация многих судьбоносных, ключевых проблем государственного регулирования взаимодействия субъектов управления, четкая позиция, например, относительно участия и

---

---

вмешательства государства в экономические процессы, что за годы советской власти базировались на административно-командной основе, которая себя исчерпала и уже не способна в условиях рынка обеспечивать развитие современной экономики и, в частности, железнодорожного транспорта.

Существующие расхождения во взглядах на эти и другие вопросы в научных кругах значительно ослабляют позиции Украины в проведении экономических реформ. Нужны серьезные научно-исследовательские программы, четкие концептуальные позиции специалистов, сначала локальные комплексные исследования, а потом, с учетом результатов локальных исследований, и более масштабные эксперименты на отечественной железной дороге из наиболее приоритетных направлений.

Отметим, что такой процесс уже основан: Разработано и одобрено Кабинетом Министров Украины Государственная целевая программа реформирования железнодорожного транспорта на 2010-2019 гг. и Программа экономических реформ Украины на 2010-2014 гг., в которой учтен опыт развитых европейских стран.

Особенно это касается научного обоснования разделения функций государственного и хозяйственного регулирования развития железнодорожного транспорта.

По определению, которое чаще встречается в научных исследованиях, государственная функция толкуется как качественная характеристика системы, направленная на ее сохранение, поддержание и развитие. Но, на наш взгляд, любая система является категорией не только стойкой, но в то же время она всегда имеет в себе большой потенциал развития, в котором оказывается определенный баланс внутренних и внешних связей, которым мало интересуются управленцы, не подозревая о том, что именно здесь находятся неисчерпаемые возможности успешного регулирования развития железнодорожного транспорта.

Главные причины неэффективного развития железных дорог Украины являются первичными в системе управления. Это предопределяет направления развития и схемы организационных структур управления. Последнее является средством проведения преобразований. Реформирование транспортной системы должно основываться на результатах научных исследований и разработках формирования экономического, нормативно-правового и ресурсного обеспечения экономического роста и функционирования комплекса объектов железных дорог Украины, а также на вариантных разработках с оценкой эффективности их организационных структур.

*Олександр Мельниченко  
Світлана Кішка*

## СТОХАСТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БЕЗПЕКОЮ РУХУ

*У статті розроблено стохастичну модель системи керування безпекою руху. Для цілеспрямованого керування безпекою руху в системі «дорожні умови – транспортні потоки – середовище» необхідно мати ефективну математичну модель, яка відображає провідні процеси.*

*В статті розроблено стохастическую модель системы управления безопасностью движения. Для целенаправленного управления безопасностью движения в системе «дорожные условия – транспортные потоки – среда» необходимо иметь эффективную математическую модель отражающая ведущие процессы.*

*The paper considers a stochastic model of security controls movement. For purposeful control of traffic safety in the road conditions, traffic flow environment to have an effective mathematical model that reflects the key processes.*

**Ключові слова:** стохастична модель, марківський процес, пуассонівський процес, безпека руху, моделювання.

**Постановка проблеми.** В Україні можна констатувати факт глибокої кризи системи забезпечення безпеки дорожнього руху. Вона проявляється у нездатності до швидкого реагування на зміни і реалізації послідовних заходів й системних стратегій безпеки на дорогах. Як наслідок, ситуація продовжує погіршуватися. Традиційні засоби зниження рівня ДТП не дають належного ефекту.

Широке використання математичного моделювання в процесі вирішення наукових і практичних завдань свідчить, що для побудови ефективної моделі необхідно правильно вибрати провідні процеси і параметри порядку, до яких підлаштовуються всі інші ступені свободи системи.

**Метою** роботи є створення стохастичної моделі системи керування безпекою руху за допомогою засобів дорожньої служби

**Основна частина.** Для цілеспрямованого керування безпекою руху в системі дорожні умови–транспортні потоки–середовище (ДУ–ТП–С) необхідно мати ефективну математичну модель, яка відображає провідні процеси. Шлях до розуміння складних явищ, що відбуваються в системі, – побудова ієрархії спрощених моделей. Піднятися на наступний рівень який дає більш повне і точне розуміння, можна тільки тоді, коли достатньою мірою вивчено попередній. Отже керувати можна тільки базуючись на знаннях.

© Мельниченко О. І., Кішка С. П.

---

---

У зв'язку з тим, що на функціональний стан системи ДУ–ТП–С впливає значна кількість взаємозалежності факторів, вона є стохастичною. Для підтвердження цього розглянемо підсистеми ДУ, ТП і С.

Для спостерігача, який рухається дорогою, поява певних геометричних параметрів в їх сукупності, зміна транспортно-експлуатаційних характеристик та елементів облаштування дороги та обстановки є випадковими подіями [1]. З тим підсистема ДУ для водія є стохастичною.

Транспортний потік, що є сукупністю транспортних засобів, що рухаються дорогою та водіїв, які керують ними, залежить від економічного і соціального розвитку району, природних, географічних та погодно-кліматичних факторів, які можуть знаходитись в найрізноманітніших співвідношеннях. Цим підтверджується те, що підсистема ТП також є стохастичною. Стан навколишнього середовища визначається багатьма незалежними факторами, що зумовлює стохастичність підсистеми С також.

Таким чином, отримано логічне підтвердження того, що система ДУ–ТП–С є стохастичною. Для опису моделей реальних систем найчастіше застосовують чисто стрибкоподібні марківські та напівмарківські процеси. Так, моделі достатньо ефективні у разі аналізу часових характеристик системи, зокрема тих, що визначають їх надійність. Однак для керування безпекою руху, необхідний аналіз характеристик системи ДУ–ТП–С, що не обов'язково змінюється в часі лише стрибкоподібно.

Відмова від припущення про стрибкоподібність зміни характеристик системи ДУ–ТП–С призводить до необхідності розглядання великої кількості моделей, для яких навряд чи існує єдиний математичний апарат аналізу. Бажання залишатись у класі напівмарківських моделей або, у крайньому разі, зберегти математичний апарат рівнянь харківського відновлення та алгоритмів фазового укрупнення призводить до еволюційних моделей, які в літературі називаються випадковими еволюціями або процесами, що переключаються [2].

З огляду на стохастичність системи ДУ–ТП–С розглянемо принципи її опису на основі методів теорії ймовірності математичної статистики.

У загальному випадку систему ДУ–ТП–С можна подати як функцію трьох випадкових векторів:

$$S=S(X',Y',Z'), \quad (1)$$

де  $S$  – символ, що позначає стан системи ДУ–ТП–С,  
 $X'$  – випадковий вектор, що позначає стан підсистеми ДУ,  
 $Y'$  – випадковий вектор, що позначає стан підсистеми ТП,  
 $Z'$  – випадковий вектор, що позначає стан підсистеми С.

У свою чергу підсистеми дорожніх умов, транспортного потоку і середовища можна подати їх компонентами кожна з яких може бути виражена певним числом або простішою моделлю.

Випадкові вектори  $X', Y', Z'$  у загальному випадку можуть бути як взаємозалежними, так і незалежними. Останній випадок є надмірно ідеалізованим, оскільки в системі ДУ–ТП–С стани підсистем пов'язані між собою. Тому згадані вектори доцільно розглядати як залежні:

$$\begin{cases} X' = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_v); \\ Y' = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_m); \\ Z' = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_n); \end{cases} \quad (2)$$

---

З урахуванням (2) систему ДУ-ТП-С можна подати у розгорнутому вигляді

$$S=S(x_1, x_2, x_3, \dots, x_v, y_1, y_2, y_3, \dots, y_m, z_1, z_2, z_3, \dots, z_n) \quad (3)$$

Модель (3) містить множину залежних випадкових компонентів (величин), якими і характеризується поведінка системи ДУ-ТП-С в просторі та часі.

У різноманітних практичних ситуаціях функціонування системи ДУ-ТП відбувається під впливом зовнішнього середовища С. З достатньою точністю для вирішення поставленого завдання припускається, що зміну станів зовнішнього середовища можна описати за допомогою напівмарківського процесу.

Крім того, еволюція системи ДУ-ТП-С за фіксованого стану середовища залежить тільки від даного стану напівмарківського процесу.

Таким чином, у системі ДУ-ТП-С можна виділити два процеси напівмарківський процес, що описує стан середовища С та є таким, що переключає, і процес, що описує стан системи ДУ-ТП, який переключають. Це дозволяє на основі алгоритмів фазового збільшення стану напівмарківських систем спроектувати систему ДУ-ТП-С і аналізувати лише еволюцію системи ДУ-ТП.

Еволюційні системи такого типу за Колмогоровим О. М. [3] називають випадковими процесами з дискретним втручанням випадку.

Отже, маємо математичну модель процесу, що переключає, оскільки вона описується за допомогою процесу харківського відновлення [4]. Набагато складніше якісно відобразити в системі ДУ-ТП ті процеси, які переключаються. Клас систем харківського процесу, які переключаються, можна обмежити шляхом використання у подальшому сучасного апарату аналізу (рівняння харківського відновлення алгоритм фазового збільшення).

Для опису стану системи ДУ-ТП-С доцільно використати два класи еволюційних систем, які за фіксованого стану середовища, описуються детермінованим еволюційним диференціальним рівнянням або ж складними пуассонівськими процесами.

Об'єднання обох властивостей – детермінованої еволюції і пуассонівської стохастичності – призводить до еволюційних систем з дискретним втручанням випадку.

Забишний О. С. встановив, що розподіл кількості ДТП (рівнів аварійності) вздовж дороги відповідає розподілу Пуассона. Тому систему керування безпекою руху можна також розглянути як пуассонівську. Для опису такої системи можна використовувати сім'ю пуассонівських процесів, що залежать від станів напівмарківського процесу:

$$q(z; m) = a(m) [f(z; m) - 1], \quad (4)$$

$$f(z; m) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{zx} dF_m(x)$$

де  $q(z; m)$  – кумулянта, що визначає кінцевий розподіл кількості ДТП (рівнів аварійності) вздовж дороги;

$z$  – дискретна величина, що використовується для вимірювання довжини дороги;

$m$  – рівень аварійності, що визначається кількістю ДТП;

---

$a(m)$  – інтенсивність зміни аварійності вздовж дороги;  
 $m(l)$  – кількість ДТП на відстані  $l$  від початку дороги;  
 $F(x, m)$  – характеристики функції стрибків пуассонівського процесу  $X(l, m)$ , що мають розподіл ймовірності  $F_m(x)$ .

$$P \{a(m) \geq l\} = e^{-a(m)l} \quad (5)$$

$$P \{\beta(m) \leq x\} = F_m(x), m \in E.$$

Пуассонівський процес  $X(l, m)$  можна зобразити у вигляді [4]:

$$P \{\beta_k(m) \leq x\} = F_m(x), k \geq 1; \quad (6)$$

$$P \{\alpha_l(m) \geq 1\} = e^{-a(m)l}, l \geq 1,$$

$$X(l, m) = \sum_{k=1}^{\mu(l, m)} \beta_k(m); \mu(l, m) = \max(n \sum a_i(m) \leq l)$$

Пуассонівський процес  $X_c(l), t \geq 0$  з напівмарківським переключенням задається співвідношенням у розгорнутому вигляді:

$$X_c(l) = \sum_{n=1}^{\infty} X(l_n, m_{n-1}) + X(l - l_{v(l)}, m_{v(l)}), l \geq 0 \quad (7)$$

де  $(m_n, l_n, n \geq 0)$  – процес марківського відновлення, який задає напівмарківський процес  $m(l)$ ;

$v(l) = \max(n; l_n \leq l)$  – процес зчитування напівмарківського процесу  $m(l)$ ;

$n$  – порядковий номер кілометра дороги;

$l_n$  – моменти виникнення кількості ДТП  $m(l)$ .

$$l_n = \sum_{k=1}^n l_k, n \geq 0$$

З виразу (7) випливає, що приріст пуассонівського процесу  $X_c(l)$  на  $n$ -ій ділянці дороги сталості напівмарківського процесу  $X(l, m_n)$  можна подати у вигляді (рис. 1):

$$X_c(l') - X_c(l) = X(l', m_n) - X(l, m_n), l_n \leq l \leq l' \leq l_{n+1} \quad (8)$$

В момент відновлення  $l_n, n \geq 1$ , траєкторія процесу  $X_c(l)$  неперервно продовжується траєкторією пуассонівського процесу  $X(l, m_n)$ . Завжди вважається, що  $X(0, m_n) = 0, m \in E$ .

Оскільки будь-яка дорога розбита на дискретні ділянки – кілометри, можна розглядати пуассонівські процеси з напівмарківськими переключеннями, пов'язуючи стрибки траєкторії процесу, який переключають, з моментами зміни рівня аварійності, вказуючи їх моментами відновлення.

Імпульсний пуассонівський процес, який переключають  $X_c(l)$ , задається співвідношенням:

$$X_f(l) = \sum [d(m_{n-1}) + X(l_n; m_{n-1})] + d(m_{v(l)}) + X(l - l_{v(l)}; m_{v(l)}), \quad (9)$$

де  $d(m), m \in E$  – задає стрибки в момент відновлення напівмарківського процесу  $m(l)$  (в момент переходу від однієї кількості ДТП до іншої)

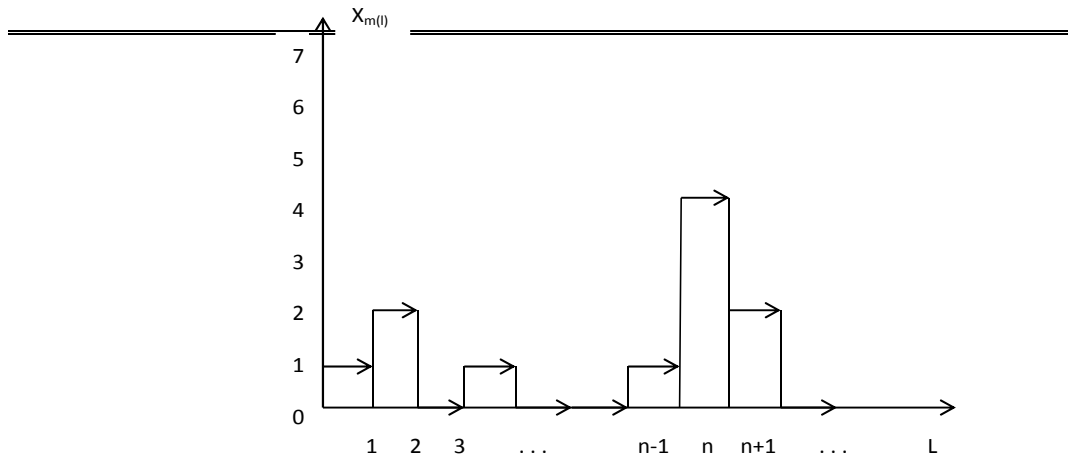


Рис. 1. Траєкторія пуассонівського процесу з імпульсними переключеннями

**Висновки.** Таким чином, процес керування безпекою руху полягає в цілеспрямованій зміні стану системи ДУ–ТП за певної фіксованої дії середовища. Стохастичну модель цього процесу зображають у вигляді простої стохастичної системи в напівмарківському середовищі, еволюція якої за сталого стану напівмарківського процесу  $t(l)$  описується пуассонівськими процесами.

Звідси впливає множина завдань з керування безпекою руху, що можна вирішувати засобами дорожньої служби в системі ДУ–ТП–С. До неї належать, наприклад, кореляційний і регресійний аналіз, завдання оптимізації, оцінки, прогнозування.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Галушко В. Г. До питання статичної оцінки заданих дорожніх умов. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 4. – К.: Будівельник, 1968. – с. 13-16.
2. Анисимов В. В. Асимптотические методы анализа стохастических систем. – М., 1984. – 178 с.
3. Корольюк В. С. Стохастические модели систем. – К.: Наукова думка, 1989. – 208с.
4. Гончаренко Ф. П. Керування безпекою руху засобами дорожньої служби. – К., 1999. – 280с.

*Ольга Петриковець*

**ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ВЗАЄМОДІЇ РІЗНИХ ВИДІВ  
ТРАНСПОРТУ ПРИ ЗМІШАНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ**

*У статті розглянуто питання щодо оптимізації взаємодії різних видів транспорту на основі вибору оптимальної черговості обробки транспортного засобу, для скорочення простою при передачі вантажу з одного виду транспорту на інший в транспортних вузлах.*

*В статье рассмотрены вопросы оптимизации взаимодействия различных видов транспорта на основе выбора оптимальной очередности обработки транспортного средства, для сокращения простоя при передаче груза с одного вида транспорта на другой в транспортных узлах.*

*The article deals with the question of optimizing the interaction between different modes of transport on the basis of selecting the optimal sequence of processing of rolling stock, to reduce downtime when transferring cargo from one mode of transport to another for transport nodes.*

*Ключові слова:* взаємодія, змішані перевезення, регулювання змішаних перевезень, транспортний вузол.

На частку транспортних вузлів припадає не тільки великий обсяг вантажопереробки, але й істотна частина часу знаходження вантажу в процесі транспортування, а затримки вантажів у вузлах тягнуть за собою додаткові транспортні витрати. Прискорити переробку вантажів у вузлах, скоротити непродуктивні простої, забезпечити збереження вантажу – це основні завдання. Один із шляхів вирішення цих завдань – оптимізація оперативного управління роботою транспортного вузла, а саме: визначення черговості обслуговування транспортних засобів для скорочення простою рухомого складу при передачі вантажу з одного виду транспорту на інший (рис. 1).

Пунктами взаємодії є залізничні колії, причали, криті склади і майданчики, вантажно-розвантажувальні комплекси, сортувальні пристрої. Технічне оснащення і технологія роботи транспортних вузлів визначає ефективність роботи транспортної системи в цілому. У пунктах взаємодії різних видів транспорту виникають черги на обслуговування транспортних одиниць (вагон, автомобіль, корабель) внаслідок їх нерівномірного прибуття, простою під вантажними операціями, погодних умов.

© *Петриковець О. В., 2013*

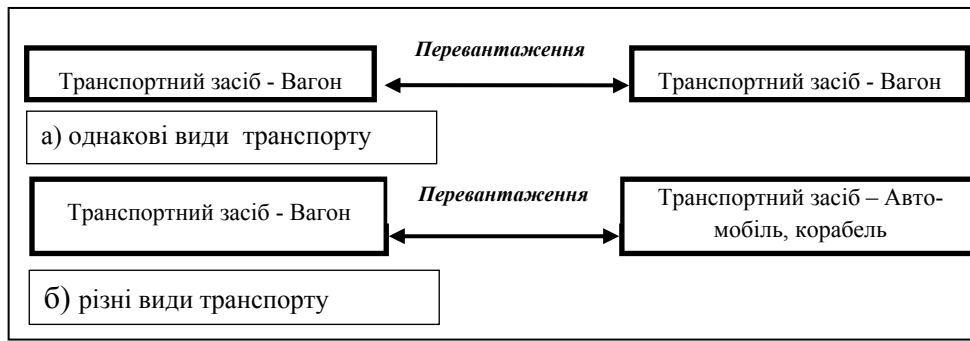


Рис.1. Схеми перевантаження

Щоб скоротити витрати  $E$ , пов'язані з простоєм транспортних засобів в очікуванні обробки варто вирішувати задачу визначення черговості їх обслуговування. Критерій оптимізації можна записати у вигляді:

$$E = \sum_{i=1}^n C_i t_i \rightarrow \min \quad (1.1)$$

де  $C_i$  – експлуатаційні витрати, пов'язані із затримкою  $i$ -го транспортного засобу на одиницю часу;  $t_i$  – час очікування обслуговування  $i$ -го транспортного засобу.

Витрати при обробці  $i$ -го транспортного засобу змінюються стрибкоподібно в момент завершення вантажно-розвантажувальних робіт  $t_i$  і за період  $T = (t_1 + t_2 + \dots + t_n)$  при обробці  $n$  транспортних засобів складатимуть:

$$E = \sum_{i=1}^n C_i t_i = E_1 + E_2 + \dots + E_n = C_1 t_1 + C_2 (t_1 + t_2) + \dots + C_n (t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n) \quad (1.2)$$

де  $t_i$  – середній час обслуговування  $i$ -го транспортного засобу.

Допустимо, що раціональна черговість обробки  $n$  транспортних засобів визначена. Для доказу правильності побудови раціональної черговості обробки транспортних засобів змінимо черговість обробки  $i$ -го і  $i_{i+1}$ -го транспортних засобів з часом виконання вантажних операцій з ними відповідно  $t_i$  і  $t_{i+1}$  при витратах  $C_i$  і  $C_{i+1}$ , і тоді різниця витрат по їх простою  $D E$  складатиме:

$$\Delta E = C_i t_{i+1} - C_{i+1} \cdot t_i = \left( \frac{C_i}{t_i} - \frac{C_{i+1}}{t_{i+1}} \right) \cdot t_{i+1} \cdot t_i = (K_i - K_{i+1}) \cdot t_{i+1} \cdot t_i \quad (1.3)$$

$$\text{де } K_i = \frac{C_i}{t_i}, \quad K_{i+1} = \frac{C_{i+1}}{t_{i+1}}$$

З рівняння (1.3) випливає, що для послідовно оброблюваних транспортних засобів з мінімальними затримками від простою повинна виконуватися умова

$$K_i \geq K_{i+1} \geq K_{i+2} \geq \dots \geq K_n \quad (1.4)$$

---

З економічної точки зору вигідно максимально концентрувати вантажно-розвантажувальні механізми на транспортному засобі з максимальним значенням  $K_i$  - критерій пріоритету, який визначає черговість обслуговування транспортного засобу (залежно від вартості простою транспортного засобу (вагона, автомобіля, корабля)). Таким чином, в першу чергу приймати на обслуговування транспортний засіб з великим значенням коефіцієнта  $K_i$ .

Розглянута методика вибору оптимальної черговості обробки транспортних засобів справедлива для статичного і динамічного режимів взаємодії. При динамічному режимі структура та довжина черги постійно змінюється, при цьому знову прибувший транспортний засіб ставиться в чергу відповідно до критерію пріоритету.

Оптимальна послідовність обробки може бути переглянута у разі прибуття нового транспортного засобу з великим критерієм пріоритету. При цьому може вирішуватися завдання призупинення обробки чергового транспортного засобу з тим, щоб швидше обслужити більш пріоритетний транспортний засіб. У загальному вигляді доцільність призупинення обслуговування транспортної одиниці з пріоритетом більш низького класу визначається нерівністю:

$$\frac{C_{\Pi}}{t_{\text{вф.п.}} + t_{\text{д}}} > \frac{C_o + C_{\text{д}}}{t_{\text{вф.о.}} - t_{\text{вф.ф.}}}, \quad (1.5)$$

де  $C_{\Pi}$ ,  $C_o$  – вартість 1 год. простою відповідно прибулої і оброблюваної транспортної одиниці;  $C_{\text{д}}$  – додаткові витрати, пов'язані з перестановкою транспортних одиниць та простоем вантажно-розвантажувальної техніки і обслуговуючого персоналу;  $t_{\text{вф.п.}}$  і  $t_{\text{вф.о.}}$  – тривалість обслуговування відповідно прибулої і оброблюваної транспортної одиниці;  $t_{\text{вф.ф.}}$  – тривалість фактичної обробки транспортного засобу, що знаходиться у вантажного фронту до прибуття нової транспортної одиниці;  $t_{\text{д}}$  – додаткові витрати часу на перестановку транспортних одиниць.

Таким чином, структурна схема постановки та вирішення оптимізаційних задач транспорту подана на рис .2, на прикладі взаємодії залізничного і автомобільного видів транспорту.

Проблема взаємодії різних видів транспорту полягає в тому, що плани перевезень, об'єкти управління, критерії ефективності роботи - різні. В економічному аспекті важливою умовою забезпечення взаємодії є ідентичність планів перевезень вантажів змішаного сполучення, що направляються для виконання всім підрозділам відповідних видів транспорту. Узгодження абсолютно ідентичних планів перевезень взаємодіючих видів транспорту дозволить завчасно передбачити подачу відповідного вантажу рухомого складу, підготувати постійні споруди, маневрові і перевантажувальні засоби, забезпечити процес передачі вантажу з одного виду транспорту на інший.

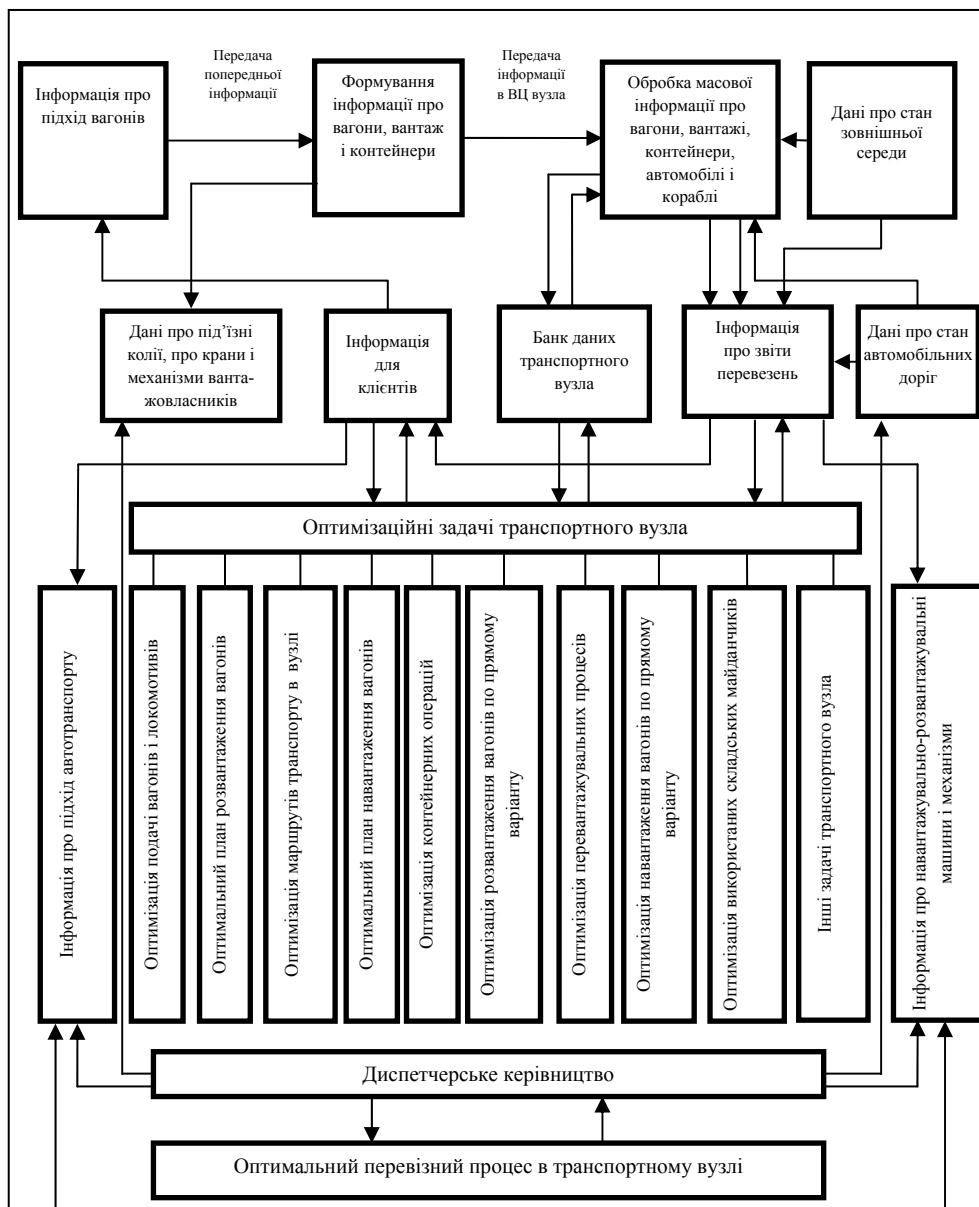


Рис. 2. Схема комплексного планування і управління транспортом у вузлі

## ЛІТЕРАТУРА

1. Правдин Н. В., Негрей В. Я., Подкопаев В. А. Взаимодействие различных видов транспорта: (примеры и расчеты) / Под ред. Н. В. Правдина. – М.: Транспорт, 1989. – 208 с.
2. Правдин Н. В., Негрей В. Я. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах.: Минск: Высшая школа, 1983. – 247 с.
3. Дзюба И. С. Коммерческие операции при доставке грузов: – Гомель: БелГут, 2004. – 147 с.
4. Шапкин И. Н., Юсипов Р. А., Кожанов Е. М. Нормирование и прогнозирование на железных дорогах: Методы, алгоритмы, технологии расчета. – М., 2006. – 265 л.
5. Ковалёв В. А., Кукишин В. В. Выбор рационального варианта распределения перевозок грузов между различными видами транспорта. – М.: Инфра-М, 2002.
6. Резер С. М. Взаимодействие транспортных систем. – М.: Наука, 1985.

*Тетяна Пічкур*  
*Тетяна Висоцька*

### ПРІОРИТЕТИ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

*Досліджуються напрями реалізації державної політики у забезпеченні екологічної безпеки, побудови ефективної системи управління екологічною діяльністю. Сформульовані основні принципи державної політики у забезпеченні екологічної безпеки та визначений перспективний напрям її удосконалення щодо екологічного розвитку держави.*

*Исследуются направления реализации государственной политики в обеспечении экологической безопасности, построения эффективной системы управления экологической деятельностью. Сформулированы основные принципы государственной политики в обеспечении экологической безопасности и определено перспективное направление ее усовершенствования по экологическому развитию государства.*

*Directions of realization of public policy are investigated in providing of ecological safety, constructions of effective control system by ecological activity. The main principles of state policy in providing of environmental safety are formulated and defended perspective direction of it improvement on ecological development of state.*

**Ключові слова:** екологічна безпека, державна політика, екологічна політика, природоохоронна діяльність, екологічна діяльність.

Одним з фундаментальних чинників модернізації політичної діяльності в сучасному світі виступає екологічний чинник. Сучасне політичне життя країн світу неможливо уявити без екологічного компонента. Екологічну політику визначають як організаційну та регулятивно-контрольну діяльність суспільства та держави, спрямовану на охорону та оздоровлення довкілля, ефективне поєднання функцій природокористування та природоохорони, а також забезпечення нормальної життєдіяльності і екологічної безпеки громадян. Сучасний екологічний та соціально-економічний стан України потребує постійної уваги з боку держави щодо забезпечення екологічної безпеки країни. Посилення значення цілеспрямованої діяльності у цій сфері визначається всіма корінними політичними та економічними перетвореннями, що мають місце останніми роками в Україні та у всьому світі. Тому національна безпека країни дедалі більше залежить від стану навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів, прогнозу та пом'якшення наслідків надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру [1]. Отже, здорове довкілля та багаті природні ресурси складають основу національної безпеки України, що забезпечує її економічний потенціал, належний рівень

© Пічкур Т. В., Висоцька Т. І., 2013

---

---

військової безпеки, її територіальну цілісність, захист інтересів України за кордоном як демократичної держави, соціально-економічну стабільність українського суспільства, фізичний та духовний розвиток нації. Проблема безпеки, насамперед екологічної безпеки, це одна з глобальних проблем людства, безпосередньо пов'язана з його виживанням. Забезпеченню комплексної безпеки людства властивий системний характер, а отже, вона потребує розгляду під кутом зору різних наук (екології, економіки, політології, юриспруденції, географії, воєнної науки).

Метою дослідження викладеного в даній статті є окреслення напрямів формування державної політики України у забезпеченні екологічної безпеки, визначення векторів реалізації екологічної стратегії на державному рівні, побудова ефективної системи управління природоохоронною та екологічною діяльністю, зокрема у відносинах державного і приватного секторів.

Дослідженням проблем державної політики у забезпеченні екологічної безпеки присвятили свої роботи такі відомі вчені та практики, як В. Д. Писарєв, Кравців В. С., Коржнев М. М., Шеляг-Сосонко Ю. Р., Курило М. М., Крисаченко В. С., Луцько В. С. та ін., якими не достатньою мірою висвітлено проблему побудови екологічної безпеки в комплексі із інноваційним екологічним розвитком держави та створенням ефективної системи управління природоохоронною та екологічною діяльністю.

Термін «національна безпека» досить новий у сфері міжнародних відносин і почав широко використовуватися тільки після закінчення другої світової війни. Війна розподілила головних переможців на воєнні та ідеологічні табори з великим і постійно зростаючим арсеналом зброї, що може спричинити широкомасштабні руйнування та навіть призвести до взаємознищення [2].

Розвиток науки і техніки, зумовлений потребами економіки, підвищуючи соціально-економічну безпеку суспільства, водночас призвів до появи загрози для здоров'я людини та навколишнього середовища. У створеній техносфері виникла велика потенційна загроза – техногенні чинники, спільна дія яких еквівалентна дії природних екологічних чинників на людину та середовище її існування. Створення державної системи екологічної безпеки гарантує захист людини та природи від антропогенних чинників.

Аналізуючи етапи становлення екологічної безпеки, як важливої складової національної безпеки, відомий російський вчений В. Д. Писарєв справедливо зауважує, що Сполучені Штати Америки першими усвідомили необхідність внесення суттєвих коректив до концепції національної безпеки, її орієнтирів, стратегії та засобів забезпечення. Проте формування нового підходу наштовхнулося на питання теоретичного та практичного характеру Розуміння екологічної безпеки як складного системного процесу, що виявляється під час взаємодії природних, економічних, правових і соціальних чинників, дає можливість бачити його цілісним, зі своїми власними формами і структурами, що віддзеркалюють наші знання про цей феномен [3].

За таких умов однією з найважливіших проблем, яку необхідно розв'язати Україні, є визначення її позицій і підходу до розвитку екологічної політики, розробки науково-обґрунтованої політико-правової бази для участі у міжнародному природо- і ресурсоохоронному співробітництві.

Екологічна політика держави охоплює чотири основних напрями:

1. Правове регулювання – законодавче встановлення допустимих форм використання природного потенціалу і застосування нормативно-правових актів як державного, так і міжнародного рівнів. Основними критеріями ефективності в правому регулюванні слід вважати несуперечливість, прогресивність, необхідність і достат-

---

ність. Правові норми повинні відповідати сучасним екологічним вимогам, бути здійсненними, мінімально можлива кількість нормативних актів повинна забезпечити комплексне вирішення проблем прямого регулювання природокористування.

2. Економічне регулювання – державне планування (відбір проектів, економія сировини, енергії і матеріалів), економічне стимулювання та контроль з боку держави (системи штрафів, компенсацію за викиди, перерозподіл прибутків тощо) за використанням природного потенціалу країни. Основними критеріями ефективності в економічному регулюванні слід вважати досягнення запланованих природоохоронних цілей із залученням мінімального обсягу бюджетних коштів та отримання максимального природоохоронного ефекту.

3. Інформаційно-технологічний напрям – розробка і впровадження наукоємних, мало- і безвідходних технологій, моніторинг стану довкілля і прогноз розвитку екологічного стану територій, доступ всіх зацікавлених верств населення до екологічної інформації та прозорість у прийнятті рішень. Критеріями ефективності в даному випадку можуть бути науково-технічний рівень розробок, покращення стану здоров'я населення за рахунок зменшення впливу негативних екологічних факторів, співвідношення між рівнями фактичного забруднення навколишнього природного середовища і гранично допустимого забруднення, скорочення витрат природних ресурсів та енергії на одиницю продукції.

4. Світоглядний напрям – зміна уявлень про взаємозв'язки у системі «людина – природа», існуючого відношення до природи, а також відповідних стратегій і технологій взаємодії з нею. Критеріями ефективності в цьому напрямі є підвищення якості навколишнього середовища в інтересах стійкого і безпечного розвитку всіх держав і створення сприятливих умов для життя кожної людини.

Також слід зазначити, що необхідною передумовою вирішення екологічних проблем є наявність відповідного рівня економічного розвитку, без задоволення базових потреб людського життя неможливо сформулювати в суспільстві усвідомлення практичної необхідності екологічних витрат. Важливою вимогою до екологічної політики є своєчасність її заходів. Для того, щоб на практиці здійснювати природоохоронний курс держава повинна на управлінському рівні використовувати досить широкий спектр засобів політичного впливу. До таких засобів належать [4]:

Державна підтримка заходів природоохоронного характеру (організація та фінансування відповідних науково-дослідних проектів та грантів, підготовка фахівців в галузі екології, здійснення моніторингу, регулювання процесів земле- та водоко-ристування, здійснення належної охорони прибережних зон водоймищ та річок, утримання природозаповідних територій, виконання зобов'язань за міжнародними програмами тощо).

Державне економічне регулювання і стимулювання природоохоронної діяльності підприємств і організацій різних форм власності (інвестиції та субсидії, позики і кредити, державні гарантії по банківських позиках для установ, що здійснюють природоохоронну діяльність; пільгові тарифи на очищення і переробку промислових і комунально-побутових стоків на водоочисних спорудах).

Державні заходи, які примушують природокористувачів до охорони довкілля (екологічна експертиза; розробка і запровадження екологічних нормативів і стандартів якості середовища, заборони постійного або тимчасового характеру, обмежувальні або дозвільні системи; стягнення штрафів за порушення природоохоронного законодавства, запровадження економічних й адміністративних санкцій аж до закриття промислових підприємств тощо).

---

---

Головною метою екологічної безпеки України має бути вироблення концептуальних засад загальної стратегії у сфері раціонального природокористування та захисту навколишнього середовища, а також втілення їх у практику з метою сталого економічного та соціального розвитку держави. При цьому передбачається формування нових типів технологічних процесів, соціальної організації та управління, здатності розв'язувати екологічні проблеми та зменшувати будь-які екологічні загрози, що становлять значну загрозу національній безпеці України [4].

Створення системи екобезпеки разом зі вдосконаленням соціально-економічної системи безпеки є новим елементом національної безпеки. Підґрунтям цієї системи має стати адекватний організаційно-правовий, соціально-політичний, господарський механізм управління природокористуванням, що базується на кількісних даних, результатах математичного моделювання та прогнозування, сучасних інформаційних технологіях, можливості протидії антропогенній і природній деструкції біосфери.

Екологічна безпека виступає як заперечення екологічної загрози, що виявляється у локальних, регіональних і глобальних масштабах як екологічні стихії, соціальні кризи та техногенні катастрофи. Забезпечення екологічної безпеки – це основний спосіб розв'язання екологічних проблем, що гарантує громадянам України розвиток і проживання в біосферосумісній формі [5].

Створення системи екологічної безпеки означає задоволення екологічних вимог суб'єктів екосистеми, яка повинна мати пріоритет серед інших аспектів традиційної національної безпеки. Серед національних пріоритетів розвинених країн природоохоронний аспект посідає одне з чільних місць. Ця обставина створює для цих країн значні переваги на світовій арені у взаємовідносинах з державами, в політиці яких екологічна проблематика не є пріоритетною.

Національні інтереси України відображають фундаментальні цінності та прагнення українського народу, його потребу в гідних умовах життєдіяльності, а також цивілізовані способи їх створення і задоволення [5]. До корінних національних інтересів України належать питання цілісності та культурної ідентичності, безпеки нації-народу, а також контроль і можливість використання важливих природних ресурсів.

Національний інтерес можна визначити як систему відношень, яка об'єднує в собі потреби функціонування і розвитку нації-народу як єдиного цілого організму [5]. Основою національного інтересу є потреби суспільства, необхідні для його розвитку і функціонування, захисту народу від загроз з боку інших держав і природо-кліматичних факторів, а також підтримання соціального миру і порядку всередині країни.

У суспільстві, побудованому на демократичних засадах, сфера національних інтересів враховує інтереси людини, суспільства загалом та держави. А це передбачає структурування даної проблемної галузі у вигляді ієрархії чи дерева елементів. Таким чином, система екологічної безпеки будується у вигляді багаторівневих (багатоступінчастих) структур, у яких функції управління розподілені між супідрядними рівнями.

За такого підходу під національними інтересами у сфері екологічної безпеки слід розуміти природну потребу або прагнення суспільства до такого стану, який забезпечує нормальне існування та розвиток. Суспільство відповідно до усвідомлення власних потреб створює механізми забезпечення цих потреб, насамперед державу та систему влади. Усвідомлені національні інтереси становлять основу внутрішньої та зовнішньої політики держави, визначають ідеологію держави. Національні інтереси в екологічнобезпечній сфері пов'язані з дією механізмів самозбереження людини, суспільства і держави.

---

---

В основі такої політики повинен лежати загально визнаний у цивілізованому світі постулат про пріоритетність прав людини. Одним з таких безперечних прав є право громадян на екологічну безпеку. Воно гарантується комплексом політичних, юридичних, економічних, технологічних і гуманітарних чинників [6].

Пріоритети державної політики щодо нейтралізації загроз екологічній безпеці України сформульовані в документі «Про основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки», затвердженому Постановою Верховної Ради України від 5 березня 1998 р № 188/98. Головний принцип, що був закладений до Основних напрямів визначав екологічну ситуацію в Україні як кризову. Реалізація Основних напрямів пов'язана із створенням системи екологічно збалансованого управління розвитком суспільства, яка сприятиме відновленню природних властивостей довкілля, компетентно регулюватиме використання природних ресурсів та розвиток продуктивних сил країни.

Документ «Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» зазнав серйозної критики як на стадії розробки, так і після офіційного затвердження документа. Документ критикували за відсутність чітко визначених цілей. Це могло трапитися через помилковий методологічний підхід до розробки такого роду документів екологічної політики, декларативність та загальність рекомендацій і заходів [6]. На думку опонентів, у першу чергу, внаслідок відсутності системного підходу до визначення пріоритетів державної екологічної політики.

Беручи до уваги системний характер проблем екології та їхню кореляцію з усіма політичними, соціальними та економічними чинниками, стратегія екологічної безпеки України вбачається як одна з фундаментальних складових національної безпеки держави. Ключові завдання держави в галузі охорони навколишнього середовища і забезпечення екологічної безпеки та механізми їх реалізації і повинні стати основою стратегії екологічної безпеки України.

В умовах модернізації економіки, глобалізації ринків, інноваційного розвитку вважається перспективними розробки щодо формування державної політики не тільки в сегменті забезпечення екологічної безпеки, а й в сегменті прогресивного екологічного розвитку при побудові державної системи управління природоохороною та екологічною діяльністю.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Указ Президента України від 8 червня 2012 року №389/2012 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 8 червня 2012 року «Про нову редакцію Стратегії національної безпеки України» // режим доступу: <http://www.president.gov.ua/documents/14823.html>.
2. Закон України «Про основи національної безпеки України» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, № 39, ст.351 (зі змінами та доповненнями) // режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/964-15>.
3. Качинський А., Хміль Г. Екологічна безпека України: аналіз, оцінка та державна політика.: Монографія. – К.: НІДС, 1997. – 127 с – (Серія «Екологічна безпека»; Вип.3).
4. Хилько М. І. Екологічна політика.: Монографія. – К.: Абрис, 1999. – 363 с.
5. Національна безпека України, 1994-1996 рр. //Наук. доп. НІСД / Редкол.: О.Ф. Белов. – К.: НІДС, 1997 – 197 с.
6. Розвиток України в умовах глобалізації та скорочення природно-ресурсного потенціалу / М. М. Коржнев, Ю.Р. Шеляг-Сосонко, М. М. Курило та ін. //НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформаційного простору. – К.: ЛОГОС, 2009. – 195 с.

Олена Сорочинська

## СОЦІАЛЬНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

*В статті коротко розглянуто соціальне і економічне значення охорони праці. Розкрито важливість питання зростання якості і продуктивності праці. Здійснено соціальну та економічну оцінку покращення умов праці. Проаналізовано основні види економії на підприємстві від поліпшення безпеки праці.*

*В статье кратко рассмотрены социальное и экономическое значение охраны труда. Раскрыты важность вопроса роста качества и производительности труда. Осуществлено социальную и экономическую оценку улучшения условий труда. Проанализированы основные виды экономии на предприятии от улучшения безопасности труда.*

*The paper briefly considers the social and economic importance of safety. Reveals the importance of the quality and increase productivity. Done social and economic evaluation of improved working conditions. The basic types of savings from improved plant safety.*

**Ключові слова:** охорона праці, соціальне значення, економічне значення, продуктивність праці, умови праці, трудова діяльність.

Покращення умов праці, зниження виробничого травматизму та професійної захворюваності може мати не лише соціальний, а й економічний ефект, адже результати охорони праці ведуть до збільшення фонду робочого часу, підвищення ефективності використання обладнання, зменшення плинності кадрів, зменшення витрат на пільги та компенсації за несприятливі умови праці, скорочення видатків, пов'язаних з виробничим травматизмом та захворюваністю працівників тощо.

Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і професійних захворювань. Соціальне значення охорони праці проявляється в зростанні продуктивності праці, збереженні трудових ресурсів і збільшенні сукупного національного продукту [1].

Важливим питанням є зростання продуктивності праці, яка відбувається в результаті збільшення фонду робочого часу завдяки скороченню внутрішньозмінних простоїв шляхом ліквідації мікротравм або зниження їх кількості, а також завдяки запобіганню передчасного стомлення шляхом раціоналізації і покращення умов праці та введенню оптимальних режимів праці і відпочинку та інших заходів, які сприяють підвищенню ефективності використання робочого часу.

© Сорочинська О. Л., 2013

---

Особливої уваги заслуговує те, що збереження трудових ресурсів і підвищення професійної активності працюючих відбувається завдяки покращенню стану здоров'я і подовженню середньої тривалості життя шляхом покращення умов праці, що супроводжується високою трудовою активністю і підвищенням виробничого стажу. Підвищується професійний рівень також завдяки зростанню кваліфікації і майстерності. Відповідно і збільшення сукупного національного продукту відбувається завдяки покращенню вищеперелічених показників та їх складових компонентів.

Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні зростанню ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення її безпеки, зниження виробничого травматизму і захворюваності.

Слід пам'ятати, що економічне значення охорони праці визначається ефективністю заходів з покращення умов і підвищення безпеки праці, і є, відповідно економічним виразом соціальної значущості охорони праці. Тобто, економічне значення охорони праці оцінюється за результатами, отриманими при зміні соціальних показників шляхом впровадження заходів з покращення умов праці: підвищення продуктивності праці; зниження непродуктивних витрат часу і праці; збільшення фонду робочого часу; зниження витрат, пов'язаних з плинністю кадрів через умови праці тощо.

Треба звернути увагу, що збільшення фонду робочого часу і ефективність використання обладнання досягається шляхом зниження простоїв протягом зміни внаслідок погіршення самопочуття через умови праці та мікротравми. При комплексній дії на людину декількох шкідливих виробничих чинників простої на робочому місці можуть досягати 20..40% за зміну через виробничий травматизм та погане самопочуття.

Поліпшення умов і охорони праці, що відповідає інтересам не тільки безпосередньо працівників, а й підприємців та всього суспільства в цілому, в умовах ринку тісно пов'язано з економічним стимулюванням роботодавців.

Розглядаючи охорону праці в умовах ринкової економіки, особливу увагу слід звернути на економічні аспекти охорони праці. Здійснення заходів з поліпшення умов і охорони праці чинить стимулюючий вплив як на економічні, так і соціальні результати виробництва.

До економічних результатів впливу умов праці на людину, які мають позитивне значення належать підвищення продуктивності праці, раціональне використання основних виробничих фондів. Сприятливі умови забезпечують підвищення продуктивності праці як за рахунок інтенсивних змін (скорочення витрат робочого часу на виробництво одиниці продукції), так і екстенсивного (підвищення ефективності використання робочого часу завдяки зниженню цілоденних втрат за тимчасовою непрацездатністю та виробничим травматизмом).

За даними досліджень, комплекс заходів з поліпшення умов праці може забезпечити приріст продуктивності праці на 15-20%. Так, нормалізація освітлення робочих місць збільшує продуктивність праці на 6-13% та скорочує брак на 25%. Раціональна організація робочого місця підвищує продуктивність праці на 21%, раціональне фарбування робочих приміщень – на 25% [2].

Збільшення ефективного фонду робочого часу може бути досягнуто за рахунок скорочення тимчасової непрацездатності працівників внаслідок хвороб та виробничого травматизму.

Витрати робочого часу внаслідок тимчасової непрацездатності на різних підприємствах різноманітні і становлять приблизно 2,5% річного фонду робочого часу на підприємствах зі сприятливими умовами праці і 5–10% на підприємствах з небезпечними і шкідливими умовами праці [3].

---

---

Поліпшення умов і впровадження заходів із забезпечення безпеки праці скорочують плинність кадрів. За мотивами «важкі і несприятливі умови» звільняються в промисловості до 20% усіх звільнених, а в будівництві – понад 25%. Слід зазначити, що позитивні економічні результати тісно пов'язані як з особистими факторами (дієздатність, працездатність), так і з соціальними результатами. Зростання продуктивності праці пов'язане зі скороченням цілоденних витрат робочого часу, обумовлених тимчасовою непрацездатністю, підвищенням ефективності використання робочого часу і продовженням періоду активної трудової діяльності.

Зростання непродуктивних витрат часу, а значить і праці, обумовлюється також поганою організацією робочих місць без врахування ергономічних вимог, тому виникає необхідність виконання додаткових фізичних зусиль через незручне положення, невдале розташування органів управління обладнанням, невдале конструктивне оформлення робочих місць. У результаті поліпшення умов праці нормалізується психологічний клімат в колективі, підвищується налагодженість в роботі, зростає продуктивність праці. Збільшення фонду робочого часу досягається скороченням цілодобових втрат на виробничий травматизм та неявки на роботу. Шкідливі умови праці суттєво впливають не тільки на виникнення професійних захворювань, а й на виникнення і тривалість загальних захворювань.

Важливим питанням є і те, що економії матеріальних втрат можна досягти шляхом відміни пільг та компенсацій за несприятливі умови тільки при чіткому дотриманні на підприємстві відповідних санітарно-гігієнічних вимог і правил безпеки до робочих місць. Дотримання таких вимог дає можливість повністю або частково відмінити такі пільги як: скорочений робочий час і додаткова відпустка; підвищення тарифної ставки та пільгової пенсії; лікувально-профілактичне харчування і безкоштовна видача молока [4]. Всі ці пільги пов'язані зі значними трудовими втратами і супроводжуються виплатами додаткових грошових коштів за фактично не відпрацьований час. Аналіз плинності кадрів свідчить, що із загальної кількості працівників, які звільняються за власним бажанням, від 10 до 25% становлять особи, яких не влаштовують несприятливі умови праці. Практично всі витрати на заходи щодо поліпшення умов і охорону праці можна поділити на: витрати, пов'язані з відшкодуванням потерпілим втрат внаслідок травм і професійних захворювань; витрати на ліквідацію наслідків аварій та нещасних випадків; витрати на штрафи та інші відшкодування.

Штрафи за наявність нещасних випадків та приховування від обліку потерпілих, штрафи недотримання нормативних вимог щодо безпеки праці; штрафи на працівника за порушення вимог законодавства та нормативних актів з охорони праці, компенсації за час вимушеного простою через небезпеку виконання робіт та через припинення робіт органами державного нагляду за охороною праці, штрафи, пені, виплати за недотримання договірних зобов'язань перед іншими підприємствами, установами і організаціями; компенсаційні виплати населенню за пошкодження житлового фонду, приватного майна, забруднення довкілля тощо.

Одним із головних завдань економічного обґрунтування заходів щодо покращення умов і охорони праці є визначення витрат на реалізацію заходів, що включають капітальні вкладення і експлуатаційні витрати. Фінансування заходів щодо поліпшення умов праці може здійснюватися на багатоцільовій і одноцільовій основі. При багатоцільовому фінансуванні заходи щодо поліпшення безпеки виробничих процесів, технологій, обладнання, машин і механізмів є складовою частиною реконструкції, модернізації, впровадження нових засобів виробництва і кошти на

---

охорону праці окремо не виділяються, а належать до капіталовкладень для оновлення виробництва. Одноцільове фінансування передбачає фінансування лише працехоронних заходів.

Річна економія підприємства від поліпшення безпеки праці складається з: економії від зменшення професійної захворюваності; економії від зменшення випадків травматизму; економії від зниження плинності кадрів; економії від скорочення пільг і компенсацій за роботу в несприятливих умовах.

#### Структура річної економії підприємства від поліпшення безпеки праці

<i>Найменування груп показників економії</i>	<i>Складові річної економії</i>
Економія від зменшення професійної захворюваності	- заробітної плати; - за рахунок собівартості продукції; - коштів за рахунок зменшення виплат по тимчасовій непрацездатності.
Економія від зменшення випадків травматизму	- заробітної плати; - за рахунок собівартості продукції; - коштів за рахунок зменшення виплат по тимчасовій непрацездатності.
Економія від зниження плинності кадрів	- за рахунок собівартості продукції; - збільшення прибутку; - у витратах на підготовку кадрів.
Економія від скорочення пільг і компенсацій за роботу в несприятливих умовах	- заробітної плати; - витрат на лікувально-профілактичне харчування; - витрат на безкоштовне одержання молока або інших рівноцінних харчових продуктів.

На жаль, на сьогодні витрати на поліпшення умов праці та підвищення її безпеки не окуповують себе. У зв'язку з цим підприємства витрачають значні кошти на пільги, компенсації та відшкодування наслідків несприятливих умов праці.

Також до негативних економічних результатів належать недоодержання додаткового продукту, затримка з введенням нових фондів, непродуктивне споживання робочої сили, зниження продуктивності праці. Крім того, слід звернути увагу на соціальні результати впливу умов праці на працівників.

До позитивних соціальних результатів належать:

- ступінь сприятливого впливу процесу праці на здоров'я людини та розвиток її особистості; стан здоров'я, ставлення до праці; соціальну активність; максимальне задоволення однією з найвагоміших потреб людини – потреби в сприятливих умовах праці і безпосередньо пов'язаної з цим потреби в змістовній, творчій, високопродуктивній праці; зміцнення здоров'я.

Негативний соціальний результат включає зниження творчої активності, зацікавленості в праці, зниження трудової дисципліни, зростання плинності кадрів внаслідок несприятливих умов праці.

Розглядаючи механізм витрат підприємств на заходи щодо поліпшення умов та охорону праці, слід знати, що виділяють п'ять груп витрат:

- витрати, пов'язані з відшкодуванням потерпілим внаслідок травм і професійних захворювань;
- витрати на попередження і компенсацію несприятливого впливу умов праці (пільги і компенсації тим, хто працює у важких і шкідливих умовах);
- витрати на профілактику травматизму і професійних захворювань;

- 
- витрати на ліквідацію наслідків аварій та нещасних випадків;
  - штрафи та інші відшкодування.

Розглядаючи витрати з охорони праці, слід зазначити, що вони також поділяються на:

- доцільні витрати, спрямовані на збереження здоров'я працівників, раціональне витрачання життєвих сил на відновлення працездатності;
- частково доцільні витрати, які включають видатки за пільгами і компенсаціями за несприятливі умови;
- недоцільні витрати, які обумовлюють підвищення собівартості продукції, зниження її обсягу тощо [6].

Доцільні витрати забезпечують поліпшення умов праці, частково доцільні і недоцільні витрати призводять до збитків підприємства, до зниження ефективності виробництва.

Дослідження свідчать, що основні витрати на підприємствах припадають не на створення безпечної техніки, запобігання виробничому травматизму і захворюваності, не на нормалізацію умов праці, а на пільги та компенсації, пов'язані з небезпечними і шкідливими умовами праці. Співвідношення між витратами на поліпшення умов і охорони праці до видатків на доплати, пенсії, пільгові відпустки становить 1 : 10.

В умовах недосконалості ринкових механізмів усі ці витрати відносять на собівартість продукції, і в результаті за недбале ставлення до охорони праці на підприємствах розплачуються не їх керівники, а суспільство. Чинна система пільг і компенсацій не спонукає керівників поліпшувати умови праці, тому що ці витрати розкладаються на всіх споживачів і не впливають на економічні результати роботи підприємства.

З іншого боку, штрафні санкції, а також виплати, що повинні здійснюватися підприємством у разі незадовільної роботи з охорони праці, наявності фактів травмування працівників та профзахворювань, нині досить значні, а тому змушують будь-якого власника (уповноважений ним орган) серйозно замислитися, що краще: зазнавати величезних збитків (які часом можуть призвести навіть до цілковитого банкрутства), не займаючись охороною праці, чи своєчасно вкласти кошти у профілактичні заходи, зберігаючи при цьому життя і здоров'я людей та не конфліктуючи з Законом.

Справжній власник, який вміє рахувати гроші, безумовно, обере другий варіант. Адже перелік штрафних санкцій та інших економічних втрат підприємства передбачає:

- штрафи, що накладаються на підприємство органами державного нагляду за охороною праці;
  - штрафи за кожен нещасливий випадок на виробництві або професійне захворювання;
  - відшкодування шкоди, одноразову допомогу та всі інші виплати особам, які потерпіли на виробництві, або членам сімей та утриманцям загиблих;
  - виплати тим підприємствам, установам, організаціям, яким завдано шкоди (наприклад, внаслідок випуску небезпечної техніки, неякісного проектування виробничого об'єкта, нового устаткування, несвоєчасного виконання обов'язків, передбачених угодою з партнером тощо);
  - компенсацію лікарням, іншим медичним та оздоровчим закладам витрат на лікування та реабілітацію потерпілих працівників, на надання їм санаторно-курортних послуг тощо;
  - компенсацію витрат органів соціального забезпечення на виплату пенсій
-

---

відповідним інвалідам праці; витрати на виконання рятувальних робіт під час аварій та нещасних випадків, на проведення розслідування та експертизи їх причин, на ритуальні послуги під час поховання загиблих, на складання санітарно-гігієнічної характеристики робочого місця працівника, який одержав професійне захворювання тощо.

Значними також є витрати на пільги й компенсації, передбачені чинним законодавством і колективними договорами, за важкі та шкідливі умови праці (включаючи надання додаткової відпустки, видачу лікувально-профілактичного харчування, молока чи рівноцінних йому харчових продуктів, оплату регламентованих перерв санаторно-оздоровчого призначення, що надаються під час виконання відробочених та інших робіт тощо). Отже, ці витрати також повинні враховуватися власником у загальній сумі економічних витрат, що мають місце на даному підприємстві через недостатню увагу до розв'язання проблем охорони праці.

Поліпшення умов праці потребує капітальних вкладень і поточних витрат.

Слід знати, що до капітальних вкладень належать одноразові та постійні витрати, спрямовані на:

створення чи оновлення основних фондів працезахоронного призначення; удосконалення техніки й технології з метою поліпшення умов і охорони праці.

Поточні (експлуатаційні) витрати – це витрати на утримання й обслуговування обладнання, що має працезахоронне призначення. Вони забезпечують його функціонування в необхідному режимі [7].

Для оцінки результатів заходів з поліпшення умов та охорони праці згідно з методиками, розробленими ВЦНДІОП ВЦРПС та ННДІОП України, запропоновані чотири групи показників: зміна стану умов і охорони праці; соціальні; соціально-економічної безпеки праці та інших нормативних актів.

Поліпшення санітарно-гігієнічних показників характеризується зменшенням вмісту шкідливих речовин у повітрі, поліпшенням мікроклімату, зниженням рівня шуму та вібрації, поліпшенням освітленості.

Поліпшення психофізіологічних показників характеризується зменшенням фізичних і нервово-психічних навантажень, у тому числі й монотонності праці.

Поліпшення естетичних показників характеризується раціональним компонуванням робочих місць і машин, упорядкуванням приміщень і території, поєднанням кольорових відтінків тощо.

Зміни стану виробничого середовища за факторами оцінюються різницею абсолютних величин до і після запровадження заходів, а також порівнянням відносних показників, що характеризують ступінь відповідності тих чи інших факторів гранично допустимим концентраціям (ГДК), гранично допустимим рівням (ГДР) або заданим.

Комплексна оцінка зміни стану умов праці здійснюється за показниками природу кількості робочих місць, на яких умови праці приведені у відповідність до нормативних вимог.

Соціальні результати заходів з поліпшення умов і охорони праці визначаються за такими показниками:

- збільшення кількості робочих місць, які відповідають нормативним вимогам (як у комплексі, так і за окремими факторами) та скорочення кількості працюючих у незадовільних умовах праці; зниження рівня виробничого травматизму;
  - зменшення кількості випадків професійної захворюваності, пов'язаної з незадовільними умовами праці;
-

---

- зменшення кількості випадків інвалідності внаслідок травматизму чи професійної захворюваності;

- зменшення плинності кадрів через незадовільні умови праці.

Для оцінки соціальних результатів можуть також використовуватись інші показники (ступені задоволення працею та її престижності тощо).

Показники соціальної та соціально-економічної ефективності розраховуються як відношення величини соціальних або соціально-економічних результатів до витрат, необхідних для їх здійснення.

Економічні результати заходів щодо поліпшення умов і охорони праці виражаються у вигляді економії за рахунок зменшення збитків унаслідок аварій, нещасних випадків і професійних захворювань як в економіці в цілому, так і на кожному підприємстві.

Вивчаючи економічні аспекти охорони праці, слід ознайомитися з методами оцінки соціальної й економічної ефективності заходів з удосконалення умов та охорони праці. Стимулювання заходів з охорони праці здійснюється згідно з розділом IV «Стимулювання охорони праці» Закону України «Про охорону праці». Так, ст. 29 «Економічне стимулювання охорони праці» визначає, що до працівників підприємств можуть застосовуватися будь-які заохочення за активну участь та ініціативу у здійсненні заходів щодо підвищення безпеки та поліпшення умов праці [3]. Види заохочень визначаються колективним договором (угодою, трудовим договором).

Порядок пільгового оподаткування коштів, спрямованих на заходи щодо охорони праці, визначається чинним законодавством про оподаткування.

Економічне стимулювання націлене на посилення діяльності та зацікавленості підприємств у поліпшенні умов праці на робочих місцях, а також підвищення економічної відповідальності власників (адміністрації) підприємств за шкоду, заподіяну несприятливими умовами праці.

Досвід розвинених країн у галузі охорони праці свідчить, що поліпшенню умов праці сприяють такі заходи:

- додаткові пільги на засоби, спрямовані на оздоровлення умов праці.
- диференціювання страхових внесків залежно від частоти і важкості травматизму і професійних захворювань,
- використання санкцій за бездіяльність власників щодо поліпшення умов охорони праці.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Агеев Є. Я. Основи охорони праці: Навчально-методичний посібник для самостійної роботи по вивченню дисципліни – Львів: «Новий Світ – 2000», 2009. – 404 с.
2. Основи охорони праці: Підручник.; 3-тє видання, доповнене та перероблене / За ред. К. Н Ткачука. – К.: Основа, 2011. – 480 с.
3. Закон України «Про охорону праці»; затв. Верховною Радою України 21.11.2002 р. №229-IV // Право і Практика: охорона праці в Україні.– №10 К. – 2007.
4. Кодекс законів про працю України. – К, 1997.
5. Гандзюк М. П., Желібо Є. П., Халімовський М. О. Основи охорони праці: Підручник для студ. вищих навч. Закладів; 3-тє вид./ За ред. Гандзюка М. П. –К.: Каравела, 2006. – 392 с.
6. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В. М. Основи охорони праці: Навч. посіб. – 4-тє вид. випр. і доп. – К.: Знання, 2005. – 408 с.
7. Геврик Е. О. Охорона праці.: Навч. посіб. – К.: Ніка-Центр, 2005. – С. 235.
8. Москальова В. М. Основи охорони праці: Підручник. – К.: ВД Професіонал, 2005. – 672 с.

---

## АВТОРИ СТАТЕЙ ВИПУСКУ

**Азарков Олександр Володимирович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Висоцька Тетяна Іванівна** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Водянніков Юрій Якович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

**Габа Василь Васильович** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Управління процесами перевезень», декан факультету післядипломної освіти Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Грушевська Тетяна Миколаївна** – аспірант, асистент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Герцій Олександр Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Телекомунікаційні технології і автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Даніленко Едуард Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Даніленко Тетяна Петрівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Демченко Володимир Олексійович** – старший викладач кафедри «Будівельні конструкції і споруди», заступник декана факультету «Інфраструктура і рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Донченко Анатолій Володимирович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, директор Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

**Загородній Олександр Петрович** – студент групи 4-ЕТ за спеціальністю «Електричний транспорт» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Йосифович Роман Миколайович** – доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Карпінський Сергій Леонідович** – аспірант, асистент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Карпов Михайло Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Залізнична колія і колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Катерещук Василь Олександрович** – заступник начальника відділу розвитку технологічних процесів, Головне управління планування та контролю за закупівлями матеріально-технічних ресурсів Державної адміністрації залізничного транспорту України.

**Кияшко Володимир Тимофійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

---

**Кільчинський Олександр Олександрович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Кішка Світлана Петрівна** – аспірант кафедри «Транспортне право та логістика» Національного транспортного університету.

**Клецька Тетяна Сергіївна** – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Ковальчук Вікторія Валентинівна** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Козуч Олександр Йосипович** – студент групи 1-ЗС-М за спеціальністю «Залізничні споруди та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Козаченко Дмитро Миколайович** – доктор технічних наук, доцент, начальник науково-дослідної частини Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

**Костюшко Віктор Петрович** – перший заступник начальника Київської дирекції залізничних перевезень Південно-Західної залізниці.

**Кокряцька Наталія Іванівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Телекомунікаційні технології і автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Конопля Олена Володимирівна** – старший викладач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Косарчук Валерій Володимирович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Кулешов Володимир Петрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Кульбовський Іван Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Крижановська Тетяна Василівна** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Марінцева Крістіна Валеріївна** – кандидат економічних наук, доцент, докторант, Національний авіаційний університет.

**Макеєва Олена Геннадіївна** – інженер 1 категорії Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

**Мельниченко Олександр Іванович** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Транспортне право та логістика» Національного транспортного університету.

**Молчанов Віталій Миколайович** – доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Олійник Олена Андріївна** – викладач кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Петриковець Ольга Василівна** – асистент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

---

---

**Пічкур Тетяна Валеріївна** – кандидат історичних наук, доцент кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Пугачов Геннадій Семенович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Рафальський Олег Юрійович** – студент за спеціальністю «Залізничні споруди та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Романюк Андрій Сергійович** – студент групи 4-ЕТ за спеціальністю «Електричний транспорт» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Сафронов Олександр Михайлович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

**Свистун Сергій Макарович** – інженер 1 категорії Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

**Семененко Володимир Миколайович** – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту гідромеханіки НАН України.

**Семененко Тетяна Миколаївна** – старший викладач кафедри «Вища математика» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Сорока Ольга Олексіївна** – асистент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту

**Сорочинська Олена Леонідівна** – кандидат історичних наук, старший викладач кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Сулим Андрій Олександрович** – молодший науковий співробітник лабораторії досліджень мікропроцесорних систем управління, тягово-електричного обладнання, електричного обладнання та комфорту рухомого складу № 6.5 Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

**Талавіра Геннадій Миколайович** – кандидат технічних наук, завідувач кафедри «Будівельні конструкції і споруди» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Тюнін Віктор Дмитрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту.

**Шелейко Тетяна Володимирівна** – кандидат технічних наук, науковий співробітник Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування».

### ПАМ'ЯТІ ПРОФЕСОРА ЛОБАСА ЛЕОНІДА ГРИГОРОВИЧА

23 листопада 2012 року пішов із життя відомий вчений Леонід Григорович Лобас – механік, доктор фізико-математичних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, дійсний член Нью-Йоркської академії наук, член-кореспондент Транспортної академії України.

Леонід Григорович народився 20 серпня 1938 р. в с. Трушівці Чигиринського району Черкаської області в сім'ї вчителя. Після закінчення середньої школи з відзнакою «Золота медаль», навчався на механіко-математичному факультеті Київського державного університету ім. Т. Г. Шевченка, який успішно закінчив у 1960 р..

Трудову діяльність Л. Г. Лобас почав в Інституті механіки АН УРСР та в 1963 р. захистив кандидатську, а в 1985 р. – докторську дисертації.

Роки 1965 – 1977 Леонід Григорович присвятив викладацькій діяльності в Київському політехнічному інституті на посаді доцента.

З 1996 р. працював професором, завідувачем кафедри «Теоретичної та прикладної механіки», яку сам створив, у Державному економіко-технологічному університеті транспорту.

Леонід Григорович Лобас був відомим спеціалістом із теорії руху неголономних систем та її застосування до механіки транспортних колісних екіпажів. Його методи дослідження нелінійних коливань та стійкості руху екіпажів на пневматичних колесах використовуються на підприємствах авіа-та автотранспорту України та Російської Федерації.

Л. Г. Лобас зробив значний внесок у розвиток теорії бифуркацій та катастроф динамічних систем, бифуркацій стаціонарних станів та граничних циклів багатоланкових маятників під дією слідкуючих сил.

Л. Г. Лобас – автор (співавтор) чотирьох монографій, підручника «Теоретична механіка», 10 навчальних методичних посібників, одного патента на винахід та 292 наукових статей.

Л. Г. Лобас був талановитим педагогом, він підготував 3 докторів та 15 кандидатів наук. Він був членом Національного комітету України з теоретичної та прикладної механіки, спеціалізованих рад по захисту докторських та кандидатських дисертацій, членом редколегії декількох наукових журналів.

Добра пам'ять про Леоніда Григоровича як про славетну людину, талановитого вченого збережеться в серцях його колег та учнів.

*Науково-виробниче видання*

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

Серія «Транспортні системи і технології»

Випуск 22

Відповідальний за випуск В. І. Данилевський

Редактор: Щербак Н. В.  
Макет і верстка В. О. Андрієнка  
Комп'ютерна верстка: І. І. Колбасовська

Підписано до друку \_\_\_\_\_ р. Формат 60x90<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Папір офсетний. Гарн. Таймс. Друк на ризографі. Ум. друк. арк. \_\_\_\_.  
Обл.-вид. арк.      Наклад 150 прим. Зам. № 311/13.

Надруковано в редакційно-видавничому відділі ДЕГУТ.  
Свідоцтво про реєстрацію від 27.12.07, серія ДК № 3079.  
03049, м. Київ-49, вул. М. Лукашевича, 19.