

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

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

СЕРІЯ

**«ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ
І ТЕХНОЛОГІЇ»**

ВИПУСК 30

Київ·ДЕТУТ·2017

Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 30. – К.: ДЕТУТ, 2017. – 288 с.

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

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

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

Редакційна колегія:

В. К. Мироненко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць», академік Транспортної академії України (головний редактор);

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

Е. І. Даніленко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», академік Транспортної академії України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки;

В. Г. Вербицький, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри «Залізнична колія та колійне господарство»;

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

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

В. М. Самсонкін, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Управління процесами перевезень», академік Транспортної академії України;

О. І. Стасюк, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, член-кореспондент Транспортної академії України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки;

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

В. П. Ткаченко, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць»;

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

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

Г. С. Васілова, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць» (*технічний секретар*).

Статті збірника проходять обов'язкове рецензування членами редакційної колегії, друкуються мовою оригіналу. Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Рекомендовано до друку Вченою радою ДЕТУТ (протокол № 10 від 26 травня 2017 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 у технічній галузі

(Додаток 11 до наказу Міністерства освіти і науки України 29.12.2014 № 1528).

УДК 625.1.032.3

- Е. І. Даніленко, д.т.н., професор*
(завідувач кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту)
- В. В. Косарчук, д.т.н., професор*
(завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка», Державний економіко-технологічний університет транспорту)
- Р. М. Йосифович, к.т.н.*
(доцент кафедри «Залізнична колія та колійне господарство», Державний економіко-технологічний університет транспорту)
- О. В. Азарков, к.т.н., доцент*
(доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка», Державний економіко-технологічний університет транспорту)
- О. Ю. Рафальський*
(асистент кафедри «Теоретична та прикладна механіка», Державний економіко-технологічний університет транспорту)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ РЕЙОК КОЛІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Розглянуто результати експериментальної оцінки залишкового ресурсу рейок. Для проведення експерименту обрано 4 зразки рейок з напрацьованим тоннажем, які піддавалися циклічному навантаженню на триточковий згин. Результати показали, що напруження стиску від згину, рівень яких відповідає експлуатаційним, не значно впливає на дефектність рейок.

Ключові слова: залізничні рейки, циклічне навантаження, ультразвукова дефектоскопія, контактні-втомні дефекти, залишковий ресурс.

Рассмотрены результаты экспериментальной оценки остаточного ресурса рельсов. Для проведения эксперимента выбраны 4 образца рельсов с наработанным тоннажем, которые подвергались циклической нагрузке на трехточечный изгиб. Результаты показали, что напряжение сжатия от изгиба, уровень которых соответствует эксплуатационным, незначительно влияет на дефектность рельсов.

Ключевые слова: железнодорожные рельсы, циклическое нагружение, ультразвуковая дефектоскопия, контактно-усталостные дефекты, остаточный ресурс.

© Даніленко Е. І., Косарчук В. В., Йосифович Р. М., Азарков О. В., Рафальський О. Ю., 2017

За умовами проектування колії [1] величина нормальних напружень від згину балки не повинна перевищувати допустимого напруження, за яке приймається умовна (на базі випробувань $2 \cdot 10^6$ циклів) границя втоми матеріалу рейки при симетричному знакозмінному навантаженні, тобто σ_{-1} . Границя втоми матеріалу залежить, звісно, від марки рейкової сталі та технології виготовлення рейки.

Слід мати на увазі, що втомна довговічність рейок, що визначена за наведеною методикою, зменшується в процесі експлуатації. Причиною цього є постійне накопичення мікропошкоджень (а з часом і макротріщин) у матеріалі рейки внаслідок експлуатаційних навантажень. Так, за даними ВНДІЗТ, втомна довговічність нетермоміцнених рейок Р50 зменшується з 290 – 320 кН до 280, 250, 240 кН після пропуску вантажу 350, 400, 700 млн т бруто, відповідно.

Для проведення експериментальних досліджень за методикою ВНДІЗТ було відібрано лише чотири зразки (замість рекомендованих 6 – 8), що були вирізані з рейки, яка була вилучена з експлуатації через наявність на поверхні кочення дефектів типу 11.2 (викришування на поверхні головки рейки [2]). Це пояснюється тим, що для реалізації бази випробувань у 2 млн циклів з частотою 5 Гц потрібно 111 годин безперервної роботи пульсатора. Гідравлічний пульсатор типу ZDM-10-Ru, що використовувався для проведення експериментів, потребує періодичного охолодження робочої рідини (мастила). Крім того, для контролю розвинення дефектів у процесі циклічного навантаження використовували засоби ультразвукової діагностики (контроль здійснювали штатні працівники колієвимірювально-дефектоскопної станції Київського метрополітену). Такий контроль здійснювався після реалізації $4 \cdot 10^5$, $8 \cdot 10^5$, $1,2 \cdot 10^6$, $1,6 \cdot 10^6$ і $2 \cdot 10^6$ циклів навантаження. Тому термін виконання лише одного експерименту складав майже один місяць.

Зауважимо, що ультразвуковому контролю піддавали не тільки головку рейки, а й її бічні грані та підшву, оскільки при вказаній нижче схемі навантаження у підшві рейки діяли розтягуючі напруження. Дані дефектоскопічного контролю оформлювались у вигляді стандартного протоколу.

Дослідні зразки виготовлені із проб рейок типу Р50 у кількості 5 шт. Усі проби вирізані з однієї рейки виробництва металургійного заводу «Азовсталь», яка була вилучена з експлуатації після пропущення нормативного тоннажу. Проби рейок були надані СП «Служба колії, тунельних споруд і будівель» Київського метрополітену у лютому 2014 р. (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд зразків рейки для проведення експериментів

Із чотирьох проб рейок були виготовлені зразки довжиною 1200 мм. Перед випробуванням зразки чистили від бруду та іржі за допомогою керосину. У центральній частині зразків (на головці рейки) були підготовлені площадки для наклейки тензорезисторів на відстані 50 мм від центральної вертикальної осі. Додаткова термообробка зразків не проводилась. Дослідження проводили за нормальних умов при кімнатній температурі.

Для проведення експериментів на циклічну витривалість використовували гідравлічний пульсатор типу ZDM-10-Рu виробництва Німеччини, що був доукомплектований спеціально виготовленими шарнірними опорами і роликами для передачі осьового навантаження. Установка атестована Укртестметрстандартом у 2012 р. Для вимірювання поздовжніх деформацій рейки і контролю напружень в умовах триточкового згину використовували фольгові тензорезистори з базою 20 мм виробництва київського заводу «Веда», що наклеювались на головку рейки симетрично відносно осі ролика на відстані 50 мм. Покази тензорезисторів фіксували за допомогою тензостанції типу Adam 3016 виробництва Гонконгу.

Експерименти на циклічну витривалість зразків проводили по схемі трьох точково-го згину балки (зразка рейки) відповідно до ГОСТ 14019-80 «Металлы. Методы испытания на изгиб» (рис. 2, а). Реалізовано дві схеми навантаження: з реалізацією стискаючих (схема № 1, рис. 2, б) та розтягуючих (схема № 2, рис. 2, в) нормальних напружень на поверхні головки рейки. Параметри режимів навантаження визначались із умов роботи залізничних рейок в умовах Київського метрополітену і наведені у роботі авторів [3].

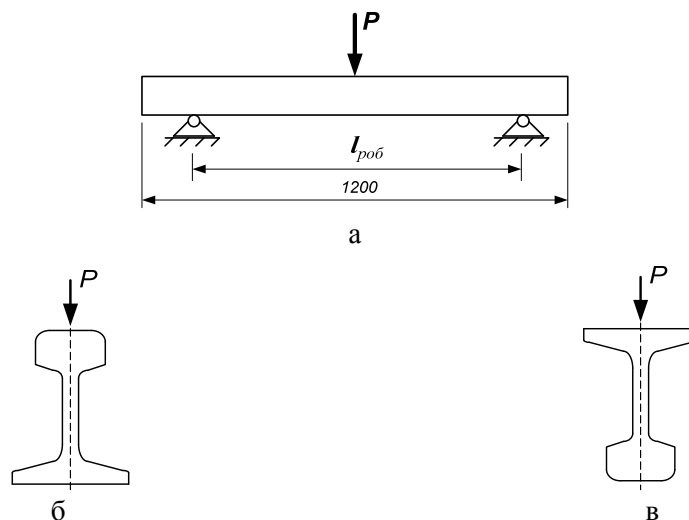


Рис. 2. Схеми навантаження зразків

З огляду на тривалість експериментів два зразки навантажувались ступінчасто з проміжним УЗ-контролем дефектів. Два інші зразки навантажувались у безперервному режимі. Для них УЗ-контроль провадили до початку і після завершення експерименту. Реалізовані режими навантаження наведені у табл. 1.

На рис. 3 показаний зразок, що встановлений у захватах випробувальної установки.

За такої схеми навантаження у зоні контакту ролика з рейкою виникають досить високі контактні напруження. Для мінімізації їх впливу на можливий розвиток дефектів типу 11.2 у процесі навантаження із наявних рейкових проб були вибрані два зразки, у яких у центральній зоні була мінімальна кількість дефектів. Саме ці зразки використовувались при реалізації першої схеми навантаження.

Таблиця 1. Режими навантаження дослідних зразків

	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3	Зразок № 4
Схема навантаження	№ 1	№ 2	№ 2	№ 1
Максимальна сила, кН	91	31	31	91
Коефіцієнт асиметрії, r	0,22	0,19	0,19	0,22
Частота, Гц	5	5	5	5
Режим навантаження	ступінчастий*	ступінчастий*	безперервний	безперервний
Число циклів навантаження	$2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$1,82 \cdot 10^6$
Форма циклу	синус.	синус.	синус.	синус.
Відстань між опорами, $l_{роб}$, мм	1000	600	600	1000

* – після реалізації $4 \cdot 10^5$, $8 \cdot 10^5$, $1,2 \cdot 10^6$, $1,6 \cdot 10^6$ і $2 \cdot 10^6$ циклів навантаження зразки піддавали дефектоскопічному контролю.



Рис. 3. Загальний вигляд випробувальної установки із встановленим зразком рейки

Розглянута схема № 1 навантаження зразка рейки лише певною мірою моделює роботу рейки у колії метрополітену, адже в даних експериментах поверхневі шари головки рейки постійно перебувають під дією лише стискаючих напружень, що циклічно змінюються. Контактними напруженнями у даних експериментах нехтували, адже їх вплив уже на відстані 30 мм від осі ролика не позначався на величині нормального напруження від згину. Проте слід зауважити, що в реальних умовах напруження в рейці складаються з контактних напружень, напружень від згину рейки у поздовжній площині, згинаючих напружень від позacentрового прикладення вертикального навантаження, напружень від стисненого кручення, температурних та залишкових напружень. Слід також урахувати, що навіть на прямолінійних ділянках шляху можлива поява дотичних зусиль на контактній площадці, які діють у поздовжньому (при проковзуванні коліс) і поперечному (при вилянні візка) напрямках. Ці дотичні зусилля призводять до збільшення напружень у поверхневих шарах головки рейки, що може викликати появу пластичних деформацій.

Тому оцінку довговічності рейок слід проводити за умов раціонального поєднання як експериментальних досліджень, так і теоретичних розрахунків напружено-деформованого стану. Проте такий комплексний аналіз виходить за межі даної роботи. З наведеного у роботі [3] аналізу умов роботи рейок витікає, що вибір схеми навантаження зразка за умов трьох точкового згину має принципове значення. Величина розтягуючих напружень в головці рейки може досягати 20 – 25% від величини стискаючих напружень за умов рівнопружної основи. В реальних умовах основа не є рівнопружною, до того ж і колеса і рейки можуть мати нерівності, тому рівень розтягуючих напружень може бути значно вищим.

Тому для більш точної оцінки залишкового ресурсу рейок були проведені експериментальні дослідження циклічного згину рейок з реалізацією розтягуючих напружень у головці рейки (схема № 2, рис. 2, в). З цією метою на згаданій випробувальній установці була досліджена поведінка двох зразків рейок з дефектами типу 11.2 в умовах циклічного навантаження за умови розміщення зразків головкою вниз (рис. 4). Режими навантаження вказані у табл. 1.



Рис. 4. Загальний вигляд випробувальної установки із встановленим за схемою № 2 зразком рейки

Після реалізації $4 \cdot 10^5$, $8 \cdot 10^5$, $1,2 \cdot 10^6$, $1,6 \cdot 10^6$ і $2 \cdot 10^6$ циклів навантаження також проводили дефектоскопічний контроль головки рейки, підшви та її бічних граней. За результатами дефектоскопічного контролю не виявлено появи поперечних тріщин (тобто дефектів типу 21) у досліджених зразках. При цьому не виявлено також суттєвого збільшення розмірів наявних дефектів типу 11.2. Таким чином, як попередній висновок, можна вважати, що стискаючі напруження від згину, рівень яких відповідає експлуатаційним, несуттєво впливають на дефектність рейки.

Основним чинником появи поверхневих дефектів на головці рейки слід вважати високі контактні напруження, що виникають внаслідок взаємодії коліс рухомого складу з рейками залізничної колії. Чисельний аналіз рівнів контактних напружень за умов руху візка на прямолінійній ділянці колії наведено, зокрема, в роботах авторів [4, 5], а також в інших публікаціях [6-8].

На основі проведених експериментальних і теоретичних досліджень був зроблений висновок про можливість подовження нормативних термінів експлуатації рейок в умовах Київського метрополітену.

ЛІТЕРАТУРА

1. Даніленко Е.І., Рибкін В.В. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. – К.: Транспорт України, 2006. – 168 с.
2. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів та рейок залізниць України (ЦП-0060, 0061) / За ред. Е.І. Даніленка, А.М. Орловського. – К.: Міністерство транспорту України, 2000. – 148 с.
3. Даніленко Е.І., Косарчук В.В., Пилипенко А.П., Йосифович Р.М., Рафальський О.Ю. Обґрунтування методики експериментальної оцінки залишкового ресурсу рейок залізничної колії метрополітену // 36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2015. – № 26–27. – С. 26–38.
4. Косарчук В.В. Прогнозирование долговечности рельсов по критерию возникновения трещин контактной усталости / Косарчук В.В., Агарков А.В. // 36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2012. – № 20. – С. 77–90.
5. Агарков О.В. Визначення контактних напружень в рейках залізничної колії за допомогою методу скінченних елементів / Агарков О.В. // 36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2014. – № 24. – С. 39–44.
6. Matin Sh. Sichania, Roger Enbloma, Mats Berg Comparison of non-elliptic contact models: Towards fast and accurate modelling of wheel-rail contact // Wear. – 2014. – 314. – P. 111–117.
7. Mehmet Ali Arslan. 3-D Rail-Wheel contact analysis using FEA / Mehmet Ali Arslan, Oguz Kayabasi // Advances in Engineering Software. – 2012. – 45. – P. 325–331.
8. Sladkowski A., Sitarz M. Analysis of wheel-rail interaction using FE software // Wear. – 2005. – 258. – P. 1217–1223.

Eduard I. Danilenko, Doctor of Science (Engineering), Professor
(Head of the Department of Railroad Track and Track Facilities State University for Transport Economy and Technologies)

Valeriy V. Kosarchuk, Doctor of Science (Engineering), Professor
(Head of the Department of Theoretical and Applied Mechanics, State University for Transport Economy and Technologies)

Roman M. Yosufovuch, Ph.D. (Engineering)
(Associate Professor, Department of Railroad Track and Track Facilities State University for Transport Economy and Technologies)

Oleksandr V. Agarkov, Ph.D. (Engineering)
(Associate Professor, Department of Theoretical and Applied Mechanics, State University for Transport Economy and Technologies)

Oleh Rafalskyi

(Assistant Professor, Department of Theoretical and Applied Mechanics, State University for Transport Economy and Technologies)

EXPERIMENTAL REMAINING RESOURCE ESTIMATION OF METRO RAIL TRACK

The results of the experimental remaining resource estimation of rails are considered. For the experiment selected samples of 4 rails with accumulated tonnage, that are subjected to cyclic loading of a three-point bend. The results showed that compressive stress from bending, which corresponds operational level, does not significantly affect rail defects.

Keywords: rails, cyclic loading, ultrasonic flaw detection, contact-fatigue defects residual life.

REFERENCES

1. Danilenko E.I., Rybkin V.V. Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist i stiikist, Kiev, Transport Ukrainy Pub., 2006, 168 p.
2. Kласифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів та рейок залізничної України (TsP-0060, 0061)/ За ред. E.I. Danilenko, A.M. Orlovskoho. – K.: Ministerstvo transportu Ukrainy, 2000. – 148 p.
3. Danilenko E.I., Kosarchuk V. V., Pylypenko A.P., Yosyfovych R.M., Rafalskyi O.Yu. Obgruntuvannia metodyky eksperymentalnoi otsinky zalyshkovoho resursu рейок залізничної колії метрополітену, Zb. nauk. prats DETUT. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii», 2015, No. 26-27, P. 26–38.
4. Kosarchuk V.V. Prohnozyrovanye dolhovechnosti relsov po kryteriyu voznyknoveniya treshchyn kontaktnoi ustalosti, Zb. nauk. prats DETUT, Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii», 2012, No. 20, P. 77 – 90.
5. Aharkov O.V. Vyznachennia kontaktnykh napruzhen v reikakh zaliznychnoi kolii za dopomohoiu metodu skinchenykh elementiv / Aharkov O.V. // Zb. nauk. prats DETUT. Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii», 2014, No. 24, P. 39-44
6. Matin Sh. Sichania, Roger Enbloma, Mats Berg Comparison of non-elliptic contact models: Towards fast and accurate modelling of wheel–rail contact // Wear, 2014, No. 314, P. 111 – 117.
7. Mehmet Ali Arslan. 3-D Rail-Wheel contact analysis using FEA / Mehmet Ali Arslan, Oguz Kayabasi // Advances in Engineering Software, 2012, No. 45, P. 325 – 331.
8. Sladkowski A., Sitarz M. Analysis of wheel-rail interaction using FE software // Wear, 2005, No. 258, P. 1217 – 1223.

УДК 625.032

В. І. Данилевський, к.т.н., доцент

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

С. В. Остапець

(провідний інженер-технолог філії «Українська залізнична швидкісна компанія», м. Київ)

В. М. Тарасюк

(заступник головного технолога ПрАТ «Київський електровагоноремонтний завод», м. Київ)

ВІДНОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ КОЧЕННЯ КОЛІСНИХ ПАР БЕЗ ВИКОЧУВАННЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ

У статті виконано огляд існуючих способів механічної обробки профілів колісних пар без викочування в депо залізниць України. Визначений перспективний напрям відновлення профілю кочення колісних пар.

Ключові слова: колісна пара, профіль кочення, схеми базування.

В статті виконано аналіз існуючих способів обточування колісних пар без викатки в депо залізниць України. Визначено перспективне напрямлення відновлення профілю катання колісних пар.

Ключевые слова: колесная пара, профиль кочения, схемы базирования.

Постановка проблеми. В умовах зростання інтенсивності пасажирських та вантажних перевезень виникає потреба в збільшенні швидкості руху поїздів, що в свою чергу призводить до динамічних перенавантажень колісних пар. Колісна пара є найбільш відповідальним вузлом екіпажної частини рухомого складу, від справного стану якого залежить безпека руху поїздів. В процесі експлуатації колісна пара піддається комплексу вертикальних, горизонтальних і бокових сил, які призводять до пластичних деформацій поверхневих шарів ободів бандажів та суцільнокатаних коліс (прокат, зменшення гребеня тощо), а також різних видів контактної пошкодження (повзуни, вищербини, навари). Найбільшому зношуванню піддаються поверхня кочення і гребінь бандажів та суцільнокатаних коліс.

З метою підтримання оптимальної величини прокату і товщини гребнів колісних пар, «Положенням про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу», передбачено виконання технічного обслуговування ТО-4: обточування бандажів та суцільнокатаних коліс без викочування з-під локомотиву або моторвагонного рухомого складу [1]. Причому дозволяється поєднувати обточування колісних пар рухомого складу з технічними обслуговуваннями ТО-2, ТО-3 і поточними ремонтами ПР-1, ПР-2. Основними нормативно-технічними документами, які встановлюють вимоги до колісних пар при виконанні ТО-4 є:

© Данилевський В.І., Остапець С.В., Тарасюк В.М., 2017

- «Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм» ВНД 32.0.07.001-2001 (Нова редакція).

- «Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар» ЦВ-ЦЛ-0062.

- «Рух пасажирських поїздів прискорений. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу» СТП 01-005:2016.

Переважна більшість обладнання, яке використовується в депо для обточування колісних пар без викочування з-під вагона спроектоване в минулому столітті і не відповідає сучасним вимогам до механічної обробки відповідальних вузлів, а також має низку недоліків: низька продуктивність і якість обробки, підвищене зношування ріжучого інструменту і складність в обслуговуванні, а також зменшення ресурсу бандажів і суцільнокатаних коліс при обточуванні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При механічній обробці профілів колісних пар використовуються наступні методи різання: точіння, фрезерування та шліфування. В якості бази при обточуванні використовуються центрові отвори в осі колісної пари, букси або поверхні кочення коліс. В публікаціях [2–4] розглянуті та проаналізовані способи обточування колісних пар без викочування.

Мета статті – проаналізувати модельний парк верстатів і способи механічної обробки профілів колісних пар без викочування в умовах локомотивних, моторвагонних і вагонних депо ПАТ «Укрзалізниця»; визначити перспективні напрями вдосконалення технології відновлення профілю кочення колісних пар під час експлуатації рухомого складу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним з розповсюджених верстатів, які на сьогодні ще використовуються для відновлення профілів колісних пар є колісо-токальний верстат моделі А-41 виробництва Івано-Франківського заводу. Базування колісної пари на верстаті виконується за рахунок встановлення на спеціальні буксові опори, обертання при обробці здійснюється від тягового електродвигуна. Підняття та вивішування колісної пари забезпечується пневматичними домкратами. Відновлення профілю кочення виконується окремо для кожного бандажа чи суцільнокатаного колеса у два етапи: відновлення поверхні кочення та відновлення гребня. Поверхня кочення обробляється різцями з твердосплавними пластинами за рахунок розвороту направляючих верстату під потрібним кутом, який відповідає куту нахилу конусної поверхні кочення (1:7 та 1:3,5). Гребінь відновлюється за рахунок ручної подачі різця оснащеного чашечною твердосплавною пластиною.

Перевагою даного верстата є низька вартість експлуатації. До недоліків слід віднести низьку продуктивність, ручну подачу, значний виліт ріжучого інструменту, що призводить до зниження його стійкості та погіршення якості обробки, низьку потужність головного приводу. Продуктивність і якість обточування на верстаті А-41 залежить тільки від кваліфікації персоналу.

Другим типом верстатів, що широко використовуються для обробки колісних пар, є колесофрезерний верстат моделі КЖ20 виробництва Краматорського верстатобудівного заводу (далі – КЗТС). Базова модель верстата КЖ-20 має низку модифікацій, таких як КЖ20МФ3, КЖ20ВФ1. Верстати даної моделі складаються з механізму фрезерування та головного приводу. Механізм фрезерування встановлюється на С-подібній рамі, яка підіймається за допомогою гвинтового домкрата. В цей механізм входять спеціальні фрези та бабки з пінолями, які встановлюються в центрові отвори осі колісної пари за допомогою гвинтових підйомників із черв'ячною передачею. Головний привід забезпечує обертання колісної пари від двох роликів через гребені коліс. Відновлення профілів виконується за допомогою двох профільних фрез. Кожна фреза складається з корпусу, на якому закріплюються фрезерні ножі, що мають форму

профілю колісної пари, на яких закріплені твердосплавні пластини. При відновленні профілю головний рух виконує фреза, яка переміщується перпендикулярно до осі колісної пари, чим забезпечується точність обробки. Подача реалізується за рахунок обертання колісної пари в центрах осі, чим забезпечується сувісність двох коліс.

Даний тип верстатів використовує комбіновану схему базування колісної пари, що включає вивішування на роликах с подальшим закріпленням в центрових отворах осі. Перевагами верстатів даної моделі є досить висока продуктивність, утворення мілкої стружки при обробці.

До основних недоліків слід віднести:

- відсутність можливості регулювання глибини різання, у зв'язку з чим обточування виконується під шаблон (повна товщина гребеня), що призводить до зниження діаметра більше 5 мм та скороченню ресурсу колісної пари;
- необхідність доступу до центрових отворів у торці осі, у зв'язку з чим виникає потреба в демонуванні буксових кришок, що збільшує собівартість робіт;
- складність у наладці комплекту фрез.

Обробка бандажів і суцільнокатаних коліс на верстатах КЗТС не забезпечує необхідної чистоти поверхонь, що потребує додаткового шліфування.

Одним з перспективних напрямів у відновленні профілів кочення колісних пар без викочування з-під вагона, є використання верстатів із безцентровим методом обробки і використанням числового програмного керування (далі – ЧПК). Даний тип базування має низку переваг, основними з яких є незалежність обробки від конструкції букс та їх наявності на колісній парі, висока продуктивність за рахунок автоматизації та неперервності процесу різання. Така технологія обробки профілів колісних пар впроваджена у філії «Українська залізнична швидкісна компанія». Обточування виконується на підрейковому верстаті моделі U2000-400, фірми Hegenscheidt (Німеччина).

Верстат моделі U2000-400 є універсальним, динамічно жорстким, зручним у керуванні та обслуговуванні токарний верстат, який відповідає сучасним вимогам обробки колісних пар завдяки високому коефіцієнту використання, точності і якості обточування та універсальності застосування. Універсальність даного верстату полягає в можливості механічної обробки колісних пар з профілями всіх типів, що застосовуються рухомим складом ПАТ «Укрзалізниця» з буксовими вузлами будь-якої конструкції, а також можливістю обточування гальмівних дисків змонтованих на середній частині осі або диску суцільнокатаного колеса.

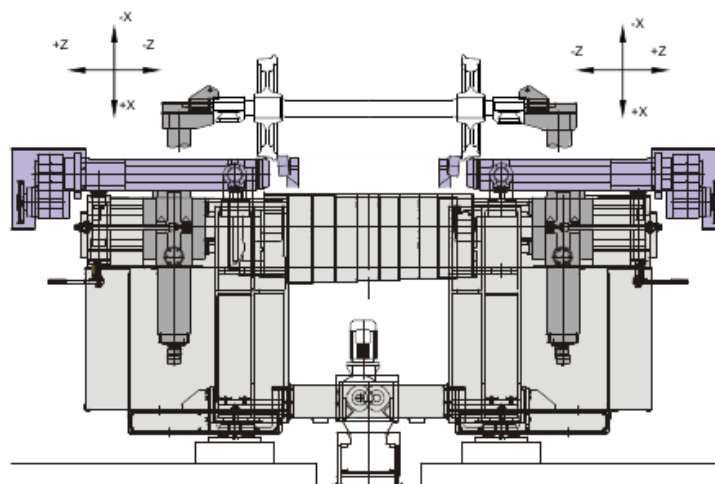


Рис. 1. Загальний вид верстата U2000-400 Hegenscheidt

Обертання колісної пари виконується за допомогою чотирьох привідних роликів (2×2) по два на кожне колесо (див. рис. 1). Висока динамічна жорсткість зафіксованих колісних пар, яка необхідна для максимально точної обробки, гарантована завдяки радіальному центруванню букси та використанню осьових направляючих роликів (див. рис. 2).

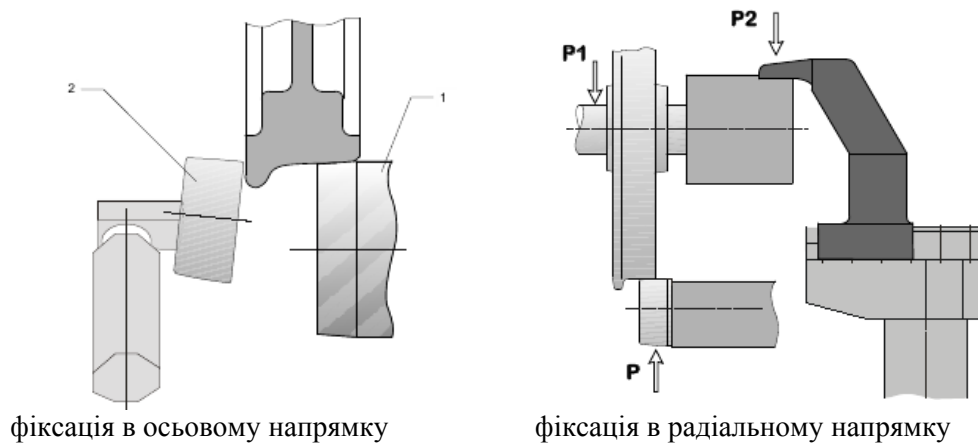


Рис 2. Закріплення колісної пари на верстаті
1 – привідний ролик, 2 – фіксуєчий ролик

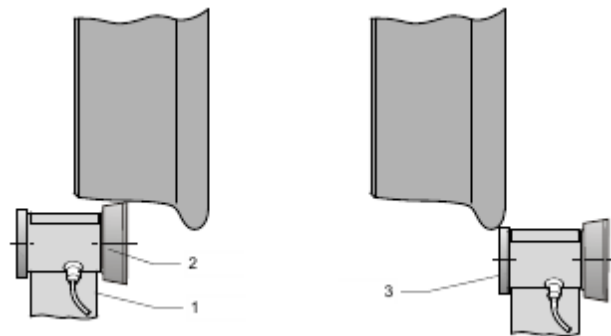


Рис 3. Вимірювання параметрів коліс колісної пари
1 – вимірювальний супорт; 2 – колесо «Пейслера» для вимірювання параметрів колісної пари; 3 – колесо «Пейслера» для вимірювання відстані між внутрішніми гранями

Перед початком обробки в автоматичному режимі виконується вимірювання параметрів колісної пари (відстань між внутрішніми гранями, діаметр, радіальне та осьове биття, товщина гребеня). Вимірювання виконується методом обкатки профілю починаючи від вершини гребеня в напрямку зовнішньої грані колеса за допомогою двох коліс «Пейслера» – вимірювального супорта верстату (див. рис. 3). Отримані після вимірювання значення порівнюються в системі ЧПК з еталонним профілем для визначення діаметра при переточуванні, при цьому враховуються радіальні та осьові биття коліс, діаметри, дефекти профілю (вм'ятини, забоїни, вищербини, повзуни). На основі аналізу отриманих даних в автоматичному режимі виконується розбивання різку та подачі інструменту. Також на екран виводиться графік існуючого (фактичного) профілю і того, що буде отримано після обробки по вибраному варіанту (див. рис. 4).

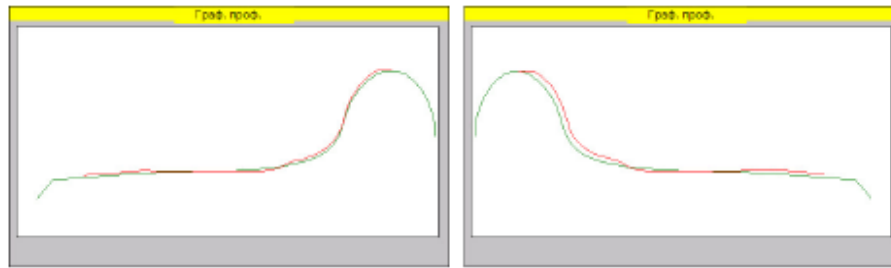


Рис 4. Графіки зношеного профілю (червона лінія) і того, що буде отримано після переточування (зелена лінія)

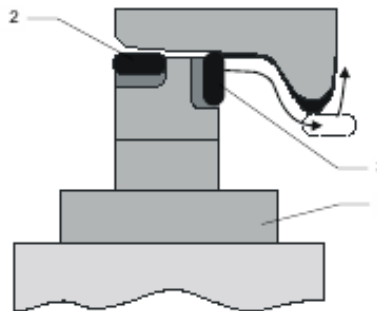


Рис 5. Обробка профілю кочення

- 1 – різцетримач; 2 – пластина для обробки внутрішньої сторони гребня;
3 – пластина для обробки зони кочення та робочої сторони гребня

Обробка виконується одночасно двох коліс колісної пари в напрямку від зовнішньої до внутрішньої грані. На кожному різцетримачі закріплено по дві твердосплавні пластини, які використовуються залежно від зони обробки профілю. Переміщення ріжучого інструменту виконується по двох координатах, які задаються згідно із записаним у програмі ЧПК профілю поверхні (див. рис. 5). Відповідність отриманого профілю після обробки нормативній документації визначається точністю систем позиціонування та переміщення ріжучого інструменту.

Переваги даного верстата полягають у відсутності копіра, який замінено еталонним профілем, записаним у програмі ЧПК, висока точність і якість обробки, зняття мінімального, до 2 мм, шару металу з обода колеса, утворення дрібної стружки, висока продуктивність.

Висновки.

1. Відновлення профілів кочення колісних пар без викочування завдяки високій ефективності має широке розповсюдження в локомотивних і вагонних депо залізниць України. На сьогодні обладнання, що встановлене в переважній більшості ремонтних підприємств, морально застаріле і фізично зношене, не відповідає сучасним вимогам по рівню точності процесу відновлення та продуктивності обробки.

2. Вдосконалення методів відновлення профілів кочення колісних пар без викочування полягає в підвищенні якості та продуктивності обробки, при цьому обробка повинна забезпечувати зняття мінімального шару металу з обода бандажа або суцільнокатаного колеса, що значно збільшить ресурс колісних пар. При цьому необхідно врахувати обробку бандажів зі сталі марки 4 ДСТУ ГОСТ 398 та суцільнокатаних коліс марок Л, Т ДСТУ ГОСТ 10791 з твердістю 320-360 НВ.

3. Основним напрямком відновлення профілів кочення колісних пар без викочування з-під вагонів в умовах динамічного розвитку прискореного руху в Україні є впровадження сучасних високоякісних підрейкових верстатів з комбінованою схемою базування, оснащених надійними автоматичними засобами вимірювання параметрів колісних пар, що в сукупності забезпечить необхідні вимоги динаміки та плавності ходу прискорених поїздів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наказ N-429 – Ц/Од від 15.10.2015 р. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу. – К: Укрзалізниця, 2015. – 23 с.
2. Богданов А. Ф., Иванов И. А. Восстановление профиля поверхности катания колёсных пар: учеб. пособие – СПб.: ПГУПС, 2000. – 158 с.
3. Аксенов В. А., Полиновский В. А., Смагин В. И. Технология обточки железнодорожных колесных пар без выкатки / Новосибирск: Издательство Сибирского государственного университета путей сообщения, 2006. – 122 с.
4. Богданов А. Ф., Ольброт Э. Ремонт колесных пар без выкатки / Железнодорожный транспорт: выпуск №5, 1985. – 30–34 с.

Volodymyr I. Danyltskyi, PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)
Sergiy V. Ostapets
(Lead Engineer, Ukrainian Railway High-Speed Company)
Vasyl M. Tarasiuk
(Graduate Student of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

RESTORATION OF ROLLING WHEELSETS PROFILE WITHOUT WHEELSET BEARINGS ROLLING OUT DURING OPERATION OF ROLLING STOCK

The paper made a review of existing method of machining profiles of wheelsets without rolling out stores in Ukraine Railways. Perspective direction recovery profile rolling wheelsets.

Keywords: *wheelset Profile rolling schemes based.*

REFERENCES

1. Nakaz N-429 – Ts/Od vid 15.10.2015 r. Polozhennya pro planovo – poperedzhuval’nu systemu remontu i tekhnichnoho obsluhovuvannya tyahovoho rukhomoho skladu [The provisions of the plan – warning system repair and maintenance of traction rolling stock], Kiev, Ukrzaliznytsya, 2015, 23 p.
2. Bogdanov A. F., Ivanov I. A. Vosstanovlenie profilya poverhnosti kataniya kolyosnyih par [Restoration of the rolling surface profile of wheel pairs], ucheb. Posobie, SPb, PGUPS, 2000, 158 p.
3. Aksenov V. A., Polinovskiy V. A., Smagin V. I. Tehnologiya obtochki zheleznodorozhnyih kolesnyih par bez vykatki [Technology of turning of railway wheel pairs without rolling out], Novosibirsk, Pub. Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobscheniya, 2006, 122 p.
4. Bogdanov A. F., Olbrot E. Remont kolesnyih par bez vykatki [Repair of wheel sets without rolling out], Zheleznodorozhnyiy transport, No. 5, 1985, 30-34 pp.

УДК 625.143.54-048.445-027.28

І. О. Мікульонок, д.т.н., професор, с.н.с.

*(професор кафедри «Хімічне, полімерне та силікатне машинобудування»,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»)*

КЛАСИФІКАЦІЯ РЕЙОК РЕЙКОВИХ ШЛЯХІВ ТА ОГЛЯД ЇХНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Метою статті є класифікація рейок рейкових шляхів, передусім рейок залізниць, та аналіз їхнього конструктивного оформлення.

Запропонована класифікація ґрунтується як на класичному підході до питання рейкового шляху, так і на аналізі відповідної патентної документації різних країн світу.

Наведено класифікацію рейок, а також виконано аналіз їхніх конструкцій, що різняться за призначенням (видом рейкового транспорту), формою поперечного перерізу, формою в поздовжньому напрямку, довжиною, кількістю головок, умовами експлуатації, структурою матеріалу, типом сталі, способом виплавлення сталі, термообробкою, ступенем збірності, рівнем звуку під час експлуатації тощо. Розглянуто перспективи використання запропонованих конструкцій рейок.

Матеріали статті можуть бути корисними науково-педагогічним і педагогічним працівникам, конструкторам, винахідникам, аспірантам і студентам.

Ключові слова: рейковий шлях, верхня будова шляху, рейка, класифікація, конструкція.

Целью статьи является классификация железнодорожных костылей и анализ их конструктивного оформления.

Предложенная классификация основывается как на классическом подходе к вопросу верхнего строения рельсового пути, так и на анализе соответствующей патентной документации различных стран мира.

Приведена классификация рельсов, а также выполнен анализ их конструкций, которые различаются по назначению (виду рельсового транспорта), форме поперечного сечения, форме в продольном направлении, длине, количеству головок, условиям эксплуатации, структуре материалу, типу стали, способу выплавки стали, степени сборки, уровню звука во время эксплуатации и т.п. Рассмотрены перспективы использования предложенных конструкций рельсов.

Материалы статьи могут быть полезны научно-педагогическим работникам, конструкторам, изобретателям, аспирантам и студентам.

Ключевые слова: рельсовый путь, верхнее строение пути, рельс, классификация, конструкция.

Постановка проблеми. Чи не основним елементом будь-якого рейкового шляху є рейки [1–5]. Відповідно до [6] рейка (англ. rail – рейка, від лат. regula – прямий кийок, брусок, планка) – це сталевий виріб у вигляді спеціального фасонного профілю, що складається з головки, шийки, підошви та призначений для верхньої будови рейкових

© Мікульонок І. О., 2017

шляхів залізничного магістрального й промислового транспорту, метрополітену і трамвайних шляхів, а також для кранових і підвісних шляхів. При цьому рейкові шляхи виготовляються для потягів, кранів, візків і тельферів, а також для іншого підйомно-транспортного обладнання та інших пересувних, поворотних та обертових конструкцій. Рейки безпосередньо сприймають навантаження від рухомого складу, передають його на розташовані під ними елементи верхньої будови рейкового шляху, спрямовують рух коліс рухомого складу, а також проводять сигнальний та зворотний тяговий струм на ділянках з автоблокуванням та електричною тягою [1, 2].

Перші металеві рейки були виготовлені у Великій Британії 1767 р. У Росії чавунні рейки для рудникових і заводських шляхів застосовані 1788 р. (Олександрійський гарматний завод у Петрозаводську). З другої половини XIX ст. почали поширюватися катані сталеві рейки. Сьогодні рейки випускають зі спеціальної рейкової сталі. Незважаючи на достатньо повну інформацію щодо призначення, технології та експлуатації рейок у науковій і навчальній літературі відсутня достатньо повна їх класифікація. Також недостатньо уваги приділено і сучасним конструкціям рейок. Це дещо ускладнює аналіз сучасного стану й перспектив розвитку стану рейкових шляхів і шляхового господарства.

Метою статті є класифікація рейок, передусім для верхньої будови рейкових шляхів, та аналіз їхнього конструктивного оформлення.

Виклад основного матеріалу. Для облаштування рейкових шляхів використовують різноманітні рейки, класифікацію яких наведено на рис. 1.

За *призначенням (видом рейкового транспорту)* можна виділити в окремі групи такі види рейок: звичайні (недопустимий термін «залізничні»), допоміжні для облаштування рейкових шляхів, жолобчасті (недопустимий термін «трамвайні»), кранові, для шляхів промислового транспорту, для підвісних шляхів, струмопровідні, а також рудникові, для шахтних провідників.

У свою чергу найбільш поширені звичайні рейки поділяють на рейки широкої (1520 мм) й вузької колії (750 мм, 1000 мм то ін.).

В Україні відповідно до ДСТУ 4344:2004 прийнято чотири типу рейок для залізниць широкої колії – Р43, Р50, Р65 і Р75 (літера «Р» означає «Рейка», а числа означають нормовану масу 1 м рейки). Для залізниць вузької колії відповідно до ДСТУ 3611–97 виготовляють рейки Р8 і Р11, ДСТУ 3799–98 – Р18 і Р24. Також застосовують рейки Р33 і Р38 згідно з ДСТУ 2539–94. Вибір типу рейок залежить передусім від вантажонапруженості шляху.

Для облаштування верхньої будови шляху із залізничними рейками Р50 застосовують контррейки РК50 згідно з ГОСТ 9797–85, з рейками Р65 – РК65 згідно з ГОСТ 9798–85 і Р75 – РК75 згідно з ГОСТ 26110–84. При цьому технічні умови до контррейок визначені ГОСТ 18232–83.

Також застосовують гострякові рейки ОР50 та ОР65 згідно з ДСТУ 4814:2007, а також ОР75 згідно з ГОСТ 26168–84 (як і контррейки, гострякові рейки призначені для облаштування виличних переводів), вусовикові рейки УР65 (призначені для виготовлення залізничних хрестовин с неперервною поверхнею качання), а також рамні РР65 (для виготовлення з'єднань і пересічень рейкових колій).

Кранові рейки КР70, КР80, КР100, КР120, КР140 згідно з ГОСТ 4121–96 призначені для облаштування підкранових шляхів передусім мостових кранів, а також баштових, козових, портових та ін.



Рис. 1. Класифікація рейок рейкових шляхів

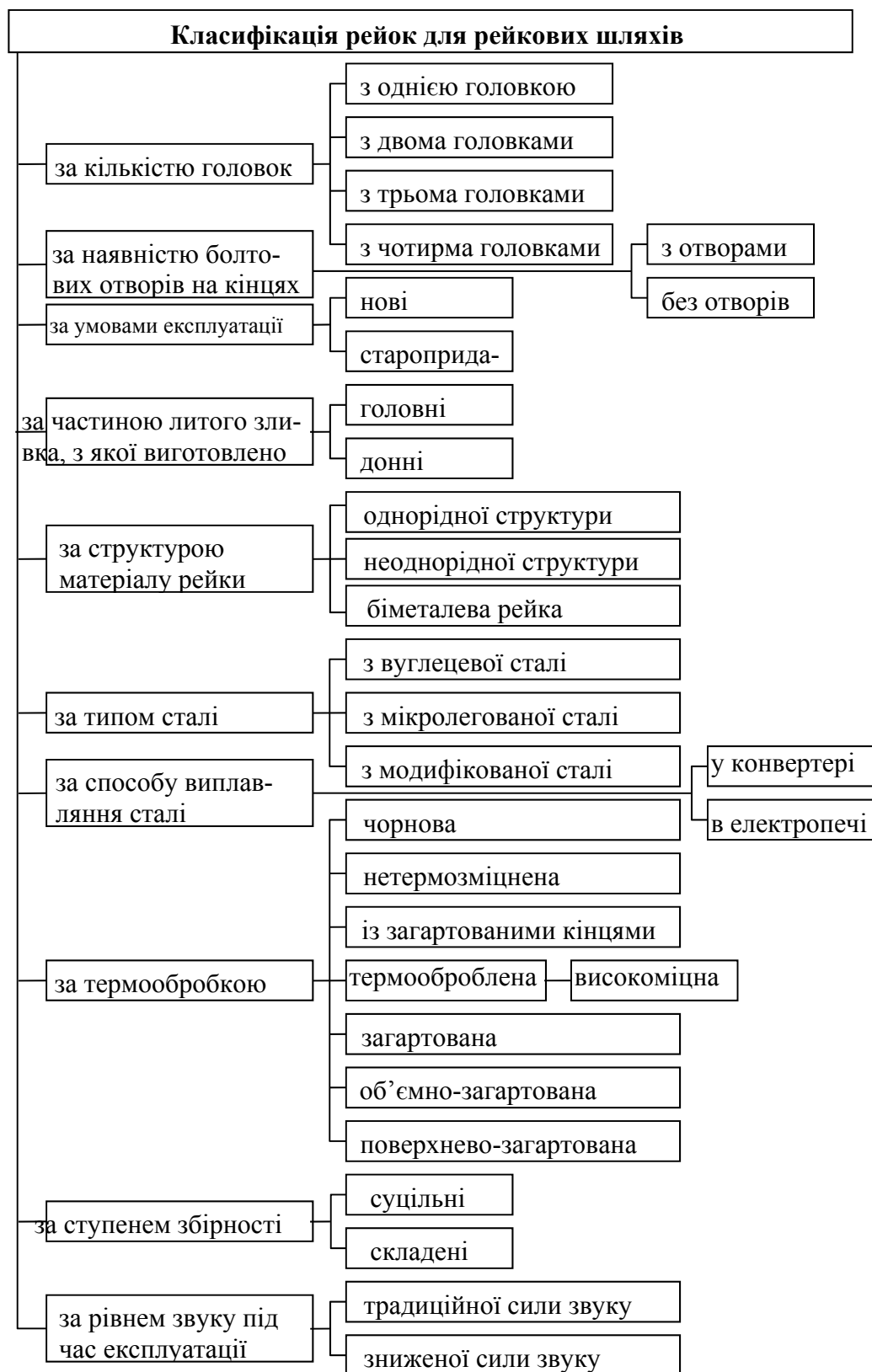


Рис. 1. Закінчення

Жолобчасті рейки згідно з ТУ 14-2Р-320-96 застосовують переважно для облаштування трамвайних та під'їзних шляхів. На відміну від звичайних рейок вони мають більшу висоту і площу поперечного перерізу. Довжина жолобчастих рейок становить 15–18 м, а при облаштування рейкових ниток для трамваїв рейки Т58 і Т62 зазвичай зварюють між собою для утворення безстикового шляху.

Для рудникового транспорту, пересувних підймальних кранів та їхніх механізмів, поворотних та обертових конструкцій і агрегатів тощо використовують полегшені рейки традиційної форми, а в деяких випадках – рейки спеціального профілю. Так, для наземних і підвісних шляхів – ГОСТ 19240–73, для шахт – рудникові рейки Р33, Р38 і Р43 (згідно з ДСТУ 2539–94). Також окремо виділяють рейки для шляхів промислового транспорту. З цією метою найчастіше застосовують рейки Р43 згідно з ГОСТ 7173–54 і спеціальні рейки для промислових підприємств РП50, РП65 і РП75 – ГОСТ Р 51045–97.

Окремо виділяють струмознімні рейки, призначені для підведення електричного струму до вагонів метрополітену, а також охоронні рейки, які встановлюють зсередини або ззовні рейок колії для забезпечення безпеки руху трамвайних вагонів (поїздів) у небезпечних місцях (на мостах, шляхопроводах, на насипах заввишки понад 2 м тощо) (див., наприклад, ГСТУ 204.04.05.005–2004 «Колії трамвайні. Система технічного обслуговування та ремонту. Загальні положення» або ДБН В.2.3-18:2007 «Трамвайні та тролейбусні лінії Загальні вимоги до проектування»).

За *формою поперечного перерізу* розрізняють звичайні, кранові, спеціальні та аркові рейки. Поперечний переріз звичайної рейки складається з симетричної головки (відносно вертикальної осі), тонкої шийки та симетричної підшви. При цьому розрізняють звичайні рейки з рівномірним уклоном підшви, у яких верхні похилі поверхні підшви виконані у вигляді прямої лінії, та з нерівномірним уклоном підшви, у яких кожна верхня похила поверхня підшви складається з двох граней, розташованих одна відносно одної під заданим кутом. До звичайних рейок також можуть належати контррейки [6].

Поперечний переріз кранової рейки складається з симетричних широкої головки й підшви, а також стовщеної шийки.

Аркові рейки пропонуються для облаштування передусім швидкісного рейкового шляху (пат. Росії № 2190719 С2, 2207316 С2). Ці рейки виконані у формі арки з головкою в замку арки та двома симетричними п'ятами-підшвами, з'єднаними з головкою суцільними стінками. Вона характеризуються низькою матеріалоемністю, високою технологічністю й достатньою жорсткістю, проте вони мають відносно невисоку вантажопідйомність.

Достатньо цікава конструкція аркової або трапецієвидної рейки, зігнутої з листової заготовки з утворенням на опорній поверхні головки поздовжній розріз (пат. Китаю № 101338855 А). Ця рейка має підвищену демпфувальну здатність, проте вона придатна лише для мало рейкових колій з відносно невисокою вантажонапруженістю.

На відміну від звичайної рейки, поперечний переріз спеціальної рейки складається з несиметричної головки (відносно вертикальної осі), шийки, а також симетричної або несиметричної підшви. До спеціальних рейок передусім належать контррейки, вусовикові рейки, гострякові рейки, жолобчасті, таврові, двоголові, багатоголові та струмознімні.

Жолобчасті рейки, поперечний переріз яких складається з несиметричної головки з жолобом, шийки та симетричної підшви, зазвичай застосовують для облаштування трамвайних та під'їзних шляхів (пат. України № 25054 U, 86113 С2, заявка США № 2012/0168569 А1), а таврові (пат. Росії № 2081049 С1, 2135309 С1) і двоголові – наземних та підвісних шляхів.

Поперечний переріз таврової рейки складається з вузької симетричної головки, високої шийки та широкої полиці, а поперечний переріз двоголової рейки – з двох однакових симетричних головок, з'єднаних високою шийкою.

Розроблено таврову рейку з порожнистою шийкою-головкою, заповнювану бетоном (пат. Росії № 2389842 С1). Така рейка за високої міцності й жорсткості відрізняється зниженою металоємністю.

Поперечний переріз струмознімної рейки складається з двох симетричних та різних за профілем головок, з'єднаних шийкою.

До багатоголових належать, передусім, три- і чотириголові рейки.

Триголові, або Y-подібні, рейки (пат. України № 43049 А, Китаю № 2140389 У) містять три однакові головки, з'єднані між собою розташованими під кутом 120° трьома шийками. Таким чином, роль підшви рейки виконують нижні дві головки, у той час як верхня сприймає безпосереднє навантаження від коліс рухомого складу. За твердженням авторів винаходу таке технічне рішення збільшує строк служби рейок і підвищує навантажувальну спроможність залізничної колії. Крім того, така рейка має надто високу матеріалоємність, а також вона низькотехнологічна у виготовленні.

Триголовна кранова рейка (пат. Росії № 2081049 С1) має центральну верхню головку для взаємодії з колесами вантажопідіймального крана, а також дві нижні головки для охоплення підкранової балки й надійної фіксації на ній.

Чотириголовна кранова рейка (пат. Росії № 2089698 С1) має чотири головки, розташовані на шийках симетрично відносно вертикальної й горизонтальної осей. Така конструкція збільшує строк служби рейки, а також забезпечує її підвищену міцність.

Звичайні рейки відмінно зарекомендували себе як з точки зору експлуатації, так і з точки хору їхньої технології. Проте розробники нової техніки пропонують їх нові вдосконалені конструкції.

Так, пропонується рейка з шийкою, що має два поздовжні трикутні виступи поблизу головки (а. с. СРСР № 1355592) або трапецієподібні виступи, у тому числі з виїмками (пат. Росії № 2073075 С1), які збільшують міцність рейки та знижує її матеріалоємність.

З цією самою метою запропонована рейка, у якій головку й підшву спряжено з шийкою кривими змінних радіусів, які зменшуються від підшви до шийки (а. с. СРСР № 1437458), а також рейка з шийкою змінної товщини – мінімальної біля підшви й максимальної біля головки (а. с. СРСР № 1562294).

У рейці підвищеної міцності на підшві навпроти шийки виконано поздовжній паз (а. с. СРСР № 1698335).

Також з метою підвищення терміну служби у місцях спряження поверхні кочення головки з її боковими гранями пропонується виконувати поздовжні виїмки (а. с. СРСР № 1759973). У цьому випадку зменшується зношування як рейки, так і коліс рухомого складу. Проте наявність виїмок може призвести й до протилежного ефекту: забивання їх (особливо за наявності мастильного матеріалу) піском або абразивним матеріалом може сприяти інтенсифікації зношування. Крім того, внаслідок зменшення площі опірної поверхні збільшуються контактні напруження, як у рейці, так і в колесі.

З метою зменшення контактних напружень у парі «колесо – рейка» пропонується виготовляти рейку з шийкою та головкою, що розташовані під невеликим кутом до вертикалі (пат. України № 19273 У). Аналогічна мета досягається і в рейці згідно з пат. України № 60212 А, у якій поверхня кочення головки нахилена під невеликим кутом в бік іншої рейки рейкового шляху.

Нарешті, в пат. України № 108867 У запропоновано рейку з поздовжнім трапецієподібним гребенем на опорній поверхні головки (паз відповідної форми при цьому виконується й на опорній поверхні коліс рухомого складу). Це рішення підвищує на-

дійність фіксації коліс в поперечному напрямку, а отже і зменшує імовірність сходження рухомого складу з рейкового шляху. Проте при цьому зростають контактні напруження в парі «колесо – рейка», особливо під час руху рухомого складу з такими колесами по безгребінчастих (звичайних) рейках.

Запропоновано полегшену рейку, в шийці якої по її довжині виконані наскрізні отвори, центри яких розташовані на прямій лінії або синусоїді (пат. Росії № 2491381 С1).

Компенсувати температурні деформації рейок пропонується виконанням з рівномірним кроком по довжині рейки надрізів (завширшки 0,5...1,0 мм), які розташовані як з боку головки, так і підшви, при цьому вони чергуються між собою (пат. України № 33599 U). Проте в цьому разі зменшується вантажопідйомність рейки, а надрізи під час дії знакозмінних навантажень можуть стати центрами руйнування.

З метою поліпшення стійкості рухомого складу на рейковому шляху запропоновано рейку з асиметричною в поперечному перерізі головкою, внутрішню відносно рейкового шляху поверхню якої виконано стандартною, а зовнішню – з похилою площиною для кочення по ній допоміжного колеса (пат. Росії № 2354772 С1, 2357033 С1).

За *формою в поздовжньому напрямку* розрізняють прямо- та криволінійні рейки. Останні використовують для облаштування криволінійних ділянок рейкового шляху.

Достатньо цікава конструкція рейки, що має криволінійну форму після виготовлення і набуває прямолінійної форми під час укладання за рахунок власної сили тяжіння, а не пластичного чи пружного деформування (пат. Росії № 2477348 С2).

За *довжиною* розрізняють рейки стандартної й нестандартної довжини, стандартної скороченої довжини та зварні стандартної довжини.

Величини стандартної довжини різних видів і типів рейок різні, наприклад, від 9 до 12 м з інтервалом через 0,5 м для кранових рейок типів КР70, КР80–КР140, 25 м для звичайних рейок типів Р75, Р65 і Р50, 12,5 м для рейок типу Р43, 6 м для рейок типу Р5. Рейки стандартної скороченої довжини призначені для укладання на кривих ділянках залізниці широкої колії. Рейки типів Р75, Р65 і Р50 мають довжину 24,92 і 24,84 м; 12,52; 12,46; 12,42 і 12,38 м, а рейки типу Р43 – 24,96; 24,92 і 24,84 м; 12,46; 12,42 і 12,38 м. Рейка зварна стандартної довжини зварюється з коротких рейок.

До рейок стандартної довжини також належить перехідна рейка – спеціальна рейка стандартної довжини, зварена з двох рейок різних типів.

За *кількістю головок* розрізняють рейки з однією, двома, трьома та чотирма головками (останні два види належать до багатоголових рейок).

Рейки з однією головкою є найбільш розповсюдженими, передусім для облаштування шляхів наземного рейкового транспорту.

Рейки з двома головками, як уже було зазначено, застосовуються для облаштування підвісних рейкових шляхів, а з трьома головками (У-подібні) і чотирма – майже не застосовуються.

За *наявністю болтових отворів на кінцях* розрізняють рейки з отворами та без отворів. З метою зниження концентрації механічних напружень в місцях виконання отворів їхні фаски пропонується виконувати радіусними (пат. України № 7107 U). З метою же збільшення строку служби рейок поздовжню вісь поперечного перерізу щонайменше одного отвору рейки виконано з нахилом (пат. Росії № 2407842 С2). Під час температурних деформацій рейок це забезпечує перевищення торця віддавальної рейки порівняно з торцем приймальної рейки, а отже й зменшення ймовірності передчасного руйнування торця приймальної рейки. Недолік цієї конструкції – можливість лише одностороннього руху транспортних засобів.

За *умовами експлуатації* розрізняють нові й старопридатні рейки, тобто рейки, що перебували в експлуатації.

За частиною литого зливка, з якої виготовлено рейки, розрізняють головні й донні рейки. Перші виготовляють з головної частини литого зливка, а другі – із донної.

У той же час для поліпшення експлуатаційних властивостей сталевих рейок за структурою матеріалу розрізняють рейки однорідної та неоднорідної структури.

Так, більшість конструкцій рейок належить до рейок однорідної структури, проте запропоновано рейку, частина опорних поверхонь головки й підшви виготовлені з перлітною структурою підвищеної твердості (пат. Росії № 2476617 С1). Аналогічною є і рейка (пат. Росії № 2561947 С1), верхня частина головки якого на глибину 20 мм є бейнітною або перлітною структурою.

Також розрізняють біметалеву рейку – звичайну рейку, у якої головку або верхню її частину виготовлено із зносостійкої сталі, а решту елементів рейки виготовлено, наприклад, з вуглецевої сталі звичайної якості [6].

За типом сталі розрізняють рейки, виготовлені з вуглецевої сталі, мікролегованої сталі (вміст легованих елементів менше 0,1 %), а також з модифікованої сталі (з підвищеними механічними властивостями та зменшеною анізотропією цих властивостей).

За способом виплавлення сталі натеper розрізняють рейки, виготовлені зі сталі, виплавленої в конвертері та зі сталі, виплавленої в електропечі. Слід зауважити, що ще наприкінці другого тисячоліття з цією метою традиційно використовувалася мартенівська сталь.

За термообробкою розрізняють рейки, наведені на рис. 1. При цьому варто зазначити, що високоміцною вважають рейку, границя міцності якого перевищує 1470 МПа.

За ступенем збірності розрізняють суцільні й складені рейки.

Більшість рейок виготовляють як окрему деталь – суцільними. Проте існують і складені рейки, наприклад згідно з пат. Росії № 2049185 С1, у якому наведено опис рейки, що складається по товщині з двох частин, кожна з яких має головку, шийку та підшву. При цьому обидві частини під час складання рейкового шляху зміщують одна відносно одної по довжині, так що утворюється рейкова зі стиками між частинами рейки, а не окремими рейками, що істотно зменшує зношування рейок та знижує рівень звуку під час експлуатації рейкової колії.

За рівнем звуку під час експлуатації можна виділити рейки традиційної сили звуку й рейки зниженої сили звуку.

До рейок традиційної сили звуку можна віднести стандартні рейки зі стиковими скріпленнями та зварені між собою в безстикovu рейкову нитку.

Рейки зниженої сили звуку забезпечують меншу, порівняно з традиційними, силу звуку, тому їх доцільно застосовувати для улаштування рейкових шляхів у межах населених пунктів.

До рейок зниженої сили звуку можна віднести конструкцію, запропоновану в пат. України № 60517 У, що має рівномірно розташовані по довжині рейки й прикріплені до її шийки поперечні ребра, вільні кінці яких з відповідного боку рейки з'єднано між собою металевим дротяним канатом. Прохід рейковим шляхом рухомого складу спричинює у канату коливання й деформації, які розсіюють частину енергії коливань рейок і, відповідно, знижує силу звуку під час експлуатації рейкового шляху. Проте в патенті не наводяться лані про ефективність цих рейок, до того ж вони мають значну металоємність та не позбавлені такого недоліку як антивандальність.

До цього ж типу рейок належить і конструкція згідно з пат. Росії № 2049185 С1, яку було розглянуто раніше.

Конструкцією зі зниженою силою звуку під час експлуатації є рейка з глухими трапецієподібними пазами на кінцевих ділянках з боку опорної поверхні головки, у якій розміщують трапецієподібну вставку, що входить в аналогічний паз сусідньої рейки, при цьому верхня поверхня вставки розташована на рівні з опорними поверхнями го-

ловок сусідніх рейок (пат. Росії № 2265099 С1). Під час проходження стикової западини поверхня кочення колеса контактує як з головкою рейки, так і зі вставкою, що забезпечує відсутність удару колеса, а отже й низький рівень шуму.

Аналогічного ефекту досягають і за умови застосування рейок зі скошеними торцями головок (пат. Росії № 2310030 С2), скошеними торцями рейок в цілому або V-подібними торцевими виступами й западинами (пат. Китаю № 1066693 А, пат. Японії № 2005139605 А, пат. Кореї № 2002-0015255, заявка Кореї № 1020070124944). Під час проходження стикової западини поверхня кочення колеса одночасно контактує з головками поверхнями кочення головкою сусідніх рейок на довжині їхніх скошених торців. Це забезпечує відсутність удару колеса, а отже й знижену силу звуку.

Більш технологічна рейка (заявка США № 2014/0076980 А1), на кінцевих ділянках яких видалено половина профілю рейки (у вертикальній площині). Під час з'єднання таких рейок між собою вони утворюють безстикову площадку кочення колеса, що забезпечує низький рівень шуму під час експлуатації рейкового шляху.

Як бачимо, незважаючи на уявну простоту такого звичного кожному з нас елемента рейкового шляху як костиль, винахідницька думка не стоїть на місці та продукує безліч різноманітних технічних рішень щодо конструктивного оформлення костилів рейкових шляхів.

Висновки. У статті зроблена спроба розробки розширеної класифікації рейок рейкових шляхів з урахуванням досягнень науки, техніки й технології в цьому питанні.

При цьому, навіть виходячи із запропонованої класифікації, а не конкретних варіантів виконання рейок, можна зробити висновок про їхнє різноманіття, що дає змогу проектувальникам не лише прослідкувати хід конструкторської думки впродовж тривалого часу експлуатації залізниць, а й за потреби обирати найприйнятніші технічні рішення відповідно до умов експлуатації рейкових шляхів (вантажонапруженість шляху, кліматичні умови тощо).

ЛІТЕРАТУРА

1. Калинин В. К. Общий курс железных дорог: учебник для сред. ПТУ / В. К. Калинин, Н. К. Сологуб, А. А. Казаков. Москва: Высш. шк., 1986. – 304 с.
2. *Общий курс железных дорог: учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта* / В. Н. Соколов, В. Ф. Жуковский, С. В. Котенкова, А. С. Наумов; под ред. В. Н. Соколова. Москва: УМК МПС России, 2002. – 296 с.
3. Мікульонок І. О. Класифікація шпал та огляд їхніх конструкцій / І. О. Мікульонок // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Транспортні системи і технології», 2015. – Вип. 26–27. – С. 47–57.
4. Мікульонок І. О. Класифікація костилів рейкових шляхів та огляд їхніх конструкцій / І. О. Мікульонок // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Транспортні системи і технології». – 2016. – Вип. 29. – С. 127–133.
5. Большая Советская Энциклопедия (в 30 томах) / гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. Москва: Сов. Энциклопедия, 1970. – Т. 21. Проба – Ременсы, 1975. – 608 с.
6. ГОСТ Р 50542–93. Изделия из чёрных металлов для верхнего строения рельсовых путей. Термины и определения. – Введ. 1983–01–01. – Москва: Стандартинформ, 2006. – 33 с.

Ihor O. Mikulionok, Dr. Sci. Tech., Prof., Sen. Researcher
(Professor of Chemical, Polymeric and Silicate Mechanical Engineering Chair, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute»)

CLASSIFICATION OF RAILWAY LINES RAILS AND THE REVIEW OF THEIR DESIGNS

Article purpose is classification of rails of railway lines and the analysis of their constructions.

The offered classification is based as on the classical approach to a problem of the top structure of a railway, and on the analysis of the corresponding patent documentation of the various countries of the world.

Classification of rails is resulted, and also the analysis of their designs which differ to destination (to a type of rail transport), a form of cross section, a form in the longitudinal direction, length, to quantity of heads, application conditions, structure to material, extent of assembly, type of steel, method of melting of steel, sound level during operation, etc. is made. It is considered prospects of use of the offered designs of rails.

Article materials can be useful to scientific and pedagogical and also pedagogical workers, designers, inventors, post-graduate students and students.

Keywords: railway line, the top structure of a way, rails, classification, design.

REFERENCES

1. Kalinin V. K. *Obshchiy kurs zheleznykh dorog* [The general course of the railways] / V. K. Kalinin, N. K. Sologub, A. A. Kazakov. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. 304 p.
2. *Obshchiy kurs zheleznykh dorog* [The general course of the railways] / V. N. Sokolov, V. F. Zhukovskiy, S. V. Kotenkova, A. S. Naumov ; pod red. V. N. Sokolova. Moscow, UMK MPS Rossii, 2002. 296 p.
3. Mikulionok I.O. Klassifikatsiia shpal ta ogliad yikhnikh konstruktstii [Classification of sleepers and review of their designs] / I. O. Mikulionok // Zbirnyk. naukovykh prats DETUT. Seriiia «Transportni systemy i tekhnologii». – 2015. – Vyp. 26–27. – P. 47–57.
3. Mikulionok I.O. Klassifikatsiia kostylyv reikovykh shliakhiv ta ogliad yikhnikh konstruktstii [Classification of railway lines spikes and review of their designs] / I. O. Mikulionok // Zbirnyk. naukovykh prats DETUT. Seriiia «Transportni systemy i tekhnologii». – 2016. – Vyp. 29. – P. 127–133.
5. *Bolshaya Sovetskaya Entsiklopediya* (v 30 tomakh) [The Big Soviet Encyclopedia] / gl. red. A. M. Prokhorov. – 3-e izd. Moscow, Sovetskaya Entsiklopediya Publ., 1970. Vol. 13. Konda – Kun, 1973. 608 p.
6. GOST R 50542–93. *Iadeliya iz chernykh metallov dlya verkhnego stroeniya relsovykh putey. Terminy i opredeleniya* [Russian Standard 50542–93. Ferrous metals products for the permanent way tracks. Terms and definitions]. Moscow, Standardinform, 2006. 33 p.

УДК 531.011

*Н. Л. Белевцова, к.т.н., доцент
(професор кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Державного економіко-технологічного університету транспорту)
В. Г. Хребет, к. ф.-м. н., доцент
(доцент кафедри «Базові та спеціальні дисципліни» навчально-наукового інституту неперервної освіти Національного авіаційного університету)*

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ГОЛОНОМНОЙ И НЕГОЛОНОМНОЙ МОДЕЛЕЙ КОЛЕСНОГО ЭКИПАЖА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ИНЕРЦИИ

В статье анализируются возможности реализации круговых стационарных режимов для голономных и неголономных моделей двухосного экипажа при отсутствии продольных тяговых сил.

Ключевые слова: двоосный экипаж, устойчивость движения, коэффициент увода, модель.

У статті аналізуються можливості реалізації кругових стаціонарних режимів для голономних і неголономних моделей двохосьового екіпажу за відсутності позовжніх тягових сил.

Ключові слова: двохосьовий екіпаж, стійкість руху, коефіцієнт відведення, модель.

Вопросы устойчивости динамических систем с качением изложены в монографии Ю.И. Неймарка и Н.А. Фуфаева [1]. Дальнейшее развитие исследований систем с качением уже с учетом таких параметров модели, как наклон оси самоориентирующихся колес шасси самолета или передней ноги трицикла проведены Лобасом Л. Г. [2]. В работе В.Г. Вербицкого и соавторов [3] анализируются модели голономных систем с качением при учете нелинейностей сил увода. В [4] приведен пример (сани Чаплыгина) из динамики неголономных систем, иллюстрирующий чувствительность некоторых транспортных систем к направлению движения, что присуще и голономным транспортным системам.

Проанализируем возможности реализаций стационарных режимов колесных систем (круговых стационарных режимов) при отсутствии тяговых усилий. Модель двухосного автомобиля с упругими по аксиоматике И. Рокара колесами (абсолютно жесткое рулевое управление).

Положение системы (рис. 1) задается координатами x, y центра масс, продольная и поперечная проекции скорости которого на оси Кенига V и u . Положение продольной оси определяется курсовым углом Ψ , $\omega = \dot{\Psi}$ – угловая скорость относительно вертикальной оси; m – масса; $l = a + b$ – база автомобиля; I_{zc} – центральный момент инерции относительно вертикальной оси.

© Белевцова Н. Л., Хребет В. Г., 2017

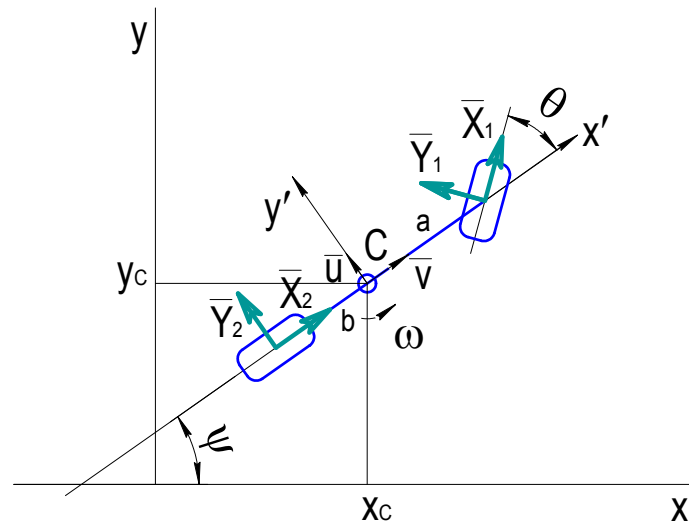


Рис. 1. Расчетная схема плоской модели автомобиля

Уравнения движения в подвижной системе координат (жестко связанной с телом) с началом в центре масс системы запишем в виде:

$$\begin{cases} m(\dot{u} + v\omega) = Y_1 \cos u + Y_2 + X_1 \sin u, \\ m(\dot{u} + v\omega) = Y_1 \cos u + Y_2 + X_1 \sin u, \\ I_{z_c} \dot{\omega} = aY_1 \cos u - bY_2 + aX_1 \sin u. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь, последнее уравнение системы (1) представляет теорему об изменении кинетического момента относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс C ($I_{z_c} \dot{\omega} = \Sigma M_z$).

Рассмотрим случай движения по инерции (без тяговых сил) $X_1 = X_2 = 0$. Соответствующая система конечных уравнений, определяющая параметры круговых режимов движения (u^*, ω^*) при фиксированных значениях управляемых параметров $V = \text{const}$; $\theta = \text{const}$ имеет вид:

$$\begin{cases} -\omega u m = -Y_1 \theta, \\ \omega V m = Y_1 + Y_2, \\ 0 = aY_1 - bY_2. \end{cases} \quad (2)$$

Из двух последних уравнений системы (2) найдем силы увода на передней и задней осях $Y_1 = \frac{b\omega^* V m}{l}$, $Y_2 = \frac{a\omega^* V m}{l}$. Так как, согласно [5], $Y_i = k_i \delta$, то пара значений (u^*, ω^*) определяется системой двух линейных уравнений:

$$\begin{cases} b\omega Vm = k_1 l \cdot \left(\theta - \frac{u + a\omega}{V} \right), \\ a\omega Vm = k_2 l \cdot \left(\frac{-u + b\omega}{V} \right). \end{cases} \quad (3)$$

Решение системы (3) имеет вид:

$$\begin{aligned} u &= -\frac{k_1 \theta v (-blk_2 + amv^2)}{k_1 blk_2 - k_1 lak_2 + bmv^2 k_2}, \\ \omega &= \frac{k_1 l \theta v k_2}{k_1 blk_2 - k_1 lamv^2 + k_1 lak_2 + bmv^2 k_2}. \end{aligned} \quad (4)$$

После подстановки $Y_1 = \frac{b\omega^* Vm}{l}$ в первое уравнение (4) получим решение:

$$\omega m \left(u - \frac{\theta b V}{l} \right) = 0; \Rightarrow u^* = \frac{\theta b V}{l}. \quad (5)$$

Решение (5) несовместно с ранее полученным (для совместности системы необходимо наличие ненулевой продольной силы).

Модель с абсолютно жесткими колесами (неголономная). Рассмотрим вопрос о возможности реализации кругового режима движения неголономной модели автомобиля при отсутствии продольных сил в пятне контакта колес (случай движения по инерции $X_1 = X_2 = 0$, $\sin \theta \approx \theta$, $\cos \theta \approx 1$)

$$\begin{aligned} m(\dot{V} - \omega u) &= -Y_1 \theta; \\ m(\dot{u} + \omega V) &= Y_1 + Y_2; \\ I_{zc} \dot{\omega} &= aY_1 - bY_2. \end{aligned}$$

Поперечная составляющая скорости центра оси равна нулю, следовательно, имеем два соотношения $\theta V - u - a\omega = 0$, $u - b\omega = 0$, которые полностью определяют стационарный режим движения неголономной модели

$$\omega = \frac{\theta V}{l}; u = \frac{b\theta V}{l}$$

В случае реализации кругового режима ($V = const$; $\theta = const$; $u = const$; $\omega = const$) уравнения движения неголономной модели автомобиля примут вид:

$$\begin{aligned} -\omega u m &= -Y_1 \theta; \\ \omega V m &= Y_1 + Y_2; \\ 0 &= aY_1 - bY_2. \end{aligned} \quad (6)$$

Из второго и третьего уравнений последней системы (6) найдем реакции связей:

$$Y_1 = \frac{b\omega V m}{l}; \quad Y_2 = \frac{a\omega V m}{l}.$$

Подставив найденное для реакции Y_1 значение в первое уравнение (6), получим:

$$\omega u m = \frac{\theta b \omega V m}{l} \Rightarrow \omega m \left(u - \frac{\theta b V}{l} \right) = 0;$$

Последнее соотношение и указывает на возможность реализации кругового стационарного режима $\left(V = \text{const}; \theta = \text{const}; u = \frac{b\theta V}{l}; \omega = \frac{\theta V}{l} \right)$ при движении по инерции.

Далее получим уравнение, описывающее неустановившееся движение неголономной модели авто при отсутствии тяговых усилий. Исключая из первоначальной системы (1)

$$\begin{aligned} m(\dot{V} - \omega u) &= -Y_1 \theta; \\ m(\dot{u} + \omega V) &= Y_1 + Y_2; \\ I_{Z_c} \dot{\omega} &= aY_1 - bY_2; \end{aligned}$$

реакции связей, и учитывая соотношения неголономных связей, получим одно уравнение относительно V, θ :

$$\begin{aligned} \theta V (I_{Z_c} + mb^2) \frac{d\theta}{dt} + \left((I_{Z_c} + mb^2) \theta^2 + ml^2 \right) \frac{dV}{dt} &= 0, \\ \frac{\theta d\theta}{(I_{Z_c} + mb^2) \theta^2 + ml^2} &= - \frac{dV}{V (I_{Z_c} + mb^2)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Проинтегрировав последнее уравнение (7), получим текущее значение продольной составляющей скорости центра масс автомобиля как функцию угла поворота управляемых колес:

$$V = \frac{C}{\sqrt{(I_{Z_c} + mb^2) \theta^2 + ml^2}}.$$

При увеличении угла поворота продольная составляющая центра масс V неголономной модели автомобиля уменьшается (рис. 2).

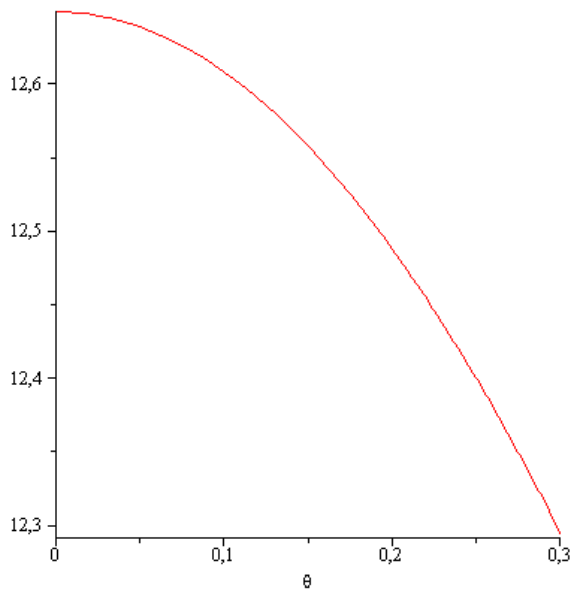


Рис. 2. Графік залежності продольної складової швидкості центра мас неголономної моделі автомобіля при зміні кута повороту управляємих колес ($C = 1600$, $I_{z_c} = 6400 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $m = 1000 \text{ кг}$, $b=2 \text{ м}$, $l=4 \text{ м}$)

Таким образом, при малых скоростях движения обе модели – с абсолютно жесткими колесами и упругими в кинематической постановке близки. Однако существенно расходятся в возможности реализации движения по инерции (при отсутствии тяговых сил): в неголономных моделях такие движения возможны, что согласуется с законом сохранения кинетической энергии и невозможны для случая голономной модели (соответствующий закон сохранения энергии не выполняется).

ЛИТЕРАТУРА

1. Неймарк Ю. И. Динамика неголономных систем / Ю. И. Неймарк и Н. А. Фуфаев. – М.: Изд-во «Наука», 1967. – 520 с.
2. Лобас Л. Г. Неголономные модели колесных экипажей / Л.Г. Лобас. – Киев: Наук. думка, 1986. – 232 с.
3. Автомобили. Устойчивость: Монография / В.Г. Вербицкий, В.П. Сахно, А. П. Кравченко, А.В. Костенко, А.Э. Даниленко. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2013. – 176 с.
4. Хребет В. Г. К чувствительности транспортных систем / В. Г. Хребет, В. С. Сырых // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем», 15 – 16 листопада 2012 року, Кіровоград. – Вид-во КЛА НАУ, 2012. – С. 310 – 312.
5. Рокар И. Неустойчивость в механике / И. Рокар – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 288 с.

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

*Valeriy Khrebet, PhD (Physical and Math. Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Fundamental and Special Disciplines Chair, Institute of
continuing education. National Aviation University)*

ON THE QUESTION OF THE POSSIBILITY OF STATIONARY REGIMES OF THE WHOLE AND NON-HEELD MODELS OF THE WHEEL CREW AT THE INERTIA MOVEMENT

This article analyzes the compatibility conditions of a system defining the set of stationary modes of model movement on the assumption that longitudinal forces (pulling and braking ones) are absent.

Keywords: two-axle vehicle, stability of motion, slipping coefficient, module.

REFERENCES

1. Neymark Yu. I. Dinamika negolonomnyih sistem [Dynamics of nonholonomic systems], Yu. I. Neymark i N. A. Fufaev, Moscow, Pub. «Nauka», 1967, 520 p.
2. Lobas L.G. Negolonomnyie modeli kolesnyih ekipazhey [Non-holonomic models of wheeled carriages] Kiev: Nauk. dumka, 1986, 232 p.
3. Avtomobili. Ustoychivost [Cars. Sustainability], Monografiya / V.G. Verbitskiy, V.P. Sahno, A. P. Kravchenko, A.V. Kostenko, A.E. Danilenko, Lugansk, Pub. «Noulidzh», 2013, 176 p.
4. Hrebet V. G. K chuvstvitelnosti transportnyih sistem [To the sensitivity of transport systems] V. G. Hrebet, V. S. Syiryih // Materiali mlzhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi «Upravlinnya visokoshvidklnimi ruhomimi ob'ektami ta profeslyna pldgotovka operatorlv skladnih sistem», 15 – 16 listopada 2012 roku, Kirovograd, Pub. KLA NAU, 2012, pp. 310 – 312
5. Rokar I. Neustoychivost v mehanike [Instability in mechanics] I. Rokar , Moscow, Izd-vo inostrannoy literaturyi, 1959, 288 p.

УДК 629.423.1

А. О. Сулим, к.т.н.

(старший науковий співробітник ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

А. В. Донченко, к.т.н., с.н.с.

(директор ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

О. В. Фомін, д.т.н, доцент

(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

П. О. Хозя, к.т.н.

(завідувач лабораторії ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ НА ТЯГОВОМУ ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Виконано огляд та аналіз досліджень з підвищення енергоефективності тягового залізничного транспорту шляхом використання накопичувачів енергії. Окреслено основні напрями розвитку тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії. За результатами узагальненого аналізу значної кількості досліджень виконано оцінку можливої кількості заощаджень ресурсів за рахунок впровадження накопичувачів енергії на різних типах тягового залізничного транспорту. Встановлено, що найбільший ефект від застосування накопичувачів енергії можна досягти на міському електротранспорті, насамперед у метрополітені. Основною перевагою застосування накопичувачів енергії в метрополітені є особливості експлуатації його рухомого складу. Сформульовано комплекс задач, які можливо вирішити в метрополітені за рахунок впровадження накопичувачів енергії. Окреслено основні маловивчені та актуальні задачі при вирішенні проблеми підвищення енергоефективності в метрополітені шляхом застосування накопичувачів енергії, зокрема при створенні та модернізації рухомого складу метрополітену.

Ключові слова: тяговий залізничний транспорт, накопичувач енергії, рухомий склад метрополітену, енергоефективність.

Выполнен обзор и анализ исследований по повышению энергоэффективности тягового железнодорожного транспорта путем использования накопителей энергии. Рассмотрены основные направления развития тягового железнодорожного транспорта с накопителями энергии. По результатам обобщенного анализа значительного количества исследований выполнена оценка возможного количества сбережения ресурсов за счет внедрения накопителей энергии на различных типах тягового железнодорожного транспорта. Установлено, что наибольший эффект от использования накопителей может быть получен на городском электротранспорте, в первую очередь метрополитене. Основным преимуществом использования накопителей энергии в метрополитене является особенность эксплуата-

© Сулим А. О., Донченко А. В., Фомін О. В., Хозя П. О., 2017

ции его подвижного состава. Сформулирован комплекс задач, которые возможно решить в метрополитене за счет внедрения накопителей энергии. Очерчены основные малоизученные и актуальные задачи при решении проблемы повышения энергоэффективности в метрополитене путем использования накопителей энергии, в частности при создании и модернизации подвижного состава метрополитена.

Ключевые слова: тяговый железнодорожный транспорт, накопитель энергии, подвижной состав метрополитена, энергоэффективность.

Постановка проблеми. Підвищення енергетичної ефективності перевізного процесу на тяговому залізничному транспорті є однією з важливих проблем, яка потребує своєчасного вирішення [1–5]. Одним з основних напрямів вирішення зазначеної проблеми є більш ефективно використання ресурсів за рахунок впровадження накопичувачів енергії [6, 7]. При цьому важливим та актуальним є вивчення сучасного стану і перспективи розвитку тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії.

Мета статті – аналіз сучасних тенденцій розвитку різного типу тягового залізничного транспорту з застосуванням накопичувачів енергії.

Виклад основного матеріалу досліджень. Основні тенденції розвитку тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії проаналізовано шляхом огляду значної кількості досліджень [8–122]. За результатами їх аналізу встановлено, що в розробку наукових основ створення тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії, значний вклад внесли колективи наукових та навчальних закладів країн СНД: Білоруського державного університету транспорту, Всеросійського науково-дослідного інституту залізничного транспорту, Державного економіко-технологічного університету транспорту, ДП «Державного науково-дослідного центру залізничного транспорту України» (нині – філія «Науково-дослідного та конструкторсько-технологічного інституту залізничного транспорту ПАТ «Укрзалізниця»), Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка Лазаряна, Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, Московського державного університету шляхів сполучення, Московського енергетичного інституту, Науково-дослідного інституту енергозбереження на залізничному транспорті (м. Омськ), Національного гірничого університету (м. Дніпро), Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Новосибірського державного технічного університету, Омського державного університету шляхів сполучення, Петербурзького державного університету шляхів сполучення, Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, Українського державного університету залізничного транспорту (м. Харків), Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова та підприємств: ТОВ «КМ Labs» (м. Київ), фірми YUNASKO (м. Дніпро), ВАТ «Електропривод» (м. Москва), ДП «Електротяжмаш» (м. Харків), ЗАТ «Елтон», ЗАТ «ЕСМА», ПАТ «Укрзалізниця».

В розробку наукових основ модернізації існуючого та створення нового автономного тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії, в тому числі систем для пуску двигунів, внесли вклад відомі вчені: Азаренко В.О., Косов Є.Є., Корнев О.М., Лосев Є.П., Нікіпелій С.О., Носков В.М., Пасько О.В., Устенко О.В., Черняк Ю.В., Шаряков В.А. та інші [8–19].

Слід окремо виділити праці останнього періоду: Володарця М.В., Гончарова О.М., Панасенка М.В., Пелепейченка В.І., Сергієнка М.І., Фалендиша А.П., направлені на аналіз шляхів модернізації та створення гібридного залізничного транспорту (маневрових локомотивів ЧМЕЗ, дизель-поїздів ДЕЛ-02), вибір раціональних параметрів

його енергетичної силової установки та оцінки ефективності застосування на ньому накопичувачів енергії [20–29].

Окремої уваги заслуговують дослідження Варакіна А.І., Варакіна І.М., Менухова В.В., Самітіна В.В., направлені на проектування та виготовлення накопичувачів енергії для різного типу транспорту, в першу чергу автомобільного та залізничного. Їхні дослідження представлені у вигляді статей, патентів і численних проектів на міжнародних виставках [30–34].

В розробку наукових основ модернізації та створення енергоефективного неавтономного тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії внесли вклад відомі вчені: Бичкова М.П., Бялобржеський О.В., Васильєв В.О., Деншиков К.К., Колб А.А., Охотніков М.С., Пупинін В.М., Родькін Д.Й., Хворост М.В., Щербак Я.В. [35–55].

Представники Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у своїх роботах приділяли увагу питанням оцінки енергоефективності та дослідження енергообмінних процесів у системах тягового енергозабезпечення електрифікованого залізничного транспорту з накопичувачами енергії. Професор Омеляненко В.І. та його послідовники (Любарський Б.Г., Овер'янова Л.В., Омеляненко Г.В., Рябов Є.С., Якунін Д.І.) присвятили значну кількість досліджень за напрямом використання накопичувачів енергії в системі енергозабезпечення електрорухомого складу, зокрема приміських електропоїздів та поїздів метрополітену [56–66]. Праці зазначених дослідників останнього періоду направлені на створення приміського електропоїзда з бортовим електромеханічним накопичувачем енергії. В даних дослідженнях запропоновано технічне рішення ефективного управління енергообмінними процесами під час роботи тягового електропривода електропоїзда з бортовим накопичувачем енергії шляхом використання реверсивного перетворювача [60–66]. Професор Жемеров Г.Г. в своїх роботах розглядав питання зменшення втрат енергії в системах електропостачання рухомого складу метрополітену при використанні накопичувачів, зокрема при її транспортуванні. Праці Жемерова Г.Г. останнього часу направлені на оцінку енергоефективності можливих систем енергопостачання рухомого складу метрополітену при застосуванні накопичувачів енергії [67–70].

Представники Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка Лазаряна (професори Костін О.М., Артемчук В.В., Кузнецов В.Г., доцент Саблін О.І.) у своїх дослідженнях приділяли значну увагу питанням щодо оцінки потенціалу заощаджень ресурсів, підвищення якості електроенергії в контактній мережі за рахунок впровадження накопичувачів енергії на різного типу неавтономного залізничного транспорту, а також визначенню параметрів накопичувача [71–76].

Значну кількість робіт підготовлено за участю професора Шевлюгіна М.В., який приділяв увагу проблемі підвищення енергоефективності неавтономного залізничного транспорту, насамперед метрополітену, за рахунок впровадження різного типу накопичувачів енергії (інерційних, електрохімічних, зверхпровідникових індуктивних, ємнісних накопичувачів) [77–83].

Представники наукової школи професора Черемісіна В.Т. у своїх теоретичних дослідженнях [84–88], як правило, приділяють увагу проблемі підвищення ефективності неавтономного залізничного транспорту, насамперед магістральних електровозів, шляхом розміщення перспективних типів накопичувачів (ємнісних, зверх провідникових індуктивних, електромеханічних) в різних місцях системи тягового енергозабезпечення (на тягових підстанціях, на рухомому складі, на кінцях консольних ділянок).

Розробки вчених Штанга А.А., Щурова М.І., Улітіна В.Г. присвячені вирішенню питань щодо оцінки заощаджень енергетичних ресурсів на міському залізничному транспорті за рахунок впровадження різного типу накопичувачів енергії та розробки ефективних технічних рішень по управлінню процесами їх заряду та розряду [89–92].

Удосконаленню та створенню енергоефективних рудникових електровозів, в частині застосування на них комбінованих накопичувачів енергії та визначення їх необхідних параметрів, присвячені роботи таких вчених як Білозеров В.І., Сорін Л.Н., Степаненко В.П. [93–97].

Відомі також роботи дослідників Європи, Китаю, США, Японії (Li X., Allègre A.-L., Rufer A., Barrero R., Sevilla M., Moninger F., Negishi H., Iannuzzi D., Tricoli P., Shimada M. et al.) в галузі підвищення ефективності використання залізничного транспорту шляхом використання накопичувачів енергії [98–122]. У своїх дослідженнях іноземні вчені значну увагу приділяють питанню вибору раціонального типу накопичувача. Значна кількість цих досліджень [99–102, 107, 117–119] присвячена питанню оцінки заощаджень ресурсів за рахунок різних місць розміщення накопичувачів енергії в системі тягового енергозабезпечення неавтономного залізничного транспорту.

Огляд наукової літератури свідчить, що накопичувачі енергії можуть застосовуватись при створенні гібридного автономного та енергоефективного неавтономного залізничного транспорту. При експлуатації автономного залізничного транспорту з накопичувачами енергії економічний ефект в основному досягається шляхом зниження витрат палива за рахунок підвищення ефективності роботи енергетичної силової установки та покращення екологічних показників роботи силових установок за рахунок зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище (сажі, вуглецю тощо). При експлуатації неавтономного залізничного транспорту з накопичувачами енергії економічний ефект досягається шляхом підвищення енергоефективності та покращення енергозбереження за рахунок ефективного використання електроенергії рекуперативного гальмування, зменшення встановленої потужності тягових підстанцій, стабілізації напруги контактної мережі, а також можливості забезпечення автономного ведення рухомого складу. Крім того, накопичувачі енергії застосовуються при створенні систем для запуску двигунів внутрішнього згорання автономного залізничного транспорту. Економічний ефект при впровадженні зазначених систем досягається за рахунок зниження потужності та збільшення терміну служби акумуляторних батарей, можливості стабільного запуску двигуна при низьких температурах навколишнього середовища, зменшення витрат на обслуговування. Таким чином, встановлено три основні напрямки досліджень тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії.

Одним з важливих питань, що розглядається і аналізується в зазначених роботах, є оцінка потенціалу заощаджень ресурсів при використанні накопичувачів енергії. Актуальність розгляду даного питання обумовлена необхідністю визначення доцільності застосування накопичувачів енергії. Результати узагальненого аналізу досліджень [8–122] щодо питання потенціалу економії та поліпшення використання ресурсів при впровадженні накопичувачів енергії на різному типі тягового залізничного транспорту, зображено на рис. 1–2.

Таким чином, за результатами аналізу оцінки потенціалу економії ресурсів на різного типу тягового залізничного транспорту встановлено таке:

– значні перспективи впровадження накопичувачів має тяговий залізничний транспорт із різкозмінним навантаженням, зокрема електровози, приміські електропоїзди та дизель-поїзди, маневрові тепловози, кар’єрні рудникові електровози, трамваї, поїзди метрополітену;

Маневрові тепловози	Дизель-поїзди	
		
● Зниження витрат палива до 50 % ● Зниження викидів шкідливих речовин у 3-10 разів ● Зменшення потужності силової дизельної установки до 40 %	● Зниження витрат палива до 25 % ● Зниження викидів шкідливих речовин у 2-10 разів ● Зменшення потужності силової дизельної установки до 35 %	● Зниження витрат палива до 25 % ● Зниження викидів шкідливих речовин у декілька раз ● Зменшення рівня шуму під час експлуатації

Рис. 1. Оцінка потенціалу заощаджень ресурсів на автономному тяговому залізничному транспорті (на прикладі маневрового тепловоза ЧМЕЗ, дизель-поїзда ДЕЛ-02, дизель-поїзда VT642)

Електровози	Приміські електропоїзди	Рудникові електровози
		
● Скорочення витрат електроенергії на тягу до 12,9 % ● Підвищення тягових властивостей до 13 % ● Скорочення витрат електроенергії в тяговій мережі до 12,3 %	● Скорочення витрат електроенергії на тягу до 30 % ● Зменшення встановленої потужності тягових підстанцій до 12 %	● Скорочення витрат електроенергії на тягу до 30 % ● Зниження викидів шкідливих речовин не менше ніж в 3 рази (для дизельно-контактних електровозів)
Електропоїзди метрополітену	Трамваї	
		
● Скорочення витрат електроенергії на тягу до 50 % ● Зменшення встановленої потужності тягових підстанцій до 20 %	● Скорочення витрат електроенергії на тягу до 30 % ● Зменшення встановленої потужності тягових підстанцій до 15 %	

Рис. 2. Оцінка потенціалу заощаджень ресурсів на неавтономному тяговому залізничному транспорті

– значно менші перспективи впровадження накопичувачів має тяговий залізничний транспорт далекого сполучення, який експлуатується в умовах руху з високими швидкостями та наявністю малої кількості зупинок на своєму шляху (пасажирські швидкісні локомотиви та електропоїзди далекого сполучення);

– найбільші перспективи впровадження накопичувачів енергії серед автономного транспорту мають маневрові тепловози завдяки умовам експлуатації: часті пуски та гальмування, необхідність частого розгону та сповільнення, мала швидкість руху, значну частину часу займає робота на холостому ході.

– одним з найбільш перспективних видів транспорту для впровадження накопичувачів енергії є метрополітен в силу особливостей експлуатації його рухомого складу: стабільний графік руху у порівнянні з іншими видами залізничного транспорту; чітко виражений імпульсний характер навантаження; незначні відстані між перегонами, як наслідок, часті пуски та гальмування; часто змінюваний профіль колії; необхідність частого розгону та сповільнення внаслідок зміни обмежень швидкості для різних ділянок колії. Як наслідок, за рахунок зазначених умов експлуатації можливе значне зниження витрат на тягу (до 50 %) у порівнянні з іншим типом тягового неавтономного транспорту. Ще одним важливим фактором є стабільність виконання графіку руху, тобто існує можливість більш точного прогнозування техніко-економічного ефекту у порівнянні з іншим перспективним транспортом (наприклад, маневровим тепловозом).

За результатами аналізу досліджень [8–122] встановлено, що впровадження накопичувачів енергії в метрополітені дозволить вирішити комплекс задач, а саме:

- зменшити споживання електроенергії з мережі і знизити встановлену потужність силових установок, що здійснюють подачу та перетворення електроенергії (трансформаторів, перетворювачів, розподільчих підстанцій тощо) за рахунок збереження та повторного використання енергії рекуперативного гальмування;

- спрямити хвилинні та годинні графіки споживання електроенергії внаслідок чого забезпечується статична і динамічна стійкість енергосистеми;

- підвищити і стабілізувати рівень напруги в контактній мережі та струмоприймачах вагонів метрополітену внаслідок чого збільшується пропускна здатність перегону;

- зменшити струмові навантаження та відповідно температури нагріву силових агрегатів, що дозволить підвищити їх термін служби;

- підвищити якість електроенергії;

- підвищити безпеку процесу перевезення пасажирів під час виникнення аварійних режимів роботи в основних джерелах живлення;

- знизити теплові викиди в тунель, і відповідно, знизити витрати на вентиляцію і кондиціювання повітря, поліпшити клімат на станціях, в тунелях та вагонах метрополітену.

Аналіз зазначених досліджень дозволив визначити наступні маловивчені та актуальні питання при використанні накопичувачів енергії в метрополітені:

- вибір раціонального місця розміщення накопичувачів енергії в системі тягового енергозабезпечення метрополітену;

- аналіз технічних рішень щодо ефективного управління процесами заряду та розряду накопичувачів енергії;

- обґрунтування застосування раціонального типу накопичувача в системі тягового енергозабезпечення метрополітену;

- визначення параметрів накопичувачів енергії з урахуванням реальних умов експлуатації рухомого складу метрополітену;

- розробка комплексного підходу щодо визначення раціональних параметрів накопичувачів (насамперед, потужності та енергоємності) для рухомого складу метрополітену при його заданих умовах експлуатації;

- оцінка підвищення енергоефективності на рухомому складі метрополітену за рахунок впровадження накопичувача з раціональними параметрами;

- теоретичні та експериментальні дослідження енергопроцесів в системі тягового енергозабезпечення метрополітену при впровадженні накопичувачів енергії з раціональними параметрами;

- вплив накопичувачів енергії на якість електроенергії в контактній мережі та надійність роботи пристроїв і систем (наприклад, пристроїв сигналізації та зв'язку);
- удосконалення конструкції накопичувачів енергії в частині збільшення питомої кількості збереження електроенергії;
- вплив накопичувачів енергії на динамічні якості рухомого складу метрополітену;
- пошук нових режимів функціонування системи тягового енергозабезпечення метрополітену з накопичувачами енергії, при яких забезпечується мінімізація спожитої електроенергії з мережі та підвищення ефективності використання електроенергії рекуперації;
- створення концептуального проекту рухомого складу метрополітену з впровадженням раціональних типів накопичувачів енергії з оптимальними параметрами.

Висновки. Узагальнений аналіз існуючих досліджень щодо перспективи розвитку тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії дозволив отримати наступні висновки:

1. Дослідження із застосування накопичувачів на тяговому залізничному транспорті в основному здійснюється за трьома напрямками: створення систем для запуску двигунів внутрішнього згорання автономного залізничного транспорту, створення гібридного автономного транспорту та ефективного використання електроенергії рекуперативного гальмування неавтономного електротранспорту. Впровадження вищезазначених систем дозволить знизити потужність та збільшити термін служби акумуляторних батарей, зменшити витрати на їх обслуговування, а також забезпечити стабільний запуск двигуна при низьких температурах навколишнього середовища. Використання накопичувачів енергії на гібридному залізничному дозволить знизити витрати пального, шкідливі викиди та рівень шуму, а також підвищити його тягові можливості. Впровадження накопичувачів енергії на залізничному електротранспорті дозволить зменшити витрати електроенергії на тягу, знизити встановлену потужність тягових підстанцій, стабілізувати напругу контактної мережі.

2. Значні перспективи впровадження накопичувачів має тяговий залізничний транспорт з різкозмінним навантаженням, зокрема електровози, приміські електропоїзди та дизель-поїзди, маневрові тепловози, кар'єрні рудникові електровози, трамваї, поїзди метрополітену. Визначено резерви заощаджень палива та електроенергії при впровадженні накопичувачів енергії на перелічених типах тягового залізничного транспорту. Серед автономного транспорту найбільші перспективи впровадження накопичувачів мають маневрові тепловози (скорочення витрат палива до 50 %), серед неавтономного – метрополітени (скорочення витрат електроенергії на тягу до 50 %).

3. Одним з найбільш перспективних видів транспорту для впровадження накопичувачів енергії є метрополітен в силу особливостей умов експлуатації його рухомого складу: стабільний графік руху у порівнянні з іншими видами залізничного транспорту; чітко виражений імпульсний характер навантаження; незначні відстані між перегонами, як наслідок, часті пуски та гальмування; часто змінюваний профіль колії; необхідність частого розгону та сповільнення внаслідок зміни обмежень швидкості для різних ділянок колії. Вищевказане свідчить, що при впровадженні накопичувачів енергії в метрополітені можна досягти значний техніко-економічний ефект, який можливо оцінити точніше від інших видів залізничного транспорту на етапі теоретичних досліджень за рахунок стабільних умов експлуатації рухомого складу метрополітену.

4. Визначено комплекс основних задач, які можливо вирішити шляхом впровадження накопичувачів енергії в метрополітені. Одними з головних є зменшення споживання електроенергії з мережі і зниження встановленої потужності силових установок, що здійснюють подачу та перетворення електроенергії.

5. Окреслено маловивчені та актуальні питання при застосуванні накопичувачів енергії в метрополітені, вирішення яких дозволить підвищити енергоефективність та отримати максимальний техніко-економічний ефект на даному виді транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 р.р., затверджена Наказом Міністерства транспорту і зв'язку України № 1259 від 14.10.2008 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uz.gov.ua>.
2. Державна програма розвитку міського електротранспорту на 2007-2015 роки, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України № 1855 від 29.12.2006 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.uazakon.com/documents/date_80/pg_grgfl/index.htm.
3. Про енергозбереження : [Закон України : офіц. текст: прийнятий Постановою Верховної Ради України № 75/94-ВР від 01.07.2014 р. зі змінами і доповненнями, внесеними Законами України]. – К.: Парламентське вид-во, 2014. – 15 с.
4. Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні: [Закон України: офіц. текст: прийнятий Постановою Верховної Ради України № 3715-VI від 08.09.2011 р. зі змінами і доповненнями, внесеними Законом України № 5460-VI від 16.10.2012 р.]. – К.: Відомості Верховної Ради України, 2012. – Вип. № 19-20. – стаття 166. – С. 799.
5. Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки : [Закон України: офіц. текст: прийнятий Постановою Верховної Ради України № 2519-VI від 09.09.2010 р. зі змінами і доповненнями, внесеними Законами України]. – К.: Офіційний вісник України, 2010. – Вип. № 77. – стаття 2721. – С. 29.
6. Накопители энергии : учеб. пособие для вузов / Д.А. Бут, Б.Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин, П.В. Васюкевич: под ред. Д.А. Бута. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.
7. Астахов, Ю.Н. Накопители энергии в электрических системах: Учеб. пособие для электроэнерг. спец. вузов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер-Газарян. – М.: Высш. школа, 1989. – 159 с.
8. Пат. 2419563 Российская Федерация, МПК В60W 10/04, В60L 11/02. Способ управления силовой установкой и устройство для его реализации / Коссов Е.Е., Никипелый С.О.; патентообладатель: Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). – № 2009144792/11; заявка 03.12.2009; опубл. 27.05.2011, Бюл. № 15. – 8 с.
9. Никипелый, С.О. Повышение эффективности работы тепловозов при применении накопителя энергии в силовой цепи: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Никипелый Сергей Олегович; Моск. гос. ун-т путей сообщения. – М., 2011. – 167 с. – Библиогр.: с. 143–154.
10. Коссов, Е.Е. Применение накопителей малой энергоёмкости в силовой цепи тепловоза / Е.Е. Коссов, С.О. Никипелый // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ, 2010. – № 5 (147). – Частина 1. – С. 246–248.
11. Коссов, Е.Е. Влияние эффективности накопителя энергии на топливную экономичность локомотива / Е.Е. Коссов, В.А. Азаренко, А.Н. Корнев, М.М. Комарицкий // Локомотив-информ. – 2008. – № 3. – С. 44–45.
12. Коссов, Е.Е. К вопросу выбора мощности характеристик перспективного автономного тягового подвижного состава / Е.Е. Коссов, В.А. Азаренко, М.М. Комарицкий // Наука и транспорт. – 2007. – спецвыпуск. – С. 20–21.
13. Шаряков, В.А. Исследование возможности повышения экономичности электрической передачи на маневровом тепловозе при использовании накопителей энергии / В.А. Шаряков, О.Л. Шарякова, О.К. Бакшаев, А.С. Мовчан // Локомотив-информ. – 2010. – № 11. – С. 8–9.
14. Лосев, Е.П. Эффективность применения накопителей энергии в силовых установках автономных локомотивов: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Лосев Евгений Петрович; Моск. гос. ун-т путей сообщения. – М., 2000. – 211 с. – Библиогр.: с. 160–173.
15. Носков, В.Н. Сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии в энергоустановках железнодорожного транспорта: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Носков Владимир Николаевич; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов-на-Дону, 2010. – 209 с. – Библиогр.: с. 156–164.
16. Носков, В.Н. Об энергоёмкости накопителя энергии для тепловоза / В.Н. Носков, М.Ю. Пустоватов // Вестник ВНИИЖТ. – М.: ВНИИЖТ, 2008. – № 5. – С. 42–44.
17. Устенко, А.В. Использование накопителей энергии для улучшения параметров локомотивов / А.В. Устенко, О.В. Пасько // Локомотив-информ. – 2012. – № 10. – С. 4–6.
18. Черняк, Ю.В. Аналіз існуючих і перспективних напрямів застосування рекуперативних систем на транспорті з метою підвищення його енергоефективності / Ю.В. Черняк, В.О. Гатченко, А.В. Гаюр // Збірник наукових праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2014. – Вип. 24. – С. 134–139.

19. Писарев, Л.Т. Рекуперативное торможение поездов с использованием импульсных энергоемких конденсаторов / Л.Т. Писарев, Ю.В. Черняк, М.Р. Терованесов // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2009. – Вип. 17. – С. 97–106.
20. Володарець, М.В. Визначення необхідної енергоемності накопичувачів енергії та потужності силової установки маневрового тепловозу із гібридною тягою / М.В. Володарець // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 26. – С. 1–3.
21. Фалендиш, А.П. Розробка моделі для вибору потужнісних характеристик маневрового тепловозу з гібридною передачею / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 24. – С. 122–130.
22. Бірюков, О.С. Модернізація маневрового тепловоза ЧМЭЗТ з метою зменшення витрати палива і значного зниження викидів шкідливих речовин / О.С. Бірюков, А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, І.В. Золотухін // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Х.: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 126. – С. 157–160.
23. Фалендиш А.П. Визначення раціональних параметрів гібридного маневрового тепловоза на базі ЧМЕЗ / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, О.В. Артеменко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Северодонецьк, 2015. – № 1 (218). – С. 253–256.
24. Сергієнко, М.І. Оцінка ефективності застосування накопичувачів електроенергії в енергетичній установці дизель-поїзда ДЕЛ-02 / М.І. Сергієнко, М.В. Панасенко, В.І. Пелепейченко, Д.О. Гордієнко // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 4. – С. 29–35.
25. Сергієнко, М.І. Оцінка ефективності варіантів модернізації енергетичної установки маневрового тепловоза ЧМЭЗ / М.І. Сергієнко, В.І. Пелепейченко, О.М. Гончаров, Д.О. Гордієнко // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 6. – С. 35–38.
26. Сергієнко, М.І. Вибір характеристики керування гібридною енергетичною установкою перспективного маневрового тепловоза / М.І. Сергієнко, О.М. Гончаров, В.І. Пелепейченко, Д.О. Гордієнко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ, 2011. – № 4 (158). – С. 122–132.
27. Сергієнко М.І. Прогнозування ресурсу дизелів перспективних енергетичних установок для маневрового тепловоза ЧМЭЗ / М.І. Сергієнко, О.М. Гончаров, В.І. Пелепейченко, С.Д. Мокроусов // Залізничний транспорт України. – 2012. – № 5. – С. 40–44.
28. Щербаков В.П. Зменшення викидів азоту дизелем маневрового тепловозу шляхом застосування гібридної енергетичної установки / В.П. Щербаков, М.І. Сергієнко, А.О. Каграманян, В.І. Пелепейченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ, 2012. – № 5 (176). – Частина 1. – С. 173–179.
29. Гончаров О.М. Аналіз передумов модернізації маневрових тепловозів Львівської залізниці гібридною енергетичною установкою / О.М. Гончаров, С.О. Кінтер, Ю.В. Терещак // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 6. – С. 19–25.
30. Варакин А.И. Маневровый и универсальный локомотив с гибридной силовой установкой и накопителем энергии на базе электрохимических конденсаторов / А.И. Варакин, И.Н. Варакин, В.В. Менухов // Наука и техника транспорта. – 2007. – № 2. – С. 34–40.
31. Варакин, И.Н. Применение электрохимических конденсаторов ЗАО «ЭЛТОН» в составе гибридных энергосиловых установок на карьерном автотранспорте / И.Н. Варакин, В.В. Менухов, В.В. Самитин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – Отдельный выпуск 8: Горные машины. – С. 106–115.
32. Варакин, И.Н. «Элтон» предлагает – качество, надежность, экономичность / И.Н. Варакин, В.В. Менухов // Газета «Евразия вести». – Элтранс, 2009. – Вип. 10. – С. 22–23.
33. Пат. RU 2296383 С2 Российская Федерация, МПК H01G 9/155. Электрохимический конденсатор / Варакин И.Н., Кильганова Е.А., Менухов В.В., Разумов С.Н., Самитин В.В., Тарасов С.В.; патентообладатель: Разумов С.Н. – № 2004137643/09; заявка 23.12.2004; опубл. 27.03.2007, Бюл. № 9. – 9 с.
34. Varakin I.N., Kilganova Ye.A., Klementov A.P., Litvinenko S.V., Menukhov V.V., Samitin V.V., Starodubtsev N.F., Stepanov A.B. In Proceedings of “The 7-13th International Seminar on Double Layer Capacitors and Similar Energy Storage Devices”, 1997-2003, Deerfield Beach, Florida, USA.
35. Бычкова, М.П. Энергоэффективные технологии метро / М.П. Бычкова // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2011. – № 5(22). – С. 34–36.
36. Бычкова, М.П. Система накопителей электроэнергии для повышения энергоэффективности в метро / М.П. Бычкова // Энергосовет. – 2011. – № 3(16). – С. 74–76.
37. Бычкова, М.П. Энергосбережение в метро / М.П. Бычкова // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – Специальный выпуск «Наука и транспорт. Метрополитены будущего». – С. 67.
38. Бялобржеський, О.В. Энергобережения в электротехнологических установках та пристроях з електричними накопичувачами енергії / О.В. Бялобржеський // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук, 2009. – № 10/2009 (38). – С. 141–145.
39. Бялобржеський, О.В. Енергетичні показники режиму гальмування машини постійного струму з передачею енергії на конденсаторний накопичувач / О.В. Бялобржеський, І.В. Шипунова // Наукові праці

Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – № 1 (14). – С. 53–58.

40. Деклараційний патент UA 83779 U Україна, МПК B60L 13/00. Пристрій накопичення електричної енергії тягового електричного комплексу електровоза / О.В. Бялобжеський, І.В. Шипунова; патентовласник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського – № u2013 05046; заявка 19.04.2013; опубл. 25.09.2013, Бюл. № 18. – 4 с.

41. Васильев, В.А. Повышение энергетической эффективности электропоездов постоянного тока : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Васильев Виталий Алексеевич; Петербургский гос. ун-т путей сообщения. – СПб, 2012. – 16 с.

42. Васильев, В.А. Анализ возможности применения емкостных накопителей энергии / В.А. Васильев // Известия ПГУПС. – СПб, 2011. – № 1. – С. 35–44.

43. Деньщиков, К.К. Комбинированные энергетические установки на основе суперконденсаторов / К.К. Деньщиков // Конференция ОИВТ РАН «Результаты фундаментальных исследований в области энергетики и их практическое значение» – М., 24-26 марта 2008.

44. Колб, А.А. Аккумуляция энергии рекуперации электрифицированного транспорта с помощью емкостных энергонакопителей / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 31. – С. 89–94.

45. Колб, А.А. Использование энергии рекуперации электротранспорта для управления качеством электроэнергии / А.А. Колб // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2010. – Вип. 4/2010 (63). – С. 98–102.

46. Охотников, Н.С. Повышение тяговых свойств электровозов при помощи накопителей энергии: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Охотников Николай Станиславович; Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – М., 2010. – 24 с.

47. Охотников, Н.С. Использование накопителей энергии для повышения тяговых свойств электровозов / Н.С. Охотников // Вестник ВНИИЖТ. – М., 2010. – № 5. – С. 33–36.

48. Пупынин, В.Н. Разработка энергосберегающих схем тягового электроснабжения железных дорог постоянного тока 3,3 кВ с использованием накопителей энергии / В.Н. Пупынин, М.В. Шевлюгин // Сборник научных трудов. Фундаментальные и поисковые научно-исследовательские работы в области железнодорожного транспорта. – М.: МГУПС (МИИТ), 1997. – Вып. 916. – С. 149–152.

49. Бродский, Ю.А. Стационарная система аккумуляции энергии рекуперации электроподвижного состава метрополитена на базе емкостных накопителей энергии / Ю.А. Бродский, А.И. Подаруев, В.Н. Пупынин, М.В. Шевлюгин // Электротехника. – 2008. – № 7. – С. 38–41.

50. Родькин, Д.И. Особенности осуществления электропривода с накопителями энергии / Д.И. Родькин, Т.В. Величко // Вісник КДПУ. Наукові праці Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2000. – Вип. 2/2000 (9). – С. 124–132.

51. Родькин, Д.И. К теории электропривода с емкостным накопителем / Д.И. Родькин, В.Н. Корнет // Вісник КДПУ. Наукові праці Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2000. – Вип. 2/2000 (9). – С. 149–151.

52. Хворост, Н.В. Концепция новой структуры системы электрической тяги для метрополитена / Н.В. Хворост // Коммунальное хозяйство городов. – 2003. – № 53. – С. 172–179.

53. Хворост, М.В. Система электротягового обеспечения підвищеної ефективності для метрополітенів / М.В. Хворост, В.В. Божко // Електротехніка і електромеханіка. – 2006. – № 6. – С. 79–86.

54. Хворост, М.В. Розвиток наукових основ систем електричної тяги метрополітенів: автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.22.09 / Хворост Микола Васильович; Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д., 2011. – 43 с.

55. Щербак, Я.В. Аналіз застосування рекуперативного гальмування на залізницях України / Я.В. Щербак, В.П. Нерубацький // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 2. – С. 30–34.

56. Омеляненко, В.И. Инерционный накопитель энергии для систем тягового электроснабжения / В.И. Омеляненко, Г.В. Омеляненко // Техническая электродинамика. – 2002. – № 4. – С. 83–88.

57. Омеляненко, Г.В. Электромеханический преобразователь энергии инерционного накопителя для сетей тягового электроснабжения: дис. канд. техн. наук: 05.09.01 / Омеляненко Галина Викторовна; Харьковский гос. политехнический ун-т. – Х., 1999. – 169 с. – Библиогр.: с. 158–168.

58. Омеляненко, В.И. Накопители энергии – перспективная технология для железных дорог / В.И. Омеляненко, В.Е. Бондаренко, Г.В. Омеляненко, Л.В. Оверьянова // Локомотив-информ. – 2011. – № 4. – С. 4–9.

59. Якунін, Д.І. Електромеханічна система привода з лінійним двигуном для нахилу кузовів швидкісного рухомого складу: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.09 / Якунін Дмитро Ігоревич; Національний техн. ун-т «Харківський політехнічний інститут». – Х., 2010. – 21 с.

60. Омеляненко, В.И. Концептуальный проект пригородного электропоезда с инерционным накопителем энергии / В.И. Омеляненко, Б.Г. Любарский, Л.В. Оверьянова, Е.С. Рябов // Локомотив-информ. – 2013. – № 11. – С. 6–11.

61. Овер'янова, Л.В. Визначення параметрів та оцінка властивостей електромеханічних інерційних накопичувачів енергії для приміських електропоїздів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.09 / Овер'янова Лілія Вікторівна; Національний техн. ун-т «Харківський політехнічний інститут». – Х., 2014. – 20 с.
62. Омеляненко, В.И. Работа бортового электромеханического инерционного накопителя энергии в тяговом приводе пригородного электропоезда / В.И. Омеляненко, Л.В. Оверьянова // *Залізничний транспорт України*. – 2015. – № 1. – С. 44–49.
63. Рябов, Е.С. Определение параметров накопителя энергии для электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом в режиме ограничения тока тяговой сети / Е.С. Рябов // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 6 (1115). – С. 132–137.
64. Оверьянова, Л.В. Моделирование работы электромеханического инерционного накопителя энергии в системе тягового привода при торможении электропоезда / Л.В. Оверьянова, О.В. Омеляненко, И.В. Новостасовский // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 18 (1127). – С. 115–119.
65. Северин, В.П. Управление потоком мощности в тяговом приводе электропоезда при питании от контактной сети и инерционных накопителей энергии / В.П. Северин, Л.В. Оверьянова, О.В. Омеляненко // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 58 (1167). – С. 29–32.
66. Любарский, Б.Г. Сравнительный анализ накопителей энергии для транспортных средств / Б.Г. Любарский, В.П. Шайда, С.Г. Бураковский // *Залізничний транспорт України*. – 2015. – № 6. – С. 13–21.
67. Жемеров, Г.Г. Системы электроснабжения метрополитена с современными полупроводниковыми преобразователями и накопителями энергии / Г.Г. Жемеров, Н.А. Ильина, Д.В. Тугай, О.И. Холод // *Електротехніка і електромеханіка*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 1. – С. 41–49.
68. Жемеров, Г.Г. Энергия и мощность в системах электроснабжения с полупроводниковыми преобразователями и накопителями энергии / Г.Г. Жемеров, Д.В. Тугай // *Електротехніка і електромеханіка*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 1. – С. 45–57.
69. Сокол, Е.И. Силовая электроника и концепция энергетики «SMART GRID» / Е.И. Сокол, Г.Г. Жемеров, Д.В. Тугай // *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. – 2013. – Спец. выпуск т.1, № 8 (114) – С. 7–16.
70. Жемеров, Г.Г. Уменьшение потерь энергии в системах электроснабжения подвижного состава метрополитена при использовании энергоемких накопителей электроэнергии / Г.Г. Жемеров, Н.А. Ильина, Д.В. Тугай, // *Техн. електродинаміка*. – 2014. – № 5. – С. 137–138.
71. Костин, Н.А. Автономность рекуперативного торможения – основа надежной энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока / Н.А. Костин, А.В. Никитенко // *Залізничний транспорт України*. – 2014. – Вып. 3. – С. 15–23.
72. Саблін, О.І. Проблеми та перспективи ефективного використання рекуперації електроенергії в системі електротранспорту / О.І. Саблін, В.Г. Кузнецов, В.В. Артемчук // *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. – Вінниця: ВНТУ. – 2013. – № 2 (26). – С. 126–130.
73. Саблін О.І. Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену / О.І. Саблін // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – Вып. 8 (72) / том 6/. – С. 9–13.
74. Саблін, О.І. Моделювання взаємодії електрорухомого складу в режимі рекуперації електроенергії / О.І. Саблін, В.Г. Кузнецов, О.І. Бондар, В.В. Артемчук // *Електрифікація транспорту*. – 2014. – № 7. – С. 34–41.
75. Кузнецов, В.Г. Анализ резервов энергосбережения при внедрении системы рекуперации энергии на поездах Днепропетровского метрополитена / В.Г. Кузнецов, О.И. Саблин, П.В. Губский, Е.Г. Кольхаев // *Гірничя електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. Нац. гірничого ун-ту*. – Д., 2015. – № 95. – С. 68–73.
76. Нікітенко, А.В. Збільшення об'єму рекуперованої електроенергії на електропоїздах постійного струму / А.В. Нікітенко, М.О. Костін // *Залізничний транспорт України*. – 2015. – Вып. 3. – С. 25–31.
77. Шевлюгин, М.В. Ресурс- и энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте и метрополитенах, реализуемые с использованием накопителей энергии : автореф. дис.... д-ра техн. наук : 05.09.03 / Шевлюгин Максим Валерьевич ; Моск. гос. ун-т путей сообщения. – М., 2013. – 49 с.
78. Шевлюгин, М.В. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии / М.В. Шевлюгин, К.С. Желтов // *НТТ – Наука и техника транспорта*. – 2008. – Вып. № 1. – С. 15–20.
79. Шевлюгин, М.В. Повышение энергетических показателей работы системы тягового электроснабжения железных дорог с помощью накопителей энергии / М.В. Шевлюгин // *НТТ – Наука и техника транспорта*. – 2007. – № 1. – С. 68–72.
80. Шевлюгин, М.В. Энергосберегающие схемы тягового электроснабжения железных дорог на базе сверхпроводниковых индуктивных накопителей энергии / М.В. Шевлюгин // *Електротехніка*. – 2008. – № 7. – С. 28–34.

81. Шевлюгин, М.В. Возможность использования энергии BPS на базе аккумуляторных батарей G1-GACELL в системе тягового электроснабжения Московского метрополитена / М.В. Шевлюгин, М.П. Бадёр, М.П. Бычкова, В.А. Гричишников // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2010. – № 5-6. – С. 23–26.
82. Шевлюгин, М.В. Снижение расхода энергии и рабочей мощности основного силового оборудования тяговых подстанций электрических железных дорог с помощью накопителей энергии / М.В. Шевлюгин // Монография. – 2007. – 151 с.
83. Шевлюгин М.В. Энергосбережение на железнодорожном транспорте с помощью сверхпроводниковых индуктивных накопителей энергии / М.В. Шевлюгин // НТТ – Наука и техника транспорта. – 2008. – Вып. № 2. – С. 67–70.
84. Черемисин, В.Т. Влияние рекуперативного торможения на систему тягового электроснабжения / В.Т. Черемисин, В.Л. Незевак, А.С. Вильгельм, В.А. Кващук // Локомотив. – 2013. – № 8. – С. 5–8.
85. Черемисин, В.Т. Выбор мест установки накопителей электроэнергии на полигоне постоянного тока по критерию энергоэффективности / В.Т. Черемисин, М.М. Никифоров, В.Л. Незевак // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. – 2013. – № 2(6). – С. 48–52.
86. Черемисин, В.Т. Повышение энергетической эффективности системы тягового электроснабжения в условиях работы постов секционирования с накопителями электрической энергии / В.Т. Черемисин, В.Л. Незевак, А.П. Шатохин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – № 10. – С. 54–64.
87. Вильгельм, А.С. Повышение энергетической эффективности рекуперативного торможения на железных дорогах постоянного тока: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.07 / Вильгельм Александр Сергеевич ; Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2013. – 20 с.
88. Nezevak, V. Evaluation of the Energy Efficiency of Energy Storage for Electric Rolling Stock of Railways DC / V. Nezevak, V. Cheremisin, A. Shatohin // International Journal of Advanced Railway. – 2013. – V. 1. – № 2. – P. 53–56.
89. Штанг, А.А. Повышение эффективности электротранспортных систем на основе использования накопителей энергии: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.09.03. / Штанг Александр Александрович ; Новосибир. гос. техн. ун-т – Новосибирск, 2006. – 19 с.
90. Щуров, Н.И. Применение накопителей энергии в системах электрической тяги / Н.И. Щуров, К.В. Щеглов, А.А. Штанг // Сборник научных трудов НГТУ. – Новосибирск, 2008. – № 1(51). – С. 99–104.
91. Штанг, А.А. Применение накопителей энергии в системах электроснабжения городского электрического транспорта / А.А. Штанг, Е.А. Спиридонов, М.В. Ярославцев // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 3–4 (40–41). – С. 68–70.
92. Улитин, В.Г. Проблема использования избыточной энергии рекуперации на городском электрическом транспорте / В.Г. Улитин // Коммунальное хозяйство городов. – 2009. – № 88. – С. 266–271.
93. Белозеров, В.И. Актуальность создания карьерных локомотивов с накопителем энергии / В.И. Белозеров, В.П. Степаненко // Горная промышленность. – 2014. – № 4. – С. 76.
94. Степаненко, В.П. Применение комбинированных (гибридных) энергосиловых установок в горной промышленности / В.П. Степаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 11. – С. 322–328.
95. Степаненко, В.П. Перспективы применения комбинированных накопителей энергии на карьерном железнодорожном транспорте / В.П. Степаненко, В.И. Белозеров, Л.Н. Сорин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 5. – С. 317–322.
96. Степаненко, В.П. Актуальность ресурсо- и энергосбережения подземных рудничных локомотивов с комбинированными накопителями энергии / В.П. Степаненко, Л.Н. Сорин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 5. – С. 323–328.
97. Степаненко, В.П. Энергоэффективность подземной локомотивной откатки с гибридными накопителями энергии / В.П. Степаненко, Л.Н. Сорин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 135–140.
98. Domínguez M. Energy efficiency on train control: design of metro ATO driving and impact of energy accumulation devices / M. Domínguez, A. P. Cucala, A. Fernández, R. R. Pecharromás, J. Blanquer // 9th World Congress on Railway Research (22.05–26.05.2011). – Madrid, 2011. – P. 1–12. – Режим доступа: http://www.vialibre-ffe.com/pdf/Dominguez_Maria.pdf. – Назва з екрану. – Перевірено 26.05.2016.
99. Li, X. An energy-efficient scheduling and speed control approach for metro rail operations / X. Li, H.K. Lo // Transportation Research. – 2014. – Part B (64). – P. 73–89.
100. Yang, X. An energy-efficient scheduling approach to improve the utilization of regenerative energy for metro systems / X. Yang, A. Chen, X. Li, B. Ning, T. Tang // Transportation Research. – 2015. – Part C (57). – P. 13–29.
101. Szeląg, A. Aspekty efektywności i energooszczędności w procesie modernizacji układów zasilania trakcji tramwajowej / A. Szeląg, T. Maciołek, Z. Drązek, M. Patoka // Pojazdy szynowe. Kwartalnik naukowo-techniczny poświęcony zagadnieniom konstrukcji, budowy i badań taboru szynowego. – 2011. – № 3. – P. 34–42.

102. Allègre, A.-L. Energy Storage System With Supercapacitor for an Innovative Subway / A.-L. Allègre, A. Bouscayrol, P. Delarue, P. Barrade, E. Chattot, S. El-Fassi // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – Vol. 57. – Issue 12. – 2010. – P. 4001–4012.
103. Barrero, R. Improving energy efficiency in public transport: Stationary supercapacitor based Energy Storage Systems for a metro network / R. Barrero, X. Tackoen, J. Van Mierlo // Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008. VPPC '08. IEEE. – P. 1–8.
104. Barrero, R. Energy saving in public transport: enhanced energy storage systems for improved on-board light rail vehicle efficiency / R. Barrero, X. Tackoen, J. Van Mierlo. IEEE Vehicular Tech. Magazin. – 2008. – № 3 (3). – P. 26–36.
105. Pavel, D. The energy storage system with supercapacitor for public transport / D. Pavel, S. Lubos // Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC '09. IEEE. – P. 1826–1830.
106. Sevilla, M. Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage / M. Sevilla, R. Mokaya // Energy & Environmental Science. – 2014. – Vol. 7. – № 4. – P. 1250–1280.
107. Konarzewski, M. Hybrid locomotives overview of construction solutions / M. Konarzewski, T. Niezdova, M. Stankiewicz, P. Szurgott // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2013. – Vol. 20. – № 1. – P. 124–134.
108. Maruyama, N. Stabilisierung der Fahrleitungsspannung mittels Schwungrad / N. Maruyama // Elektrische Bahnen. – 1992 (90). – № 4. – P. 125–129.
109. Moninger, F. Инерционные накопители энергии в системах тягового электроснабжения / F. Moninger // Железные дороги мира. – 2000. – № 12. – С. 41–43.
110. Negishi, H. Аккумуляирование энергии на железных дорогах / H. Negishi // Железные дороги мира. – 2003. – № 6. – С. 55–59.
111. Rufer, A. Supercapacitor-based energy storage substation for voltage compensation in weak transportation networks / A. Rufer, D. Hotellier, P. Barrade // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2004. – Vol. 19, № 2. – P. 629–636.
112. Pulling, N. Tram builders go to ground to find business / N. Pulling // Tramways and Urban Transit. – 2009. – 72, № 860. – P. 300–303.
113. Czerwiński, A. New high-energy lead-acid battery with reticulated vitreous carbon as a carrier and current collector / A. Czerwiński, S. Obrębski, Z. Rogulski // Journal of Power Sources. – 2012. – № 198. – P. 378–382.
114. Liu, H. Flywheel energy storage-an upswing technology for energy sustainability / H. Liu, J. Jiang // Energy and Buildings. – 2007. – № 39 (5). – P. 599–604.
115. Flynn, M. Saving energy using flywheels / M. Flynn, P. McMullen, O. Solis // IEEE Industry Applications Magazine. – 2008. – № 14 (6). – P. 69–76.
116. Iannuzzi, D. The use of energy storage systems for supporting the voltage needs of urban and suburban railway contact lines / D. Iannuzzi, E. Pagano, P. Tricoli // Energies. – 2013. – № 6 (4). – P. 1802–1820.
117. Ciccirelli, F. Stationary ultracapacitors storage device for improving energy saving and voltage profile of light transportation networks / F. Ciccirelli, D. Iannuzzi, D. Lauria // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2012. – № 21 (1). – P. 321–337.
118. Iannuzzi, D. Optimal Design of Stationary Supercapacitors Storage Devices for Light Electrical Transportation Systems / D. Iannuzzi, D. Lauria, P. Tricoli // Journal of Optimization and Engineering. – 2012. – № 13 (4). – P. 689–704.
119. Iannuzzi, D. Speed-based state-of-charge tracking control for metro trains with onboard supercapacitors / D. Iannuzzi, P. Tricoli // IEEE Trans. Power Electron. – 2012. – № 27 (3-4). – P. 2129–2140.
120. Shimada, M. Energy storage system for effective use of regenerative energy in electrified railways / M. Shimada, R. Oishi, D. Araki // Hitachi Review. – 2010. – № 59 (1). – P. 33–38.
121. Ciccirelli, F. Control of metro-trains equipped with onboard supercapacitors for energy saving and reduction of power peak demand / F. Ciccirelli, D. Iannuzzi, P. Tricoli // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2012. – № 24. – P. 36–49.
122. Sekijima, Y. Development of an energy storage system for DC electric rolling stock by applying electric double layer capacitors / Y. Sekijima, M. Inui, Y. Monden, I. Aoyama // Japanese Railway Engineering. – 2005. – № 156. – P. 35–41.

Andrii Sulym, PhD (Technical Sciences)

(Senior researcher, SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

Anatolii Donchenko, PhD (Technical Sciences), Senior Research Associate

(Director of SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

Oleksii Fomin, Doctor of Science (Technical Sciences)

(Professor of the Department «Car and Carriages' Economy» of the State University for Transport Economy and Technologies)

Pavlo Khozia, PhD (Technical Sciences)
(Head of laboratory SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

PERSPECTIVE OF ENERGY STORAGE IMPLEMENTATION IN TRACTION RAIL TRANSPORT

The review and analysis of the energy efficiency research of traction rail transport through the use of energy storage. The basic directions of traction rail transport with energy storages are determined. According to the generalized analysis results of a significant amount of research is estimated the possible amount of savings resources through the implementation of energy storage on different types of rail traction transport. It is established that the most effective use of energy storage can be achieved on a city electric transport, especially in the metro. The main advantage of the use of energy storage in the metro is rolling stock operation feature. A set of tasks is formulated that can be solved in the subway through the implementation of energy storage. The basic lesser known and urgent tasks in solving the problem of energy efficiency in the metro through the application of energy storage, including the creation and modernization of metro rolling stock are determined.

Key words: traction rail transport, energy storage, metro rolling stock, energy efficiency.

REFERENCES

1. *Kompleksna programma onovlennia zaliznychnogo rukhomogo skladu Ukrainy na 2008–2020 roky* [A comprehensive program of updating the railway rolling stock of Ukraine for 2008–2020 years]. Available at: <http://uz.gov.ua>.
2. *Derzhavna programma rozvytku miskogo elektrotransportu na 2007–2015 roky* [The state program of development of urban electric transport for 2007–2015 years]. Available at: http://www.uazakon.com/documents/date_8o/pg_grgfl/index.htm.
3. *Pro energozberezheniya: zakon Ukrainy* [On energy saving: Ukrainian law]. Kyiv, Parlamentske vydavnytstvo Publ., 2014. 15 p.
4. *Pro prioritetni napriamky innovatsiinoi diialnosti v Ukraini: zakon Ukrainy* [On innovation activity priorities in Ukraine: Ukrainian law]. Kyiv, Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy, 2012, issue 19–20, article 166. p 799.
5. *Pro prioritetni napriamky rozvytku nauky i tekhniky: zakon Ukrainy* [On the priority directions of science and technology: Ukrainian law]. Kyiv, Ofitsiinyi visnyk Ukrainy, 2010, issue 77, article 2721. p 29.
6. But D.A., Alievskiy B.L., Mizyurin S.R., Vasyukevich P.V. *Nakopiteli energii* [Storage energy]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 400 p.
7. Astakhov Yu.N., Vennikov V.A., Ter-Gazaryan A.G. *Nakopiteli energii v elektricheskikh sistemakh* [Energy storage in electrical systems]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1989. 159 p.
8. Kossov Ye.Ye., Nikipelyy S.O. *Sposob upravleniya silovoy ustanovkoy i ustroystvo dlya ego realizatsii* [Propulsion control method and device for its realization] Patent RU, no. 2009144792/11, 2011.
9. Nikipelyy S.O. *Povysheniye effektivnosti raboty teplovozov pri primenenii nakopiteleya energii v silovoy tsepi* [Improving the efficiency of diesel locomotives in the application of energy storage in the power circuit. Cand. Diss.]. Moscow, 2011. 167 p.
10. Kossov Ye.Ye., Nikipelyy S.O. *Primeneniye nakopiteley maloy energoyemkosti v silovoy tsepi teplovoza* [The use of low power consumption of disk drives in the power circuit of the locomotive]. *Visnyk Skhidnoukrainskogo natsionalnogo universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University of the V. Dahl], 2010, issue 5 (147), part 1, pp. 246–248.
11. Kossov Ye.Ye., Azarenko V.A., Kornev A.N., Komarnitskiy M.M. *Vliyaniye effektivnosti nakopiteleya energii na toplivnuyu ekonomichnost lokomotiva* [The impact of energy efficiency on the storage of locomotive fuel efficiency]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2008, no. 3, pp. 44–45.
12. Kossov Ye.Ye., Azarenko V.A., Komarnitskiy M.M. *K voprosu vybora moshchnosti kharakteristik perspektivnogo avtonomnogo tyagovogo podvizhnogo sostava* [On the question of the choice of long-term power autono-

mous traction rolling stock characteristics]. *Nauka i transport – Science and Transport*, 2007, special issue, pp. 20–21.

13. Sharyakov V.A., Sharyakova O.L., Bakshaev O.K., Movchan A.S. Issledovaniye vozmozhnosti povysheniya ekonomichnosti elektricheskoy peredachi na manevrovom teplovoze pri ispolzovanii nakopiteley energii [Study the possibility of increasing the efficiency of the electric transmission shunting diesel locomotive when using energy storage]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2010, no. 11, pp. 8–9.

14. Losev Ye.P. *Effektivnost primeneniya nakopiteley energii v silovykh ustanovkakh avtonomnykh lokomotivov* Cand, Diss. [The effectiveness of energy storage in power plants autonomous locomotives. Cand. Diss.]. Moscow, 2000. 211 p.

15. Noskov V.N. *Sverkhprovodnikovyye induktivnyye nakopiteli energii v energoustanovkakh zheleznodorozhnogo transporta* Cand, Diss. [Superconducting inductive energy storage power plants in the rail transport. Cand. Diss.]. Rostov-on-Don, 2010. 209 p.

16. Noskov V.N., Pustovetov M.Yu. Ob energoemkosti nakopitelya energii dlya teplovoza [On the energy intensity of energy storage for diesel locomotive]. *Vestnik VNIIZHT* [Bulletin VNIIZHT], 2008, issue 5, pp. 42–44.

17. Ustenko A.V., Pasko O.V. Ispolzovanie nakopiteley energii dlya uluchsheniya parametrov lokomotivov [The use of energy storage to improve the parameters of locomotives]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2012, issue 10, pp. 4–6.

18. Cherniak Yu.V., Gatchenko V.O., Gaiur A.V. Analiz isnuichykh i perspektivnykh napriamiv zastosuvannya rekuperativnykh system na transporti z metoiu pidvyshchennia yogo energoefektyvnosti [Analysis of existing and future areas of application recuperative systems in transport to improve its energy efficiency]. *Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Seriya «Transportni systemy i tekhnologii»* [Collection of scientific works DETUT. Series «Transport systems and technologies»], 2014, issue 24, pp. 134–139.

19. Pisarev L.T., Chernyak Yu.V., Terovanesov M.R. Rekuperativnoye tormozheniye poyezdov s ispolzovaniyem impulsnykh energoemkikh kondensatorov [Regenerative braking trains using pulsed energy-capacitors]. *Zbirnyk naukovykh prats DonIZT*. [Collection of scientific works DonIZT], 2009, issue 17, pp. 97–106.

20. Volodarets M.V. Vyznachennia neobkhidnoi energoemnosti nakopychuvachiv energii ta potuzhnosti sylovoi ustanovky manevrovogo teplovozu iz gibrydnoi tiagoiu [Determining the required power consumption capacity energy storage and propulsion shunting locomotive with hybrid traction]. *Zbirnyk naukovykh prats DonIZT*. [Collection of scientific works DonIZT], 2011, issue 26, pp. 1–3.

21. Falendysh A.P., Volodarets M.V. Rozrobka modeli dlia vyboru potuzhnisnykh kharakterystyk manevrovogo teplovozu iz gibrydnoi peredacheiu [Development of models to choose power characteristics shunting locomotive with hybrid transmissions]. *Zbirnyk naukovykh prats DonIZT*. [Collection of scientific works DonIZT], 2010, issue 24, pp. 122–130.

22. Biriukov O.S., Falendysh A.P., Volodarets M.V., Zolotukhin I.V. Modernizatsiia manevrovogo teplovozu CHME3T z metoiu zmenshennia vytraty palyva i znachnogo znyzhennia shkidlyvykh rehovyn [Modernization shunting locomotive CHME3T to reduce fuel consumption and a significant reduction in harmful emissions]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT*. [Collection of scientific works UkrSART], 2011, issue 126, pp. 157–160.

23. Falendysh A.P., Volodarets M.V., Artemenko O.V. Vyznachennia ratsionalnykh parametriv gibrydnogo manevrovogo teplovozu na bazi CHME3 [Determination of rational parameters of hybrid shunting locomotive at the CHME3]. *Visnyk Shkhydnoукраїнського національного університету імені В. Дала* [Bulletin of East Ukrainian National University of the V. Dahl], 2015, issue 1 (218), pp. 253–256.

24. Sergiienko M.I., Panasenko M.V., Pelepeichenko V.I., Gordiienko D.O. Otsinka efektyvnosti zastosuvannya nakopychuvachiv elektroenergii v energetychnii ustanovtsi dyzel-poizda DEL-02 [Evaluation of efficacy storage of electricity in the power plant diesel train DEL-02]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2011, issue 4, pp. 29–35.

25. Sergiienko M.I., Pelepeichenko V.I., Goncharov O.M., Gordiienko D.O. Otsinka efektyvnosti variantiv modernizatsii energetychnoi ustanovky manevrovogo teplovozu CHME3 [Evaluating the effectiveness of power plant upgrade options shunting locomotive CHME3]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2011, issue 6, pp. 35–38.

26. Sergiienko M.I., Goncharov O.M., Pelepeichenko V.I., Gordiienko D.O. Vybir kharakterystyk keruvannya gibrydnoi energetychnoi ustanovkoiu perspektivnogo manevrovogo teplovoza [Selection management features a hybrid power plant perspective shunting locomotive]. *Visnyk Shkhydnoукраїнського національного університету імені В. Дала* [Bulletin of East Ukrainian National University of the V. Dahl], 2011, issue 4 (158), pp. 122–132.

27. Sergiienko M.I., Goncharov O.M., Pelepeichenko V.I., Mokrousov S.D. Prognozuvannya resursu dyzeliv perspektivnykh energetychnykh ustanovok dlia manevrovogo teplovoza CHME3 [Prediction prospective resource of diesel power plants for shunting locomotive CHME3]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2012, issue 5, pp. 40–44.

28. Shcherbakov V.P., Sergiienko M.I., Kagramanian A.O., Pelepeichenko V.I. Zmenshennia vykydiv azotu dyzelem manevrovogo teplovozu shliakhom zastosuvannya gibrydnoi energetychnoi ustanovky [Reduction of nitrogen diesel shunting locomotive through the use of hybrid power plant]. *Visnyk Shkhydnoукраїнського національного університету імені В. Дала* [Bulletin of East Ukrainian National University of the V. Dahl], 2012, issue 5 (176), part 1, pp. 173–179.

29. Goncharov O.M., Kinter S.O., Tereshchak Yu.V. Analiz peredumov modernizatsii manevrovyykh teplovoziv Lvivskoi zaliznytsi gibrydnoi energetychnoi ustanovkoiu [Analysis preconditions modernization of shunting locomotives Lviv railway hybrid power plant]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2014, issue 6, pp. 19–25.
30. Varakin A.I., Varakin I.N., Menukhov V.V. Manevrovy i universalnyy lokomotiv s gibridnoy silovoy ustanovkoy i nakopitelem energii na baze elektrokhimicheskikh kondensatorov [Shunting and versatile locomotive with hybrid propulsion and energy storage based electrochemical capacitors]. *Nauka i tekhnika transportu – Science and technology of transport*, 2007, issue 2, pp. 34–40.
31. Varakin I.N., Menukhov V.V., Samitin V.V. Primeneniye elektrokhimicheskikh kondensatorov ZAO «EL-TON» v sostave gibridnykh energosilovykh ustanovok na karyernom avtotransporte [The use of electrochemical capacitors CJSC «Elton» as part of hybrid energy-power plants on the career road transport]. *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byuleten – Mining informational and analytical bulletin*, 2008, Private issue 8: Mining machines, pp. 106–115.
32. Varakin I.N., Menukhov V.V. «ELTON» predlagayet – kachestvo, nadezhnost, ekonomichnost [«Elton» offers – quality, reliability, economy]. *Gazeta «Evrasiya vesti» – The newspaper «Eurasia Vesti»*, 2008, Private issue 8: Mining machines, pp. 106–115.
33. Varakin I.N., Kilganova Ye.A., Menukhov V.V., Razumov S.N., Samitin V.V., Tarasov S.V. *Elektrokhimicheskyy kondensator* [Electrochemical capacitor]. Patent RU, no 2004137643/09, 2007.
34. Varakin I.N., Kilganova Ye.A., Klementov A.P., Litvinenko S.V., Menukhov V.V., Samitin V.V., Starodubtsev N.F., Stepanov A.B. In Proceedings of “The 7-13th International Seminar on Double Layer Capacitors and Similar Energy Storage Devices”, 1997-2003, Deerfield Beach, Florida, USA.
35. Bychkova M.P. Energoeffektivnyye tekhnologii metro [Energy-efficient technology underground]. *Avtomatizatsiya i IT v energetike – Automation and IT in the energy sector*, 2011, issue 5 (22), pp. 34–36.
36. Bychkova M.P. Sistema nakopitelei elektroenergii dlya povysheniya energoeffektivnosti v metro [The system stores electricity for energy efficiency in the subway]. *Energosovet – Energosovet*, 2011, issue 3 (16), pp. 74-76.
37. Bychkova M.P. Energoberezheniye v metro [Energy saving in the metro]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2010, special issue Science and Transport. Subways future, p. 67.
38. Bialobrzheskiy O.V. Energoberezhennia v elektrotekhnologichnykh ustanovkakh ta prystroiakh z elektrychnymy nakopichuvachamy energii [Energy saving in electro-technological installations and devices with electrical energy storage]. *Visnyk Kremenchutskogo derzhavnogo politekhnichnogo universytetu* [Bulletin of the Kremenchug State Polytechnic University], 2009, issue 10/2009 (38), pp. 141–145.
39. Bialobrzheskiy O.V., Shipunova I.V. Energetychni pokaznyky rezhymu galmuvannia mashyny postiinogo strumu z podacheiu energii na kondensatornyi nakopichuvach [Energy performance braking mode DC machine with transfer of energy to the condenser storage]. *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Seriya «Elektrotekhnika i energetyka»* [Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series: «Electrical and Power Engineering»], 2013, issue 1 (14), pp. 53–58.
40. Bialobrzheskiy O.V., Shipunova I.V. *Prystrii nakopichennia elektrychnoi energii tiagovogo elektrychnogo kompleksu elektrovoza* [Electricity storage device electric traction electric locomotive complex]. Patent UA, no u2013 05046, 2013.
41. Vasilyev V.A. *Povysheniye energeticheskoy effektivnosti elektropoyezdov postoyannogo toka*. Avtoreferat Cand, Diss. [Energy efficiency of electric trains of direct current. Cand, Diss.]. St. Petersburg, 2012. 16 p.
42. Vasilyev V.A. Analiz vozmozhnosti primeneniya emkostnykh nakopiteley energii [Analysis of possibility of application of capacitive energy storage]. *Izvestiya PGUPS* [Proceedings of PSTU], 2011, issue 1, pp. 35–44.
43. Denshchikov K.K. Kombinirovannyye energeticheskiye ustanovki na osnove superkondensatorov [Combined power plants based on supercapacitors]. *Konferentsiya OIVT RAN «Rezultaty fundamentalnykh issledovaniy v oblasti energetiki i ikh prakticheskoye znachenie»* [The conference JIHT RAS «Basic research in the field of energy and their practical value»]. Moscow, 2008.
44. Kolb A.A. Akkumulirovaniye energii rekuperatsii eletrifitsirovannogo transporta s pomoshchyu emkostnykh energonakopiteley [Storage of energy recovery electric transport by using capacitive energy storage]. *Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznychnogo transport imeni akademika Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan], 2010, issue 31, pp. 89–94.
45. Kolb A.A. Ispolzovaniye energii rekuperatsii elektrottransporta dlya upravleniya kachestvom elektroenergii [The use of the regenerative energy of electric vehicle to control the quality of electricity]. *Elektromekhanichni i energoberegaiuchi systemy – Electromechanical and energy saving systems*, 2010, issue 4/2010 (63), pp. 98-102.
46. Okhotnikov N.S. *Povysheniye tyagovykh svoystv elektrovozov pri pomoshchi nakopiteley energii*. Avtoreferat Cand, Diss. [Increased traction properties using the electric energy storage devices. Cand, Diss.]. Moscow, 2010. 24 p.
47. Okhotnikov N.S. Ispolzovaniye nakopiteley energii dlya povysheniya tyagovykh svoystv elektrovozov [The use of energy storage devices to improve traction properties of electric locomotives]. *Vestnik VNIIZHT* [Bulletin VNIIZHT], 2010, issue 5, pp. 33–36.

48. Pupynin V.N., Shevlyugin M.V. Razrabotka energosberegayushchikh skhem tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog postoyannogo toka 3,3 kV s ispolzovaniyem nakopiteley energii [Development of energy saving schemes of traction current railway DC 3.3 kV with energy storage devices]. *Sbornik nauchnykh trudov. Fundamentalnyye i poiskovyie nauchno-issledovatel'skiye raboty v oblasti zheleznodorozhnogo transporta* [Collection of scientific papers. The fundamental and exploratory research projects in the field of railway transport], 1997, issue 916, pp. 149–152.
49. Brodskiy Yu.A., Podaruyev A.I., Pupynin V.N., Shevlyugin M.V. Statsionarnaya sistema akkumulirovaniya energii rekuperatsii elektropodvizhnogo sostava na baze emkostnykh nakopiteley energii [Stationary energy storage system energy recovery of electric rolling stock subway, for capacitive energy storage]. *Elektrotehnika – Electrical engineering*, 2008, issue 7, pp. 38–41.
50. Rodkin D.I., Velichko T.V. Osobennosti osushchestvleniya elektroprivoda s nakopitelyami energii [Especially the implementation of electric drive with energy storage]. *Visnyk KDPU. Naukovi pratsi Kremenchut'skogo derzhavnogo politekhnichnogo universytetu* [Bulletin KSPU. Proceedings of the Kremenchug State Polytechnic University], 2000, issue 2/2000 (9), pp. 124–132.
51. Rodkin D.I., Kornet V.N. K teorii elektroprivoda s emkostnym nakopitelem [To the theory of electric drive with capacitive energy storage]. *Visnyk KDPU. Naukovi pratsi Kremenchut'skogo derzhavnogo politekhnichnogo universytetu* [Bulletin KSPU. Proceedings of the Kremenchug State Polytechnic University], 2000, issue 2/2000 (9), pp. 149–151.
52. Khvorost N.V. Kontseptsiya novoy struktury sistemy elektricheskoy tyagi dlya metropolitena [The concept of the new structure of electric traction systems for underground]. *Kommunalnoye khozyaystvo gorodov – Utilities cities*, 2003, issue 53, pp. 172–179.
53. Khvorost M.V., Bozhko V.V. Sistema elektrotiagovogo zabezpechennya pidvyshchenoi effektivnosti dlya metropoliteniv [Electrical traction system providing increased efficiency for metro]. *Elektrotehnika i elektromekhanika – Electronics and electrical engineering*, 2006, issue 6, pp. 79–86.
54. Khvorost M.V. *Rozvytok naukovykh osnov system elektrychnoi tyagi metropoliteniv*. Avtoreferat Doct. Diss. [The development of scientific bases of electric traction subways. Doct. Diss.]. Dnipropetrovsk, 2011. 43 p.
55. Shcherbak Ia.V., Nerubatskiy V.P. Analiz zastosuvannia rekuperatyvnogo galmuvannia na zaliznytsiakhi Ukrainy [Analysis of the use of regenerative braking on the railways of Ukraine]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2011, issue 2, pp. 30–34.
56. Omelyanenko V.I., Omelyanenko G.V. Inertsionnyy nakopitel energii dlya sistem tyagovogo elektrosnabzheniya [Inertial energy storage for power supply systems]. *Tekhnicheskaya elektrodinamika – Technical electrodynamics*, 2002, issue 4, pp. 83–88.
57. Omelyanenko G.V. *Elektromekhanicheskii preobrazovatel energii inertsionnogo nakopitelya dlya setey tyagovogo elektrosnabzheniya* Cand. Diss. [The electromechanical transducer of the inertial energy storage for traction power supply networks. Cand. Diss.]. Kharkov, 1999. 169 p.
58. Omelyanenko V.I., Bondarenko V.Ye., Omelyanenko G.V., Overyanova L.V. Nakopiteli energii – perspektivnaya tekhnologiya dlya zheleznykh dorog [Storage of energy – a promising technology for railways]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2011, issue 4, pp. 4–9.
59. Yakunin D.I. *Elektromekhanichna sistema pryvoda z liniynym dvygunom dlia nakhyly kuzoviv shvydkisnogo rukhomogo skladu* Avtoreferat Cand. Diss. [Electromechanical drive system with linear motor to tilt the body speed rolling stock. Cand. Diss.]. Kharkov, 2010. 21 p.
60. Omelyanenko V.I., Lyubarskiy B.G., Overyanova L.V., Ryabov Ye.S. Kontseptualnyy proyekt prigorodnogo elektropoezda s inertsionnym nakopitelem energii [Conceptual design of the suburban electric trains with inertial energy storage]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2013, issue 11, pp. 6–11.
61. Overyanova L.V. *Vyznachennia parametriv ta otsinka vlastyvostey elektromekhanichnykh inertsinykh nakopychuvachiv energii dlia prymiskykh elektroprivodiv* Avtoreferat Cand. Diss. [Definition of parameters and evaluation of the electromechanical properties of the inertial energy storage for a commuter trains. Cand. Diss.]. Kharkov, 2014. 20 p.
62. Omelyanenko V.I., Overyanova L.V. Rabota bortovogo elektromekhanicheskogo inertsionnogo nakopitelya energii v tyagovom privode prigorodnogo elektropoezda [The operation of on-Board electromechanical inertial energy storage in traction drive commuter trains]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2015, issue 1, pp. 44–49.
63. Ryabov Ye.S. Opredeleniye parametrov nakopitelya energii dlya elektropodvizhnogo sostava s asinkhronnym tyagovym privodom v rezhime ograniicheniya toka tyagovoy seti [Defining the parameters of energy storage for electric rolling stock with asynchronous traction drive in traction network current limit]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»* [Bulletin of National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»], 2015, issue 6 (1115), pp. 132–137.
64. Overyanova L.V., Omelyanenko O.V., Novofastovskiy I.V. Modelirovaniye raboty inertsionnogo nakopitelya energii v sisteme tyagovogo privoda pri tormozhenii elektropoezda [Modeling of electromechanical inertial energy storage system of traction drive with electric braking]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»* [Bulletin of National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»], 2015, issue 18 (1127), pp. 115–119.

65. Severin V.P., Overyanova L.V., Omelyanenko O.V. Upravleniye potokom moshchnosti v tyagovom privode elektropoyezda pri pitanii ot kontaktnoy seti i inertsionnykh nakopiteley energii [Power flow control in electric traction drive, powered by the contact network and the inertial energy storage]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyy instytut»* [Bulletin of National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»], 2015, issue 58 (1167), pp. 29–32.
66. Lyubarskiy B.G., Shayda V.P., Buryakovskiy S.G. Sravnitelnyy analiz nakopiteley energii dlya transportnykh sredstv [Comparative analysis of the energy storage devices for vehicles]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2015, issue 6, pp. 13–21.
67. Zhemerov G.G., Ilna N.A., Tugay D.V. Sistemy elektrosnabzheniya metropolitena s sovremennymi poluprovodnikovymi preobrazovatelyami i nakopitelyami energii [Underground power systems with modern semiconductor converters and energy storage]. *Elektrotekhnika i elektromekhanika – Electronics and electrical engineering*, 2013, issue 1, pp. 41–49.
68. Zhemerov G.G., Tugay D.V. Energiya i moshchnost v sistemakh elektrosnabzheniya s poluprovodnikovymi preobrazovatelyami i nakopitelyami energii [Energy and power supply systems with semiconductor converters and energy storage]. *Elektrotekhnika i elektromekhanika – Electronics and electrical engineering*, 2014, issue 1, pp. 45–57.
69. Sokol Ye.I., Zhemerov G.G., Tugay D.V. Silovaya elektronika i kontseptsiya energetiki «SMART GRID» [Power electronics and power concept «SMART GRID»]. *Energoberezheniye. Energetika. Energoaudit – Energy saving. Energy. Energy audit*, 2013, special issue 8 (114), pp. 7–16.
70. Zhemerov G.G., Ilna N.A., Tugay D.V. Umensheniye poter energii v sistemakh elektrosnabzheniya podvizhnogo sostava metropolitena pri ispolzovanii energoemkikh nakopiteley elektroenergii [Reduction of energy losses in the rolling stock of underground power systems using energy-intensive electric drives]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamics*, 2014, issue 5, pp. 137–138.
71. Kostin N.A., Nikitenko A.V. Avtonomnost rekuperativnogo tormozheniya – osnova nadezhnoy energoeffektivnoy rekuperatsii na elektropodvizhnom sostave postoyannogo toka [Autonomy of regenerative braking – the bases of reliable energy efficient recovery for electric rolling DC]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2014, issue 3, pp. 15–23.
72. Sablin O.I., Kuznetsov V.G., Artemchuk V.V. Problemy ta perspektyvy efektyvnogo vykorystannia rekuperatsii elektroenergii v systemi elektrotransportu [Problems and prospects of recovery efficient use of electricity in the electric system]. *Optyko-elektronni informatsiyno-energetychni tekhnologii – Optoelectronic information-power technologies*, 2013, issue 2 (26), pp. 126–130.
73. Sablin O.I. Doslidzheniya efektyvnosti protsesu rekuperatsii elektroenergii v umovakh metropolitenu. [Research recovery efficiency of the electricity in underground conditions]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – East European Journal of advanced technologies*, 2014, issue 8 (72), pp. 9–13.
74. Sablin O.I., Kuznetsov V.G., Bondar O.I., Artemchuk V.V. Modeliuvannia vzaemodii elektrorukhomogo skladu v rezhymy rekuperatsii elektroenergii [Modeling the interaction of electromotive recovery mode electricity]. *Elektryfikatsiya transportu – Electrification of transport*, 2014, issue 7, pp. 34–41.
75. Kuznetsov V.G., Sablin O.I., Gubskiy P.V., Kolykhaev Ye.G. Analiz rezervov energosberezheniya pri vnedrenii sistemy rekuperatsii energii na poyezdakh Dnepropetrovskogo metropolitena [Analysis of energy conservation reserves in the implementation of an energy recovery system on the Dnipropetrovsk subway trains]. *Girnycha elektromekhanika ta avtomatyka – Mining electrical engineering and automation*, 2015, issue 95, pp. 68–73.
76. Nikitenko A.V., Kostin M.O. Zbilshennia obemu rekuperovanoi elektroenergii na elektropoizdakh postiynogo strumu [Increasing the amount of recycled electric trains in DC]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2015, issue 3, pp. 25–31.
77. Shevlyugin M.V. *Resurso- i energosberigayushchie tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte i metropolitenakh, realizuemye s ispolzovaniem nakopiteley energii*. Avtoreferat Doct, Diss. [Resource and energy saving technologies on railway transport and subway systems that are implemented with the use of energy storage. Doct, Diss.]. Moscow, 2013. 49 p.
78. Shevlyugin M.V., Zheltov K.S. Snizheniye raskhoda elektroenergii na dvizheniye poyezdov v Moskovskom metropolitenе pri ispolzovanii emkostnykh nakopiteley energii [Reduced power consumption for the movement of trains in Moscow Metro using capacitive energy storage]. *NTT – Nauka i tekhnika transportu – NTT – Science and technology of transport*, 2008, issue 1, pp. 15–20.
79. Shevlyugin M.V. Povysheniye energeticheskikh pokazateley raboty sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog s pomoshchyu nakopiteley [Improving the energy performance of the traction power supply system of railways with the help of energy storage]. *NTT – Nauka i tekhnika transportu – NTT – Science and technology of transport*, 2007, issue 1, pp. 68–72.
80. Shevlyugin M.V. Energoberegayushchiye skhemy tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog na baze sverkhprovodnikovyykh induktivnykh nakopiteley energii [Energy-saving schemes traction power supply of railways on the basis of superconducting inductive energy storage]. *Elektrotekhnika – Electrical engineering*, 2008, issue 7, pp. 28–34.
81. Shevlyugin M.V., Bader M.P., Bychkova M.P., Grichishnikov V.A. Vozmozhnost ispolzovaniya energii BPS na baze akkumulyatornykh batarey GIGACELL v sisteme tyagovogo elektrosnabzheniya Moskovskogo met-

ropolitena [The possibility of using the energy of the BPS on the basis of GIGACELL batteries in the traction electric supply system of the Moscow metro]. *Elektronika i elektrooborudovaniye transporta – Electronics and electrical transport*, 2010, issue 5-6, pp. 23–26.

82. Shevlyugin M.V. Snizheniye raskhoda energii i rabochey moshchnosti osnovnogo silovogo oborudovaniya tyagovykh podstantsiy elektricheskikh zheleznykh dorog s pomoshchyu nakopiteley energii [Reduced energy consumption and operating capacity of the main power equipment of electric traction substations of railways by means of energy storage]. Moscow, 2007. 151 p.

83. Shevlyugin M.V. Energoberezheniye na zheleznodorozhnom transporte s pomoshchyu sverkhprovodnikov ykh induktivnykh nakopiteley energii [Energy savings in rail transport by means of superconducting inductive energy storage]. *NTT – Nauka i tekhnika transportu – NTT – Science and technology of transport*, 2008, issue 2, pp. 67–70.

84. Cheremisin V.T., Nezevak V.L., Vilgelm A.S., Kvashchuk V.A. Vliyaniye rekuperativnogo tormozheniya na sistemu tyagovogo elektrosnabzheniya [Influence of regenerative braking on the traction power supply system]. *Lokomotiv – Locomotive*, 2013, issue 8, pp. 5–8.

85. Cheremisin V.T., Nikiforov M.M., Nezevak V.L. Vybory mest ustanovki nakopiteley elektroenergii na poligone postoyannogo toka po kriteriyu energoeffektivnosti [Selecting installation locations of electricity storage at the site of constant current of energy efficiency criteria]. *Nauka i transport. Modernizatsiya zheleznodorozhnogo transporta – Science and Transportation. Modernization of railway transport*, 2013, issue 2 (6), pp. 48–52.

86. Cheremisin V.T., Nezevak V.L., Shatokhin A.P. Povysheniye energeticheskoy effektivnosti sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya v usloviyakh raboty postov sektiionirovaniya s nakopitelyami elektricheskoy energii [Improving the energy efficiency of the traction power supply system in the conditions of work posts partitioning drives with electric energy]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering georesources*, 2015, issue 10, pp. 54–64.

87. Vilgelm A.S. Povysheniye energeticheskoy effektivnosti rekuperativnogo tormozheniya na zheleznykh dorogakh postoyannogo toka Avtoreferat Cand. Diss. [Improving the energy efficiency of regenerative braking on the railways DC. Cand. Diss.]. Omsk, 2013. 20 p.

88. Nezevak V., Cheremisin V., Shatokhin A. Evaluation of the Energy Efficiency of Energy Storage for Electric Rolling Stock of Railways DC. *International Journal of Advanced Railway*, 2013, V. 1, issue 2, pp. 53–56.

89. Shtang A.A. Povysheniye effektivnosti elektrotransportnykh sistem na osnove ispolzovaniya nakopiteley energii Avtoreferat Cand. Diss. [Improving the efficiency of electric transport systems based on the use of energy storage. Cand. Diss.]. Novosibirsk, 2006. 19 p.

90. Shchurov N.I., Shcheglov K.V., Shtang, A.A. Primeneniye nakopiteley energii v sistemakh elektricheskoy tyagi [The use of energy storage systems of electric traction]. *Zbornik nauchnykh trudov NGTU [Proceedings of the NSTU]*, 2008, issue 1 (51), pp. 99–104.

91. Shtang A.A., Spiridonov Ye.A., Yaroslavl'tsev M.V. Primeneniye nakopiteley v sistemakh elektrosnabzheniya gorodskogo elektricheskogo transporta [The use of energy storage in the urban electric transport power systems]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2012, issue 3–4 (40–41), pp. 68–70.

92. Ulitin V.G. Problema ispolzovaniya izbytochnoy energii rekuperatsii na gorodskom elektricheskoy transporte [The problem of excessive use of energy recovery on the urban electric transport]. *Kommunalnoye khozyaystvo gorodov – Utilities cities*, 2009, issue 88, pp. 266–271.

93. Belozarov V.I., Stepanenko V.P. Aktualnost sozdaniya karyernykh lokomotivov s nakopitelem energii [Relevance of mining locomotives with energy storage]. *Gornaya promyshlennost – Mining*, 2014, issue 4, p. 76.

94. Stepanenko V.P. Primeneniye kombinirovannykh (gibridnykh) energosilovykh ustanovok v gornoy promyshlennosti [The use of combined (hybrid) energy-power plants in the mining industry]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuleten – Mining informational and analytical bulletin*, 2014, issue 11, pp. 322–328.

95. Stepanenko V.P., Belozarov V.I., Sorin L.N. Perspektivy primeneniya kombinirovannykh nakopiteley energii na karyernom zheleznodorozhnom transporte [Prospects for the use of combined energy storage on the career railways]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuleten – Mining informational and analytical bulletin*, 2015, issue 5, pp. 317–322.

96. Stepanenko V.P., Sorin L.N. Aktualnost resurso- i energoberezheniya podzemnykh rudnichnykh lokomotivov s kombinirovannymi nakopitelyami energii [The urgency of resource and energy saving underground mine locomotives with combined energy storage]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuleten – Mining informational and analytical bulletin*, 2015, issue 5, pp. 323–328.

97. Stepanenko V.P. Energoeffektivnost podzemnoy lokomotivnoy otkatki s gibridnymi nakopitelyami energii [Energy underground haulage locomotive with hybrid energy storage]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuleten – Mining informational and analytical bulletin*, 2015, issue 6, pp. 135–140.

98. Dominguez M., Cucala A.P., Fernández A., Pecharromán R.R., Blanquer J. Energy efficiency on train control: design of metro ATO driving and impact of energy accumulation devices. *9th World Congress on Railway Research (22.05–26.05.2011)*, 2011. pp. 1–12. Available at: http://www.vialibre-ffe.com/pdf/Dominguez_Maria.pdf. (Accessed 26 May 2016).

99. Li X., Lo H.K. An energy-efficient scheduling and speed control approach for metro rail operations. *Transportation Research*, 2014, Part B, issue 64, pp. 73–89.

100. Yang X., Chen A., Li X., Ning B., Tang T. An energy-efficient scheduling approach to improve the utilization of regenerative energy for metro systems. *Transportation Research*, 2015, Part C, issue 57, pp. 13–29.
101. Szelać, A., Maciołek T., Drajek Z., Patoka M. Aspekty efektywności i energooszczędności w procesie modernizacji układów zasilania trakcji tramwajowej. *Pojazdy szynowe. Kwartalnik naukowo-techniczny poświęcony zagadnieniom konstrukcji, budowy i badań taboru szynowego*, 2011, issue 3, pp. 34–42.
102. Allègre A.-L., Bouscayrol A., Delarue P., Barrade P., Chattot E., El-Fassi S. Energy Storage System With Supercapacitor for an Innovative Subway. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2010, Vol. 57, issue 12, pp. 4001–4012.
103. Barrero R., Tackoen X., Van Mierlo J. Improving energy efficiency in public transport: Stationary supercapacitor based Energy Storage Systems for a metro network. *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2008, pp. 1–8.
104. Barrero R., Tackoen X., Van Mierlo J. Energy saving in public transport: enhanced energy storage systems for improved on-board light rail vehicle efficiency. *IEEE Vehicular Tech. Magazin*, 2008, issue 3 (3), pp. 26–36.
105. Pavel D., Lubos S. The energy storage system with supercapacitor for public transport. *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009, pp. 1826–1830.
106. Sevilla M., Mokaya R. Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage. *Energy & Environmental Science*, 2014, Vol. 7, issue 4, pp. 1250–1280.
107. Konarzewski M., Niezdova T., Stankiewicz M., Szurgott P. Hybrid locomotives overview of construction solutions. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 2013, Vol. 20, issue 1, pp. 124–134.
108. Maruyama N. Stabilisierung der Fahrleitungsspannung mittels Schwungrad. *Elektrische Bahnen*, 1992, issue 4 (90), pp. 125–129.
109. Moninger F. Inertsionnyye nakopiteli energii v sistemakh tyagovogo elektrosnabzheniya [Inertial energy storage in traction systems power supply]. *Zheleznodorozhnye dorogi mira – Railway roads of the world*, 2000, issue 12, pp. 41–43.
110. Negishi H. Akkumulirovaniye energii na zheleznikh dorogakh [Energy storage on the railways]. *Zheleznodorozhnye dorogi mira – Railway roads of the world*, 2003, issue 6, pp. 55–59.
111. Rufer A., Hotellier D., Barrade P. Supercapacitor-based energy storage substation for voltage compensation in weak transportation networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2004, Vol. 19, issue 2, pp. 629–636.
112. Pulling N. Tram builders go to ground to find business. *Tramways and Urban Transit*, 2009, issue 72 (860), pp. 300–303.
113. Czerwinski A. New high-energy lead-acid battery with reticulated vitreous carbon as a carrier and current collector. *Journal of Power Sources*, 2012, issue 198, pp. 378–382.
114. Liu H., Jiang J. Flywheel energy storage—an upswing technology for energy sustainability. *Energy and Buildings*, 2007, issue 39 (5), pp. 599–604.
115. Flynn M., McMullen P., Solis O. Saving energy using flywheels. *IEEE Industry Applications Magazine*, 2008, issue 14 (6), pp. 69–76.
116. Iannuzzi D., Pagano E., Tricoli P. The use of energy storage systems for supporting the voltage needs of urban and suburban railway contact lines. *Energies*, 2013, issue 6 (4), pp. 1802–1820.
117. Ciccirelli F., Iannuzzi D., Lauria D. Stationary ultracapacitors storage device for improving energy saving and voltage profile of light transportation networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2012, issue 21 (1), pp. 321–337.
118. Iannuzzi D., Lauria D., Tricoli P. Optimal Design of Stationary Supercapacitors Storage Devices for Light Electrical Transportation Systems. *Journal of Optimization and Engineering*, 2012, issue 13 (4), pp. 689–704.
119. Iannuzzi D., Tricoli P. Speed-based state-of-charge tracking control for metro trains with onboard supercapacitors. *IEEE Trans. Power Electron*, 2012, issue 27 (3-4), pp. 2129–2140.
120. Shimada M., Oishi R., Araki D. Energy storage system for effective use of regenerative energy in electrified railways. *Hitachi Review*, 2010, issue 59 (1), pp. 33–38.
121. Ciccirelli F., Iannuzzi D., Tricoli P. Control of metro-trains equipped with onboard supercapacitors for energy saving and reduction of power peak demand. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2012, issue 24, pp. 36–49.
122. Sekijima Y., Inui M., Aoyama I. Development of an energy storage system for DC electric rolling stock by applying electric double layer capacitors. *Japanese Railway Engineering*, 2005, issue 156, pp. 35–41.

УДК 629.4.027

С. А. Семенов

(старший преподаватель кафедры «Логистическое управление и безопасность движения на транспорте» Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Северодонецк)

Е. В. Михайлов, к.т.н., доцент

(доцент кафедры «Логистическое управление и безопасность движения на транспорте» Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Северодонецк)

А. Г. Рейдемейстер, к.т.н., доцент

(доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, г. Днипро)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ВАГОНА С КОЛЕСАМИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ

В работе проведены исследования сопротивления движению вагона с колесами различных конструктивных схем с помощью математического моделирования. Выявлены потенциальные преимущества при использовании в ходовой части колес перспективных конструктивных схем.

Ключевые слова: вагон, конструктивная схема, математическое моделирование, сопротивление, показатели, уравнения движения.

У роботі проведені дослідження опору руху вагона з колесами різних конструктивних схем з допомогою математичного моделювання. Виявлено потенційні переваги при використанні в ходовій частини коліс перспективних конструктивних схем.

Ключові слова: вагон, конструктивна схема, математичне моделювання, опір, показники, рівняння руху.

Постановка проблемы. Результаты исследований [1, 2] особенностей движения по рельсу колеса перспективной конструктивной схемы (ПКС) [3] (схема допускает возможность независимого вращения гребня и поверхности катания колеса вокруг общей оси) показали возможность снижения скорости проскальзывания в гребневом контакте, которая определяет уровень дифференциального сопротивления движению и износа контактирующих поверхностей. В связи с этим представляется целесообразным дальнейшее изучение перспектив снижения сопротивления движению вагона за счет использования колес ПКС путем математического моделирования.

Анализ последних исследований и публикаций. Детальный обзор научной литературы данного направления исследований показал, что в настоящее время для математического описания движения рельсовых экипажей предложено значительное

© Семенов С. А., Михайлов Е. В., Рейдемейстер А. Г., 2017

количество моделей с различными степенями идеализации системы и подробностей описания в зависимости от поставленных задач. Выбор расчетной схемы и математическое моделирование осуществлялись на основе анализа работ [2, 4-10] с учетом особенностей взаимодействия колеса ПКС с рельсом.

Цель статьи – математическое описание движения вагона с колесами различных конструктивных схем с целью исследования сопротивления движению.

Изложение основного материала исследования. Составленная математическая модель движения вагона представляет собой развитие моделей, представленных в трудах ученых Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени акад. В.А. Лазаряна [11-15].

Модель вагона рассматривалась как система, состоящая из 19 твердых тел (кузова, двух надрессорных балок, четырех боковых рам тележек, четырех колесных пар и восьми гребней (имеющих возможность независимого вращения относительно колес вокруг их общей оси) с жесткими и упруго-диссипативными связями между ними, движущаяся по инерционному упруго-вязкому пути. Расчетная схема системы приведена на рис. 1.

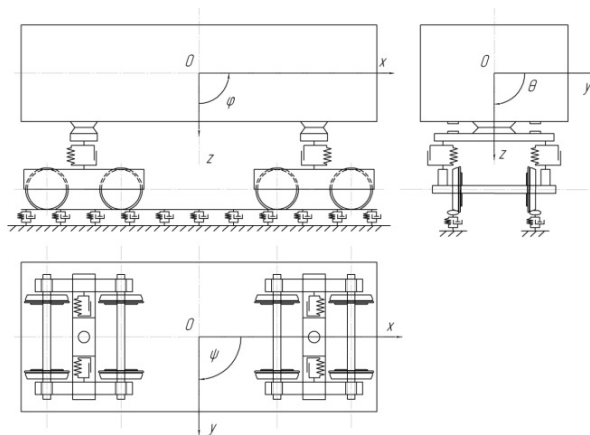


Рис. 1. Расчетная схема системы «экипаж-путь»

Для описания колебаний тел системы использовалась система координат $Oxyz$, движущаяся вдоль пути по некоторому закону $s(t)$ (s – пройденное расстояние, t – время) так, что ось Ox направлена в сторону движения экипажа, ось Oy направлена вправо, если смотреть по направлению движения, а ось Oz нормальна плоскости пути и направлена вниз. При этом предполагалось, что точка O движется с постоянной скоростью V (таким образом, $s = V \cdot t$), а путь представляет собой прямую или круговую кривую кривизны k .

Координаты центров тяжести тел системы обозначаются буквами x, y, z , снабженными следующими индексами. Верхний индекс «a» обозначает кузов, «b» – надрессорную балку, «s» – боковую раму тележки, «w» – колесную пару, «g» – гребень, «r» – рельс. Нижний индекс i обозначает номер тележки по ходу движения, индекс j обозначает одну из сторон экипажа (1 – левая сторона, 2 – правая), m – колесную пару в тележке (1 – первая по ходу движения, 2 – вторая). Угловые перемещения относительно осей Ox, Oy, Oz обозначаются символами ϑ, φ, ψ с соответствующими

щими индексами, массы и моменты инерции – индексированными символами m , I_X , I_Y , I_Z .

Составляющие сил и моментов обозначаются соответствующими большими буквами, нижние индексы при которых имеют тот же смысл, что и нижние индексы при координатах, а верхние представляют собой разделенные запятой обозначение тела, со стороны которого действует сила (момент), и обозначение тела, на которое она действует. Общее число степеней свободы всех тел системы – 84.

Уравнения колебаний тел системы. Кузов вагона имеет шесть степеней свободы (перемещения и повороты относительно трех взаимно перпендикулярных осей), и на него действуют продольные силы в автосцепных устройствах X_i , продольные $X_{ij}^{b(sk),a}$ и вертикальные $Z_{ij}^{b(sk),a}$ силы в скользунах, силы $X_{ij}^{b(c),a}$, $Y_{ij}^{b(c),a}$, $Z_{ij}^{b(c),a}$ и моменты $\Theta_{ij}^{b(c),a}$, $\Psi_{ij}^{b(c),a}$ в пятниковых узлах. Движение кузова вагона описывают следующие дифференциальные уравнения:

$$\begin{aligned} m^a \ddot{x}^a &= \sum_{i=1}^2 \left(X_i + X_i^{b(c),a} + \sum_{i=1}^2 X_{ij}^{b(sk),a} \right), \\ m^a \ddot{y}^a &= \sum_{i=1}^2 Y_i^{b(c),a} - m^a a_0, \\ m^a \ddot{z}^a &= \sum_{i=1}^2 \left(Z_i^{b(c),a} + \sum_{i=1}^2 Z_{ij}^{b(sk),a} \right) + m^a g, \\ I_x^a \ddot{\theta}^a &= \sum_{i=1}^2 \left(-h Y_i^{b(c),a} + b_2 \sum_{i=1}^2 Z_{ij}^{b(sk),a} + \Theta_i^{b(c),a} \right), \\ I_y^a \ddot{\varphi}^a &= \sum_{i=1}^2 \left(h \left(X_i + X_i^{b(c),a} + \sum_{i=1}^2 X_{ij}^{b(sk),a} \right) + (-1)^j l \left(Z_{ij}^{b(sk),a} + \sum_{i=1}^2 Z_{ij}^{b(sk),a} \right) \right), \\ I_z^a \ddot{\psi}^a &= \sum_{i=1}^2 \left(-b_2 \sum_{i=1}^2 (-1)^j X_{ij}^{b(sk),a} - (-1)^j l Y_i^{b(c),a} + \Psi_i^{b(c),a} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где a_0 – непогашенное ускорение;

h – расстояние от центра тяжести кузова до плоскости опирания кузова на тележки;

$2l$ – база вагона;

$2b_2$ – расстояние между скользунами;

g – ускорение свободного падения.

Каждая надрессорная балка обладает пятью степенями свободы (вращение относительно оси Oy не рассматривается). Кроме соответствующих сил со стороны кузова вагона на нее действуют силы $X_{ij}^{s,b}$, $Y_{ij}^{s,b}$, $Z_{ij}^{s,b}$ со стороны боковых рам.

$$\begin{aligned}
 m^b \ddot{x}^b &= X_i^{a(c),b} + \sum_{i=1}^2 (X_{ij}^{a(sk),b} + X_{ij}^{s,b}), \\
 m^b \ddot{y}^b &= Y_i^{a(c),b} + \sum_{i=1}^2 Y_{ij}^{s,b} - m^b a_0, \\
 m^b \ddot{z}^b &= Z_i^{a(c),b} + \sum_{i=1}^2 (Z_{ij}^{a(sk),b} + Z_{ij}^{s,b}) + m^b g, \\
 I_x^b \ddot{\theta}_i^b &= \sum_{i=1}^2 (-1)^j (b_2 Z_{ij}^{a(sk),b} + b_1 Z_{ij}^{s,b}) + \Theta_i^{a(c),b}, \\
 I_z^b \ddot{\psi}_i^b &= - \sum_{i=1}^2 (-1)^j (b_2 X_{ij}^{a(sk),b} + b_1 X_{ij}^{s,b}) + \Psi_i^{a(c),b},
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $2b_1$ – расстояние между комплектами рессорного подвешивания одной тележки.

Каждая боковая рама имеет пять степеней свободы: $x_{ij}^s, y_{ij}^s, z_{ij}^s, \varphi_{ij}^s, \psi_{ij}^s$, – и на нее действуют силы, возникающие в рессорном подвешивании и в буксах $X_{imj}^{w,s}, Y_{imj}^{w,s}, Z_{imj}^{w,s}$ а также моменты $\Pi_{imj}^{w,s}$, приложенные в буксовых узлах.

$$\begin{aligned}
 m^s \ddot{x}_{ij}^s &= X_{ij}^{b,s} + \sum_{m=1}^2 X_{imj}^{w,s}, \\
 m^s \ddot{y}_{ij}^s &= Y_{ij}^{b,s} + \sum_{m=1}^2 Y_{imj}^{w,s} - m^s a_0, \\
 m^s \ddot{z}_{ij}^s &= Z_{ij}^{b,s} + \sum_{m=1}^2 Z_{imj}^{w,s} + m^s g, \\
 I_y^s \ddot{\phi}_{ij}^s &= l_1 \sum_{m=1}^2 (-1)^m Z_{imj}^{w,s}, \\
 I_z^s \ddot{\psi}_{ij}^s &= \sum_{m=1}^2 (-l_1 (-1)^m Y_{imj}^{w,s} + \Psi_{imj}^{w,s}),
 \end{aligned} \tag{3}$$

где $2l_1$ – база тележки.

Каждая колесная пара имеет шесть степеней свободы. Со стороны рельсов на нее действуют силы $X_{imj}^{r,w}, Y_{imj}^{r,w}, Z_{imj}^{r,w}$ и моменты $\Theta_{imj}^{r,w}, \Phi_{imj}^{r,w}, \Pi_{imj}^{r,w}$ (которые представляют собой проекции момента поворотного крива). Со стороны подвижных гребней на нее действуют моменты $\Phi_{imj}^{g,w}$.

$$\begin{aligned}
 m^w \ddot{x}_{im}^w &= \sum_{j=1}^2 (X_{imj}^{s,w} + X_{imj}^{r,w}), \\
 m^w \ddot{y}_{im}^w &= \sum_{j=1}^2 (Y_{imj}^{s,w} + Y_{imj}^{r,w}) - m^w a_0, \\
 m^w \ddot{z}_{im}^w &= \sum_{j=1}^2 (Z_{imj}^{s,w} + Z_{imj}^{r,w}) - m^w g, \\
 I_x^w \ddot{\vartheta}_{im}^w &= \sum_{j=1}^2 ((-1)^j b_1 Z_{imj}^{s,w} + (-1)^j b Z_{imj}^{r,w} - r_{imj} Y_{imj}^{r,w} + \Theta_{imj}^{r,w}), \\
 I_y^w \ddot{\phi}_{im}^w &= \sum_{j=1}^2 (r_{imj} X_{imj}^{r,w} + \Phi_{imj}^{r,w} + \Phi_{imj}^{g,w}), \\
 I_z^w \ddot{\psi}_{im}^w &= \sum_{j=1}^2 ((-1)^j b_1 X_{imj}^{s,w} - (-1)^j b X_{imj}^{r,w} + \Psi_{imj}^{s,w} + \Psi_{imj}^{r,w}),
 \end{aligned} \tag{4}$$

где $2b$ – расстояние между средними кругами катания колес,

r_{imj} – радиус соответствующего колеса.

В математической модели предусматривается возможность использования колес ПКС с независимым вращением гребней относительно соответствующих колес вокруг их общей оси. Каждый гребень колеса ПКС имеет одну степень свободы. Со стороны рельсов на него действует момент $\Phi_{imj}^{r,g}$, а со стороны соответствующего колеса колесной пары – момент $\Phi_{imj}^{w,g}$.

Уравнения движения гребней колеса ПКС

$$I_y^g \cdot \ddot{\phi}_{imj}^g = \Phi_{imj}^{w,g} + \Phi_{imj}^{r,g}, \tag{5}$$

где I_y^g – момент инерции гребня колеса ПКС относительно его оси вращения,

$\Phi_{imj}^{r,g}$ – момент сил крипа, действующих на j -й гребень i -й колесной пары m -й тележки вагона в продольной вертикальной плоскости.

Момент $\Phi_{imj}^{w,g}$ фактически является моментом сопротивления в узле сопряжения колеса и гребня. Величина этого момента зависит от выбранной конструкции узла сопряжения и, в общем случае, определяются выражением вида

$$\Phi_{imj}^{w,g} = M_0 \cdot \text{sign}(\dot{\phi}_{imj}^w - \dot{\phi}_{imj}^g), \tag{6}$$

где M_0 – максимальное значение момента сопротивления в узле сопряжения колеса и гребня.

Выражения для определения соответствующих силовых факторов в уравнениях приведены ниже.

Отказ от обычно вводимой связи $\dot{\phi}_{im}^w = v / r_{imj}$ существенен для изучения процессов сопротивления движению и износа гребней, так как в кривых малого радиуса, в которых наблюдается наибольшая интенсивность этих процессов, колесные пары движутся со значительными проскальзываниями, и вышеупомянутое соотношение становится неверным. Кроме того, модель становится пригодной для изучения переходных режимов движения.

Уравнения колебаний рельса имеют вид:

$$\begin{aligned} m_g^r \cdot \ddot{y}_{imj}^r &= -k_g^t y_{imj}^r - \beta_g^t \dot{y}_{imj}^r + Y_{imj}^{w,r}, \\ m_v^r \cdot \ddot{z}_{imj}^r &= -k_v^t z_{imj}^r - \beta_v^t \dot{z}_{imj}^r + Z_{imj}^{w,r}, \end{aligned} \quad (7)$$

где m_g^r – приведенная масса пути в горизонтальном направлении;
 m_v^r – приведенная масса пути в вертикальном направлении;
 k_g^t – коэффициент жесткости пути в горизонтальном направлении;
 k_v^t – коэффициент жесткости пути в вертикальном направлении;
 β_g^t – коэффициент вязкости пути в горизонтальном направлении;
 β_v^t – коэффициент вязкости пути в вертикальном направлении.

Силовое взаимодействие колеса и соответствующего гребня в направлении координаты ϕ_i моделировалось постоянным моментом сопротивления M_c в узле их соприкосновения.

Результаты многочисленных исследований [10-16] свидетельствуют о том, что тангенциальные силы взаимодействия деформируемых колес и рельсов могут быть выражены через относительные скорости проскальзывания в точках контакта. Современные модели касательных сил в контакте колесо-рельс (сил крипа) основаны на нелинейных зависимостях вида

$$F_{x,y} = f(N, \varepsilon_x, \varepsilon_y, \phi, p), \quad (8)$$

где F_x, F_y – продольная и поперечная силы крипа, действующие в касательной к точке контакта плоскости;

N – нормальная реакция в точке контакта;

$\varepsilon_x, \varepsilon_y$ – продольная и поперечная составляющие относительного проскальзывания в точке контакта;

ϕ – спин;

p – набор геометрических параметров, характеризующих профили колеса и рельса в точке контакта.

Составляющие относительных проскальзываний в точках контакта соответственно в продольном ε_x и поперечном ε_y направлениях и полное относительное проскальзывание ε рассчитывались по следующим зависимостям:

$$\varepsilon_x = \frac{v_{ck.x}}{v}, \quad \varepsilon_y = \frac{v_{ck.y}}{v}, \quad \varepsilon = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2}, \quad (9)$$

где $v_{ck.x}$, $v_{ck.y}$ – соответствующие компоненты скорости точки колеса в точке контакта относительно рельса;

v – скорость продольного движения колесной пары.

В составленной математической модели расчет сил крипа каждой колесной пары осуществлялся по следующим нелинейным аналитическим зависимостям с заданием коэффициента крипа k_c по Мюллеру [17, 20]:

$$k_c = P \cdot (235 - P \cdot (2,4 - 0,01 \cdot P)), \quad (10)$$

$$P = 0.001 \cdot N,$$

$$F_{xy} = -\frac{1000 \cdot k_c}{(1 + (k_c \cdot \varepsilon / f / P)^m)^{1/m}},$$

$$F_x = -\varepsilon_x \cdot F_{xy}, \quad F_y = -\varepsilon_y \cdot F_{xy}.$$

Рекомендуемые значения параметра $m = 3, 4$ [16].

F_{xy} , F_x , F_y – соответственно сила крипа в точке контакта и ее продольная и поперечная составляющие,

f – коэффициент трения.

Относительные проскальзывания в точках контакта определялись следующим образом:

- в основном контакте колеса с рельсом

$$\varepsilon_{yi} = \frac{1}{v} \cdot \left(\left(\dot{y} - \dot{y}_{Pi} \right) - v \cdot \psi - r_i \cdot \dot{\phi}_i \cdot \psi \right), \quad (11)$$

$$\varepsilon_{xi} = \frac{1}{v} \cdot \left[(-1)^{i-1} \cdot S \cdot \dot{\psi} + (-1)^{i-1} \cdot \frac{v \cdot (y - y_{Pi})}{r_i} + (-1)^{i-1} \cdot \dot{\phi}_i \cdot \lambda \cdot (y - y_{Pi}) + r_i \cdot \dot{\phi}_i \right], \quad (12)$$

где r_i – текущий радиус качения левого ($i = 1$) и правого ($i = 2$) колеса:

$$r_i = r + (-1)^i \cdot y \cdot \lambda \quad (13)$$

- в гребневом контакте

$$\varepsilon_{xi}^e = \frac{1}{v} \cdot [v + (-1)^{i-1} \cdot S \cdot \dot{\psi} - r_{zi} \cdot \dot{\phi}_{zi}], \quad (14)$$

$$\varepsilon_{yi}^e = \frac{1}{v} \cdot \left(\left(\dot{y} - \dot{y}_{pi} \right) - v \cdot \dot{\psi} - r_{zi} \cdot \dot{\phi}_{zi} \cdot \dot{\psi} \right), \quad (15)$$

где r_{zi} – расстояние от точки гребневого контакта до оси вращения гребня.

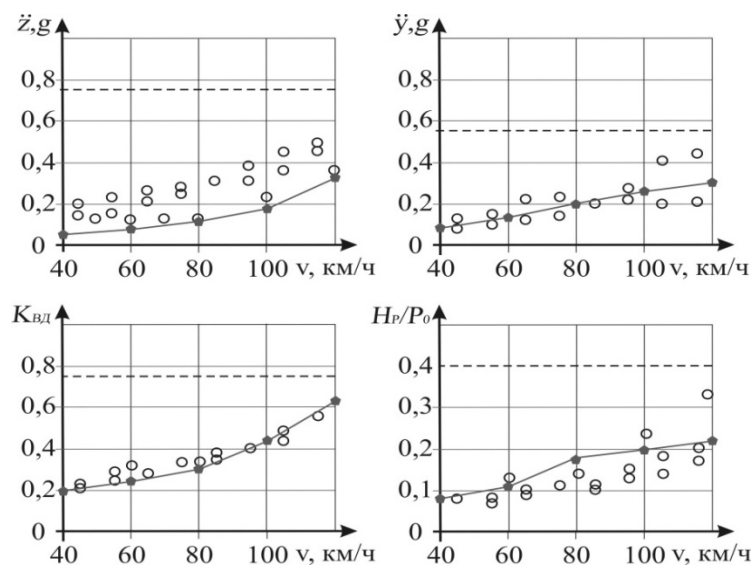
Направление векторов скоростей проскальзываний и сил крипа в гребневых контактах определялись в соответствии с установленными особенностями движения колес ПКС [1, 2].

Координаты φ_1 и φ_2 принимались как малые углы поворота колес относительно общей оси колесной пары при учете ее конечной крутильной жесткости C_0 .

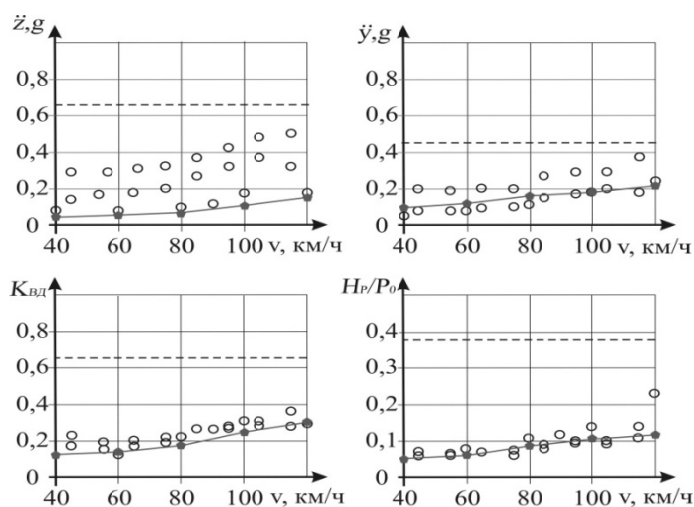
Для интегрирования системы уравнений был использован двухшаговый метод Рунге-Кутты второго порядка [17], применение которого обусловлено наличием в моделируемой системе большого числа пружин большой жесткости, односторонних ограничителей с зазорами и элементов сухого трения, делающих часть системы уравнений негладкой. Шаг интегрирования подбирался экспериментально и обычно принимался равным нескольким сотысячным долям секунды.

На базе составленной математической модели разработано программное обеспечение для ЭВМ, реализующее интегрирование приведенных выше уравнений движения экипажа и проведены предварительные расчеты.

На рис. 2 показаны результаты сравнения некоторых расчетных динамических показателей с данными экспериментов соответственно для порожнего (а) и груженого (б) состояния вагона для случая его движения в прямом участке пути.



а) порожний вагон



б) грузный вагон

○ – экспериментальные данные ● – теоретические значения

Рис. 2. Результаты сравнения динамических показателей

Кружками показаны значения соответствующих показателей, полученных в результате натурных испытаний, сплошными линиями – по результатам расчетов на математической модели. Горизонтальными пунктирными линиями показаны допустимые величины соответствующих динамических показателей.

В качестве экспериментальных приняты значения динамических показателей полувагонов, полученных при проведении натурных испытаний на железных дорогах Украины и Российской Федерации коллективами ДЕТУТа, ДИИТа и МИИТа, доступные из литературных источников [6, 7, 18-20].

Расчетные зависимости от скорости движения общего удельного сопротивления движению порожнего и грузного вагона с колесами разных конструктивных схем показаны на рис. 3–6.

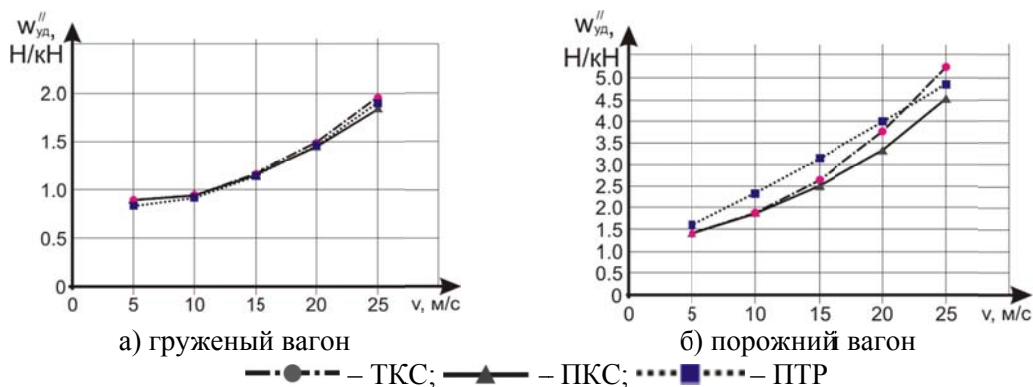


Рис. 3. Общее удельное сопротивление движению вагона в прямом участке пути

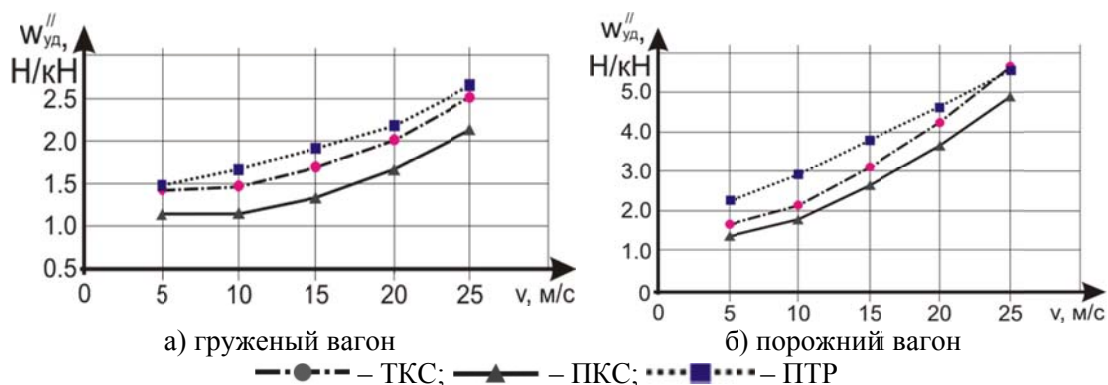


Рис. 4. Общее удельное сопротивление движению вагона в кривой R= 1200 м

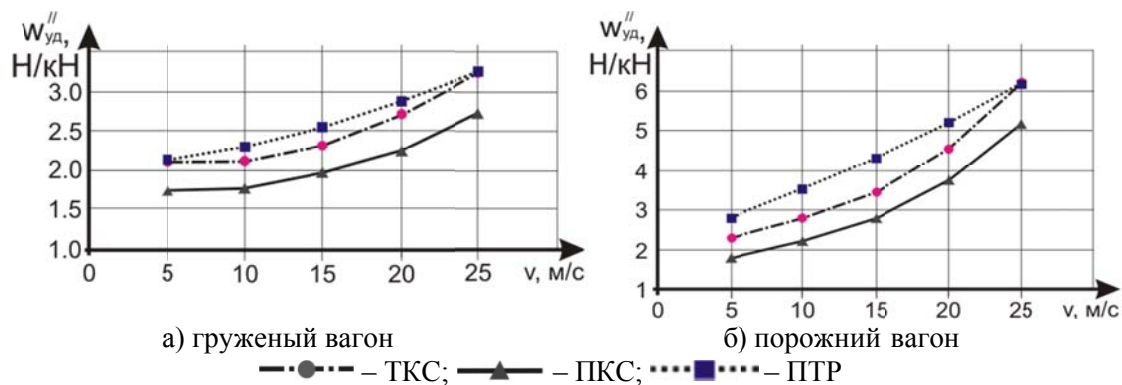


Рис. 5. Общее удельное сопротивление движению вагона в кривой R= 750 м

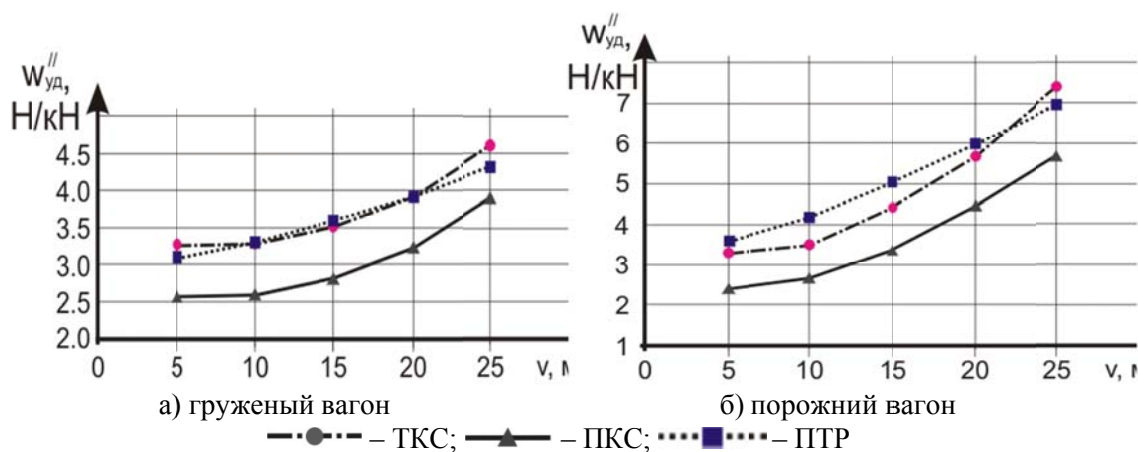


Рис. 6. Общее удельное сопротивление движению вагона

в кривой R= 350 м

Исходя из анализа построенных графиков установлено, что значения общего удельного сопротивления при движении порожнего и груженого вагона с колесами ПКС на различных режимах движения ниже, чем значения этого показателя с колесами ТКС при тех же условиях. В прямых участках пути это снижение может составить в зависимости от скорости движения 10...12% для груженого вагона и 13...15% для порожнего вагона. В кривых радиусом 350 м, 750 м и 1200 м – соответственно 20...22% и 23...25%, 16...18% и 17...19%, 13...15% и 14...16%.

Наблюдается достаточно близкое совпадение характера расчетных кривых и эмпирических, полученных по формулам ПТР. Количественное соответствие расчетных и экспериментальных значений рассматриваемых величин также удовлетворительно – максимальное расхождение результатов не превышает 9 % для груженого вагона и 16 % для порожнего вагона. Это также подтверждает пригодность составленной математической модели и программного обеспечения для решения поставленных задач.

Выводы. Вышеизложенные результаты математического моделирования свидетельствуют о том, что применение колес ПКС в ходовых частях рельсовых экипажей может позволить уменьшить сопротивление движению рельсового подвижного состава за счет минимизации дифференциального кинематического проскальзывания гребней колес по рельсам. Это подтверждает целесообразность использования колес ПКС в экипажных частях рельсовых транспортных средств для снижения затрат на тягу поездов и уменьшение износа контактирующих поверхностей гребней колес и боковых граней головок рельсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mikhailov E.* The possibility of reducing kinematic slip with two-point contacting with rail wheel railway vehicle./ Mikhailov E., Semenov S., Panchenko E.// TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Vol. 13, No. 1, Poland 2013. – pp. 108 – 112.
2. *Михайлов Е.В.* Математическое моделирование движения колесной пары с подвижными гребнями / Е.В.Михайлов, А.Г.Рейдемейстер, С.А.Семенов, К.В.Макаров // Вісник СХУ ім.В.Даля. – 2014. – № 3 (210). – С.181–186.
3. *Пат. 87418* Україна, МПК2013 В60 В17/00. Колесо рейкового транспортного засобу / Михайлов Е.В., Слащов В.А., Горбунов М.І., Мокроусов С.Д., Щербаков В.П., Коршко М.М., Семенов С.О., Солодовнік М.Д.; заявник та патентовласник Східноукр. нац. у-нт ім. В. Даля. – № u201309109; заявл. 19.07.2013; опубл. 10.02.2014, бюл. № 3. – 7 с.
4. *Фомін О.В.* Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
5. *Fomin, O.* Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O.V. Fomin, O.V. Burlutsky, Yu.V. Fomina / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 2 – P. 250–256.
6. *Мороз В.І.* Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» //Зб. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ. – 2008. – С. 72–81.
7. *Фомін, О.В.* Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів/ О.В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54) – С. 146–153.
8. *Голубенко А.Л.* Сцепление колеса с рельсом.—Луганск: ВУГУ, 1999.—476 с.
9. *Ткаченко В.П.* Кинематическое сопротивление движению рельсовых экипажей. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1996. – 200 с.
10. *Вершинский С.В.* Динамика вагона: Учебник для вузов ж. – д. трансп./ С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, В.Д. Хусидов// Под. ред. Вершинского С.В. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
11. *Данович В.Д.* Пространственные колебания вагонов на инерционном пути: Автореф. дис. д.т.н. – Днепропетровск, 1982. – 44 с.

12. Данович В.Д. Математическая модель взаимодействия колеса и рельса/ В.Д. Данович, А.Г. Рейдемейстер // Трансполрт. Збірник наук. праць ДПТУ.Вип.2.-Дніпропетровськ: «Наука і освіта», 1999. – С. 17–22.
13. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств / Под ред. В.Ф. Ушкалова. – К.: Наукова думка, 1989. – 240 с.
14. Мямлин С.В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. – Днепропетровск: Новая идеология, 2002. – 240 с.
15. Рейдемейстер О.Г. Вплив параметрів ходових частин та форми профілю поверхні катання коліс на динамічні показники вантажних вагонів та знос в парі «колесо–рейка»: Дис.канд.техн.наук. – Дніпропетровськ, 2000. – 185 с.
16. Универсальный механизм 6.0. Моделирование динамики железнодорожных экипажей. Руководство пользователя. -2010. – 205 с.
17. Исаков В.Б. Численные методы: учебное пособие. М.: Академия, 2003. – 192 с.
18. Бубнов В.М. Динамика грузовых вагонов на тележках модели 18-1711/ В.М.Бубнов, С.В.Мямлин, Н.Б.Манкевич// Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп.73-ї Міжнар. науково-практ. конф., 23-24 травня 2013 р., -Дніпропетровськ:ДНУЗТ,2012. – С. 74–75.
19. Манкевич Н.Б. Усовершенствование конструкции литых деталей двухосных тележек грузовых вагонов: Дисс. канд.техн. наук.- Днепропетровск, 2015. – 263 с.
20. Ушкалов В.Ф. Расчетные возмущения для оценки динамических качеств грузовых вагонов / В.Ф. Ушкалов, Л.Г. Лапина, И.А. Машенко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2013, вип. 4 (46). – С. 135 – 144.

Stanislav Semenov

(Senior Lecturer of Chair «Logistics Management and Traffic Safety in Transport», East-Ukrainian National University Named After Volodymyr Dahl)

Evgenyj Mykhailov, PhD (Technical Sciences), Associate Professor

(Associate Professor of Chair «Logistics Management and Traffic Safety in Transport», East-Ukrainian National University Named After Volodymyr Dahl)

Aleksej Reidemeister, PhD (Technical Sciences), Associate Professor

(Associate Professor Railway Cars Chair, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan)

RESEARCH OF RESISTANCE TO MOVEMENT THE WAGON WITH WHEELS OF VARIOUS CONSTRUCTIVE SCHEMES

In the work the researches of resistance to movement of the wagon with wheels of various constructive schemes by mathematical modeling are carried out. Potential advantages are revealed when using perspective constructive schemes in the running gear.

Keywords: wagon, constructive scheme, mathematical modeling, resistance, indicators, equations of motion.

REFERENCES

1. Mikhailov E., Semenov S., Panchenko E. *The possibility of reducing kinematic slip with two-point contacting with rail wheel railway vehicle*. TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Vol. 13, No. 1, Poland 2013. – pp. 108 – 112.
2. Mikhajlov E.V., Rejdemejster A.G., Semenov S.A., Makarov K.V. *Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya kolesnoj pary s podvizhnymi grebnymi* [Mathematical modeling of the movement of the pair of wheels with movable combs] // *Visnik SNU im.V.Dalya* [Bulletin of SNU named after V. Dahl]. – 2014. – № 3 (210). – pp.181–186.
3. Mikhajlov E.V., Slashhov V.A., Gorbunov M.I., Mokrousov S.D., Sherbakov V.P., Korshko M.M., Semenov S.O., Solodovnik M.D. *Koleso rejkovogo transportnogo zasobu* [The wheel of the rail vehicle] Patent UA, no. u201309109, 2013.

4. Fomin, O.V. *Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv* [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
5. Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V. *Development and application of cataloging in structural design of freight car building* // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, no. 2, pp. 250–256.
6. Moroz, V. I. (2008). *Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstruktii napivvagoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon»* [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE «Ukrspetsvagon»]. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu, 72-81.
7. Fomin O.V. *Analiz dotsilnosti zastosuvannia shestyhrannykh porozhnistykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system napivvagoniv* // Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana, Nauka ta prohres transportu, 6 (54). – 2014. – C. 146-153.
8. Golubenko A.L. *Stseplenie kolea s rel'som* [The adhesion of wheel and rail]. Lugansk: VUGU Publ., 1999. 476 p.
9. Tkachenko V.P. *Kinematicheskoe soprotivlenie dvizheniyu rel'sovykh ehkipazhej* [Kinematic resistance to movement of rail crews]. Lugansk: VUGU Publ., 1996. 200 p.
10. Vershinskij S.V., V.N. Danilov, V.D. Husidov *Dinamika vagona* [Vagon Dynamic]: Uchebnik dlja vuzov zh. – d. transp./ Pod. red. Vershinskogo S.V. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Transport, 1991. – 360 s.
11. Danovich V.D. *Prostranstvennye kolebanija vagonov na inercionnom puti*. Dokt. Diss. [Spatial oscillations of wagons on the inertial track]. Dnepropetrovsk, 1982. – 44 s.
12. Danovich V.D., Rejdemejster A.G. *Matematicheskaja model' vzaimodejstvija kolea i rel'sa* [Mathematical model of wheel and rail interaction] Transpolrt. Zbirnik nauk. prac' DIITU. Vip.2. Dnipropetrovsk: «Nauka i osvita», 1999.- S.17-22.
13. Ushkalov V.F. *Matematicheskoe modelirovanie kolebanij rel'sovykh transportnykh sredstv* [Mathematical modeling oscillations of rail vehicles] / Pod red. V.F. Ushkalova. – K.: Naukova dumka, 1989. – 240 s.
14. Mjamlin S.V. *Modelirovanie dinamiki rel'sovykh jekipazhej* [Modeling the dynamics of rail vehicles]. – Dnepropetrovsk: Novaja ideologija, 2002. – 240 s.
15. Rejdemejster O.G. *Vpliv parametriv hodovih chastin ta formi profilju poverhni katannja kolis na dinamichni pokazniki vantazhnih vagoniv ta znos v pari «koleso–rejka»*: Dis.kand.tehn.nauk. [Influence of parameters the running parts and the shape profile the rolling surface of wheels on dynamic characteristics of freight cars and wear in a pair of «wheel-rail»]. Dnipropetrovsk, 2000. -185 s.
16. Universal'nyj mehanizm 6.0. *Modelirovanie dinamiki zheleznodorozhnykh jekipazhej*. Rukovodstvo pol'zovatelja. -2010. – 205 s.
17. Isakov V.B. *Chislennye metody* [Numerical methods]. M.: Akademija, 2003. – 192 s.
18. Bubnov V.M., Mankevich N.B. *Dinamika gruzovykh vagonov na telezhkah modeli 18-1711* [Dynamics of freight cars on trolleys of model 18-1711]. Problemi ta perspektivi rozvitku zaliznychnoho transportu [Problems and prospects development of railway transport]: tezi dop.73 of Mizhnar. naukovoprakt. konf., 23-24 travnja 2013 r., -Dnipropetrovsk:DNUZT,2012.-S.74-75.
19. Mankevich N.B. *Usovershenstvovanie konstrukcii lityh detalej dvuhosnykh telezhek gruzovykh vagonov*: Diss. kand.tehn. nauk [Improvement the design of cast parts two-axle trolleys of freight wagons]. Dnepropetrovsk, 2015.-263 s.
20. Ushkalov V.F., Lapina L.G., Mashhenko I.A. *Raschetnye vozmushhenija dlja ocenki dinamicheskikh kachestv gruzovykh vagonov* [Estimated disturbances for the evaluation of dynamic qualities of freight wagons] Visnyk Dnipropetrovskogo nacional'nogo universitetu zaliznychnoho transportu [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2013, vip. 4 (46). – S. 135 – 144.

УДК 629.4.077-592

*Д. І. Волошин, к.т.н., доцент
(доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків)
І. М. Афанасенко
(старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків)
Я. В. Дерев'янчук
(асистент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків)*

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЛЬМІВНОЇ ВАЖІЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

У статті розглянуті технічні і конструкційні недоліки гальмової важільної передачі вантажного рухомого складу. Наведені переваги та недоліки різних типів колодок.

Встановлення композиційних колодок на вагони, важільна передача яких має передаточне число для чавунних колодок може привести до заклинання колісних пар, утворення повзунів, а також загрожує безпеці руху. Оптимізація гальмівної важільної передачі під композиційні колодки не тільки спростить конструкцію, технічне обслуговування і ремонт, зменшить її вагу та вартість, а й підвищить безпеку руху.

Проведена оцінка зусиль, що діють у типовій конструкції важільної передачі універсального вагона платформи при різних типах гальмівних колодок, розраховані на міцність за допомогою скінчено-елементного методу найбільш вагомі елементи механічної передачі.

Запропоновано, використовуючи можливості програмного комплексу Femap Siemens PLM Software, оптимізувати елементи гальмівної важільної передачі. Реалізований приклад топологічної оптимізації елементів гальмівної важільної передачі вантажного вагона.

Зроблений висновок, що модернізація елементів механічної передачі під композиційні колодки дозволить спростити їх конструкцію, технічне обслуговування та ремонт, зменшить їхню вагу і вартість, а також покращить безпеку руху.

Ключові слова: гальмівна важільна передача, вантажний вагон, гальмові колодки, міцність, оптимізація.

В статье рассмотрены технические и конструкционные недостатки тормозной рычажной передачи грузового подвижного состава. Приведены преимущества и недостатки разных типов колодок.

Установка композиционных колодок на вагоны, рычажная передача которых имеет передаточное число для чугунных колодок, может привести к заклинива-

© Волошин Д. І., Афанасенко І. М., Дерев'янчук Я. В., 2017

нию колесных пар, а также угрожает безопасности движения. Оптимизация тормозной рычажной передачи под композиционные колодки не только упростит конструкцию, техническое обслуживание и ремонт, уменьшит ее вес и стоимость, но и улучшит безопасность движения.

Проведена оценка усилий, действующих в типовой конструкции рычажной передачи универсального вагона платформы при различных типах тормозных колодок, рассчитаны на прочность с помощью конечно-элементного метода наиболее весомые элементы механической передачи.

Предложено, используя возможности программного комплекса Femap Siemens PLM Software, оптимизировать элементы тормозной рычажной передачи. Реализован пример топологической оптимизации элементов тормозной рычажной передачи грузового вагона.

Сделан вывод, что модернизация элементов механической передачи под композиционные колодки позволит упростить их конструкцию, техническое обслуживание и ремонт, уменьшит их вес и стоимость, а также улучшит безопасность движения.

Ключевые слова: тормозная рычажная передача, грузовой вагон, тормозные колодки, прочность, оптимизация.

Постановка проблеми. Гальмова важільна передача (ГВП) сучасних вагонів – це система тяг і важелів, за допомогою яких зусилля від ручного, пневматичного або електропневматичного гальма передається на гальмівні колодки або накладки, які притискаються до коліс.

При швидкостях руху до 120 км/год доцільно використовувати гальмо з одностороннім натисненням колодок, тому здебільшого усі вантажні вагони мають одностороннє натиснення. Перевагами ГВП із таким натисненням колодок є проста будова та невелика маса, до недоліків слід віднести негативний вплив на роботу буксового вузла та обмеження по тепловому режиму. Типова схема ГВП вантажного універсального вагона зображена на рис. 1.

У наш час, набули широкого застосування фрикційні колодки двох типів: чавунні та композиційні.

Стандартні чавунні колодки, що обертаються зі швидкістю до 120 км/год, застосовують переважно на пасажирських вагонах та на локомотивах. До переваг цих фрикційних елементів відносять: хороший відвід тепла, що виділяється при гальмуванні, і відсутність впливу вологи на коефіцієнт тертя. У той же час такі колодки мають нестабільний коефіцієнт тертя, що знижується зі зростанням швидкості. Це, зокрема, призводить до необхідності застосування на швидкісному рухомому складі складних і коштовних регуляторів сил натискання колодок залежно від швидкості руху. Крім того, чавунні колодки швидко зношуються, що вимагає великого обсягу робіт по заміні і регулюванню важільних передач.

Композиційні гальмівні колодки порівняно з чавунними отримали значно ширше застосування, оскільки вони мають вищий коефіцієнт тертя, менше зусилля натискання і кращу зносостійкість, у декілька разів вищий термін служби, меншу вагу, вартість, а також забезпечують безшумне та плавне гальмування поїзда.

Композиційні гальмівні колодки застосовують на всіх вантажних вагонах, а також на пасажирських вагонах, які експлуатуються при швидкостях понад 120 км/год. Вони в три–п'ять разів зносостійкіші, ніж чавунні, що відповідно знижує обсяг робіт по заміні та регулюванню важільних передач, і володіють підвищеними стабільністю та величиною коефіцієнта тертя щодо швидкості руху. Це збільшує гальмівну ефективність поїздів, полегшує технічне обслуговування та зменшує витрату стисненого пові-

тря, витраченого на гальмування завдяки зниженим зусиллям, що реалізується в ній, поліпшує керованість поїздів і невиснажливість їх гальмівних систем.

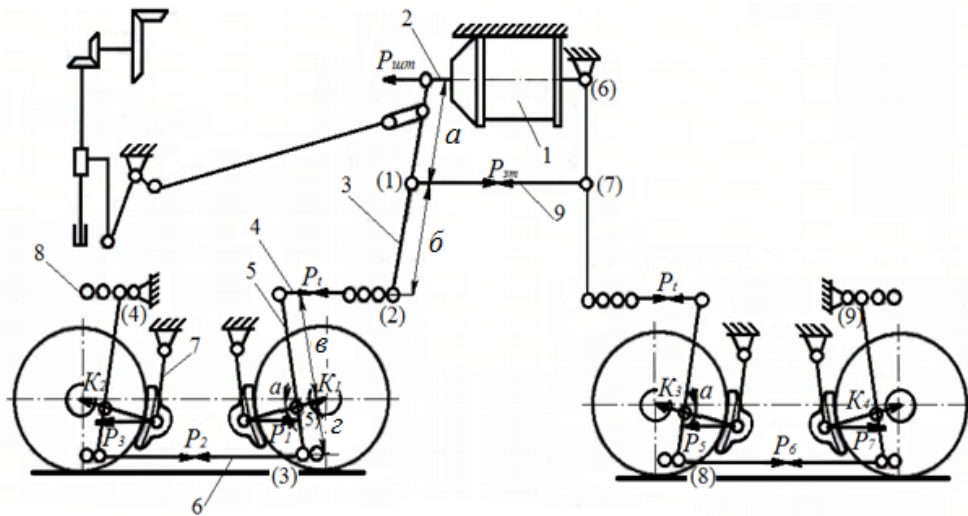


Рис. 1. Схема гальмової важільної передачі універсального вантажного вагона
1 – гальмівний циліндр; 2 – шток гальмівного циліндра; 3 – горизонтальний важіль; 4 – тяга;
5 – вертикальний важіль; 6 – затяжка вертикальних важелів; 7 – підвіска башмака; 8 – серги;
9 – криволінійна затяжка горизонтальних важелів

Горизонтальні важелі і їх затяжка мають отвори, що дозволяють змінювати її передаточне число. Для чавунних гальмівних колодок передаточне число більше, і елементи гальмівної важільної передачі передають значно більші зусилля, що збільшує їх вагу, вартість та ускладнює технічне обслуговування й ремонт.

Встановлення композиційних колодок на вагони, важільна передача яких має передаточне число для чавунних колодок, може привести до заклинення колісних пар, утворення повзунів, що руйнують рейки, рухомий склад, та загрожують безпеці руху. Також викликають несприятливі температурні режими на поверхні кочення коліс, що викликають їх пошкодження у вигляді наварів, зрушень металу, мікротріщин та інші. Таким чином, оптимізація ГВП під композиційні колодки не тільки спростить конструкцію, технічне обслуговування і ремонт, зменшить її вагу та вартість, а й покращить безпеку руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню удосконалення гальм рухомого складу присвячені роботи П. С. Анісимова [1], В. Р. Асадченко [2], А. М. Бабаєва, Д. В. Дмитрієва [3], В. М. Казарінова [4], В. А. Юдіна та інших учених. Вагомий вклад в широке застосування композиційних колодок внесли В. Г. Іноземцев, Л. О. Вуколов [5, 7]. Задачі удосконалення та оптимізації елементів рухомого складу розглядаються в роботах О.В. Фоміна [9–12] та інших.

Викладення основного матеріалу статті.

Для обґрунтованого дослідження доцільності удосконалення ГВП авторами проведена оцінка зусиль, що діють у типовій конструкції важільної передачі універсального вагона платформи при різних типах гальмівних колодок, розраховані на міцність за допомогою скінчено-елементного методу (СЕМ) найбільш вагомим елементом механічної передачі. Використовуючи можливості програмного комплексу реалізований приклад топологічної оптимізації елементів ГВП.

Максимальні зусилля, що діють на штоці гальмівного циліндра при i -тому типі гальмівних колодок розраховуються [12] за формулою

$$P_{um}^i = p^i \frac{\pi d^2}{4}, \quad (1)$$

де p^i – тиск у гальмівному циліндрі при i -тому типі гальмівних колодок, МПа, згідно [6] допустима величина тиску при композиційних колодках $p^k = 340 \text{ кПа}$, для чавунних колодок $p^u = 450 \text{ кПа}$.

d – діаметр штоку гальмівного циліндра, м, для типових вантажних вагонів $d = 0,356 \text{ м}$.

Для визначення зусиль, які діють на затяжку горизонтальних важелів та самі важелі, розглянемо розрахункову схему (рис. 1).

$$P_{зат}^i = P_{um}^i \frac{a^i + b^i}{b^i}, \quad (2)$$

тут a^i, b^i – розміри плеч горизонтального важеля при i -тому типі колодки, м. При типовій конструкції горизонтального важеля $a^k = 0,195 \text{ м}$, $b^k = 0,465 \text{ м}$, $a^u = 0,260 \text{ м}$, $b^u = 0,400 \text{ м}$.

Навантаження, що діє посередині одного горизонтального важеля, дорівнює половині зусилля на затяжці цих важелів.

Результати розрахунку за формулами (1-2) для типової конструкції гальмівної важільної передачі вагона платформи наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Зусилля, що діють у гальмівній важільній передачі універсальної платформи при певних типах гальмівних колодок, кН

Параметр	Тип колодок ГВП		Різниця зусиль, %
	Чавунні	Композиційні	
Зусилля на штоці гальмівного циліндра, P_{um}^i	44,792	33,843	24
Зусилля на затяжці горизонтальних важелів, $P_{зат}^i$	73,907	48,035	35
Зусилля посередині горизонтального важеля, $P_{важ}^i$	36,954	24,018	35

Розрахунок на міцність горизонтального важеля та затяжки було виконано у програмному комплексі Femap Siemens PLM Software з вирішувачем NX Nastran. При оцінці міцності конструкції важеля без отвору під чавунні колодки використовувались скінчені елементи тетраедральної форми (54119 скінчених елементів, 36021 вузлів, мінімальний розмір грані скінченого елемента – 5 мм). Для розрахунку затяжки обрана спрощена скінчено-елементна модель у вигляді пластини, яка складається з 10914 скінчених елементів, 22365 вузлів, мінімальний розмір трикутника становить 5 мм. В якості матеріала використовувалась сталь Ст.3, з якої переважно виготовляються елементи ГВП, прийнято допущення про ізотропність та однорідність матеріалу. Скінчено-елементна модель навантажувалась попередньо розрахованими зусиллями (табл. 1), при цьому, зусилля вважались рівномірно розподіленими по вушку зони контакту з валиком, таке прикладення зусиль обумовлене припрацюванням елементів дотику. В

якості граничних умов використовувалось шарнірне закріплення в отворах під валики. Результати розрахунку наведені на рис. 2-3.

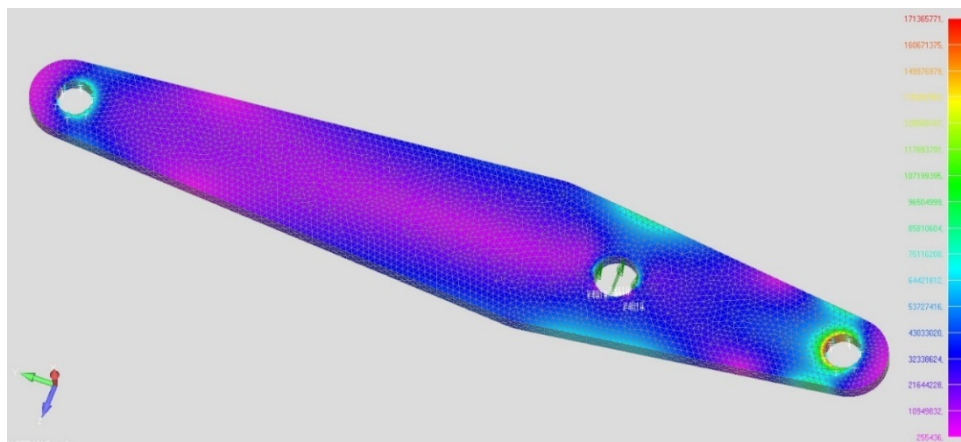


Рис. 2. Результати розрахунку горизонтального важеля при дії зусилля на середній отвір

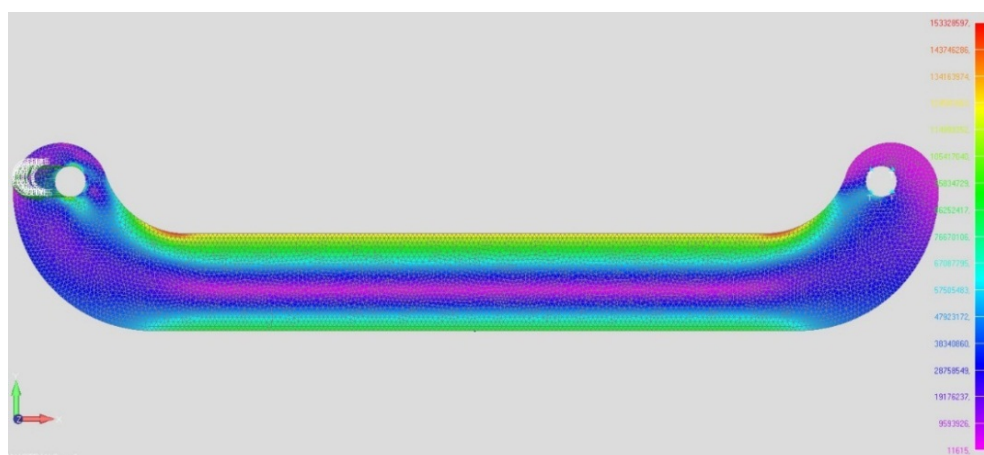


Рис. 3. Результати розрахунку зтяжки горизонтальних важелів на міцність

Порівнюючи отримані максимальні еквівалентні напруження (171 МПа та 153 МПа відповідно для горизонтального важеля та зтяжки, необхідно відмітити, що ці напруження локальні, виникають у місцях дотику з валиком або в зонах переходу, середні значення напружень мають меншу величину) з допустимими напруженнями для сталі Ст.3 $[\sigma]=0,95\sigma_T$ [14] $[\sigma]=190$ МПа можна зробити висновки про виконання умов міцності.

Такі елементи ГВП як горизонтальні важелі та їх зтяжка мають форму та розміри, характерні для універсальних вагонів (критий, напіввагон, платформа) і виготовляють з прокату штампуванням. Нові технології розкрою сталевих прокатів (плазмова, лазерна, гідроабразивна різка) дозволяють виготовляти елементи більш складної конфігурації. Ця обставина обумовлює можливість зміни форми елементів важільної передачі та раціонального розкрою прокатного листа.

Використовуючи можливості програмного комплексу Femap авторами проведено топологічну оптимізацію важеля та затяжки при забезпеченні умов міцності. Приклади результатів розв'язання такої задачі наведені на рис. 4–5.

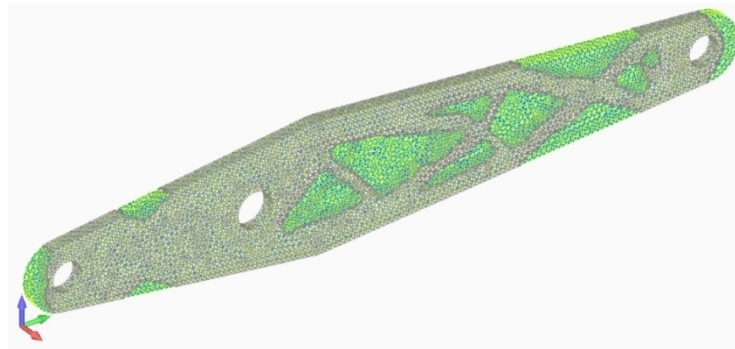


Рис. 4. Результат програмної топологічної оптимізації горизонтального важеля при зменшенні маси на 30%, виконаного за допомогою Femap

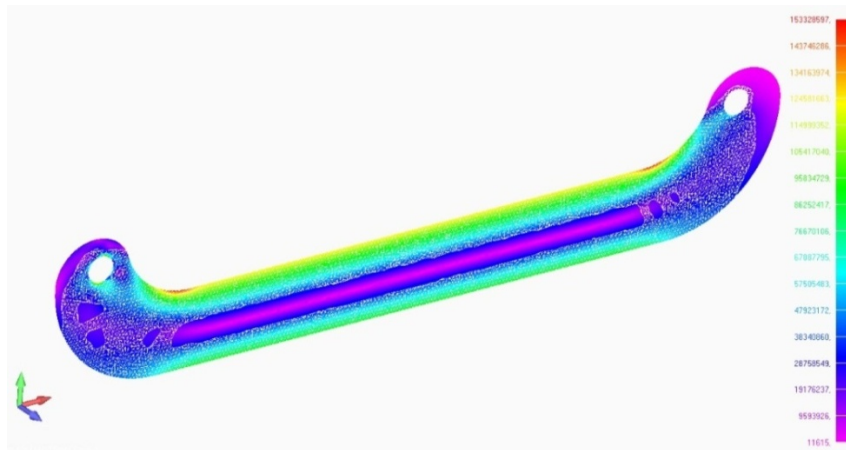


Рис. 5. Результат програмної топологічної оптимізації затяжки горизонтальних важелів при зменшенні маси на 30%

Висновки та перспективи подальших досліджень. Типова конструкція ГВП вантажних вагонів передбачає можливість застосування композиційних і чавунних колодок, але останнім часом усі вагони вантажного парку застосовують лише колодки композиційного типу. Модернізація елементів механічної передачі під композиційні колодки дозволить спростити їхню конструкцію, технічне обслуговування та ремонт, зменшить їхню вагу і вартість, а також покращить безпеку руху.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 *Анисимов П. С.* Расчет и проектирование механической и пневматической частей тормозов вагонов: учеб. пособие / П. С. Анисимов, В. А. Юдин, А. Н. Шамаков, С. Н. Коржин ; под. общ. ред. П. С. Анисимова. – М. : Маршрут, 2005. – 248 с.
- 2 *Асадченко В. Р.* Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава: учеб. пособие / В. Р. Асадченко. – М. : Маршрут, 2004. – 120 с.
- 3 *Бабаев А. М.* Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць: навч. посіб. / А. М. Бабаєв, Д. В. Дмитрієв. – К. : ДЕТУТ, 2007. – 176 с.

- 4 Казаринов В. М. Теоретические основы проектирования и эксплуатации тормозов / В. М. Казаринов, В. Г. Иноземцев, В. Ф. Ясенцев – М: Транспорт, 1968 – 400 с.
- 5 Иноземцев В. Г. Автоматические тормоза / В.Г. Иноземцев, В.М. Казаринов, В.Ф. Ясенцев. – М.: Транспорт, 1981. – 464 с.
- 6 Інструкція з ремонту гальмівного обладнання вагонів: ЦВ-ЦЛ-0013 : – Затв. нак. Укрзалізниці № 22-ЦЗ від 25.01.05. – вид. офіц. – К.: ТОВ Видавничий дім «САМ», 2005. – 160 с.
- 7 Вуколов Л. А. Фрикционные характеристики тормозных колодок из композиционных материалов без асбеста : // Тр. ВНИИЖТ / – 1987. – С. 27 – 33.
- 8 Киселев С. И. Температурные поля, деформации и напряжения в цельнокатанных вагонных колесах при различных режимах торможения: С.И. Киселев, В.Г. Иноземцев, С.Ю. Петров, А.С. Киселев // Вестн. ВНИИЖТ. – 1994. – № 7. – С. 13 – 17.
- 9 Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4 (193). – С. 267–271.
- 10 Fomin, O. Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O.V. Fomin, O.V. Burlutsky, Yu.V. Fomina / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 2 – P.250-256.
- 11 Фомін, О.В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів / О.В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54) – С. 146–153.
- 12 Кельріх, М.Б. Впровадження круглих труб в несучі системи критих вагонів з забезпеченням раціональних показників міцності / О.В. М.Б.Кельріх, О.В. Фомін // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 5/7(25) – С. 41–44.
- 13 Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм / – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 356 с.
- 14 Конструирование и расчет вагонов / Под ред. проф. Лукина В.В. / М.: УМК МПС России, 2000. – 731с.

Dmitri Voloshin, PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor of Cars Chair of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv)
Igor Afanasenko
(Senior Lecturer of Cars Chair of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv)
Iaroslav Derevianchuk
(Assistant of Cars Chair of Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv)

THE MODERNIZATION MECHANICAL BRAKE ELEMENTS OF FREIGHT CAR

The article deals with technical and design deficiencies of brake linkage of freight rolling stock. Advantages and disadvantages of different types of pads are given.

The installation of composite shoes on cars, the lever transmission of which has a gear ratio for cast-iron pads, can lead to jamming of wheel sets, and also threatens the safety of traffic. Optimizing the brake linkage under the composite pads will not only simplify the design, maintenance and repair, reduce its weight and cost, but also improve traffic safety.

The forces acting in the standard design of universal transmission of the platform car for various types of brake pads have been estimated, the most weighty elements of the mechanical transmission have been calculated with the help of the finite element method.

It is proposed, using the capabilities of the Femap Siemens PLM Software, to optimize the elements of the brake linkage. An example of topological optimization of brake linkage elements of a freight car is implemented.

It is concluded that the modernization of the elements of mechanical transmission under the composite pads will simplify their design, maintenance and repair, reduce their weight and cost, and improve traffic safety.

Key words: brake linkage, freight car, brake pads, strength, optimization.

REFERENCES

- 1 Anisimov P. S. Raschet i proektirovanie mexanicheskoy i pnevmaticheskoy chastej tormozov vagonov: ucheb. posobie [Calculation and design mechanical and pneumatic parts of the brakes wagons]/ P. S. Anisimov, V. A. Yudin, A. N. Shamakov, S. N. Korzhin ; pod. obshh. red. P. S. Anisimova. – M. : Marshrut, 2005. – 248 s.
- 2 Asadchenko V. R. Raschet pnevmaticheskix tormozov zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava: ucheb. posobie [Calculation pneumatic brakes of railway rolling stock]/ V. R. Asadchenko. –M. : Marshrut, 2004. – 120 s.
- 3 Babaev A. M. Princip dii, rozrakhunki ta osnovi ekspluatatsii galm ruxomogo skladu zaliznic: navch. posib. [The principle of operation, calculations and bases operating brake, for rail transport]/ A. M. Babaev, D. V. Dmitriev. – K. : DETUT, 2007. – 176 s.
- 4 Kazarinov V. M. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya i ekspluatatsii tormozov [Theoretical basis of design and operation brakes]/ V. M. Kazarinov, V. G. Inozmecev, V. F. Yasencev – M: Transport, 1968 – 400 s.
- 5 Inozemcev V. G. Avtomaticheskije tormoza [Automatic brakes]/ V.G. Inozemcev, V.M. Kazarinov, V. F. Yasencev. – M. Transport, 1981. – 464 s.
- 6 Instrukciya z remontu galmivnogo obladnannya vagoniv: CV-CL-0013 [Manual braking equipment repair cars]: – Zatv. nak. Ukrzaliznici №22-CZ vid 25.01.05. – vid. ofic. – K.: TOV Vidavnichij dim «SAM», 2005. – 160 s.
- 7 Vukolov L. A. Frikcionnye xarakteristiki tormoznyx kolodok iz kompozicionnyx materialov bez asbesta: [Friction characteristics brake shoes made of composite materials without asbestos]/ Tr. VNIIZhT / – 1987. – S. 27...33.
- 8 Kiselev S. I. Temperaturnye polya, deformacii i napryazheniya v celnokatannyx vagonnyx kolesax pri razlichnyx rezhimakh tormozheniya [Temperature fields, deformations and stresses in solid-rolled car wheels under different braking regimes]: S.I. Kiselev, V.G. Inozemcev, S.Yu. Petrov, A.C. Kiselev // Vestn. VNIIZhT. – 1994. – №7. – S. 13... 17.
- 9 Fomin, O.V. Konceptciya ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
- 10 Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V. Development and application of cataloging in structural design of freight car building // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, no. 2, pp. 250–256.
- 11 Fomin O. V. Analiz dotsilnosti zastosuvannya shestyhrannykh porozhnystykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system napivvagoniv //Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana, Nauka ta prohres transportu, 6 (54). – 2014. – C. 146-153.
- 12 Kel'rikh M.B. (2015) Vprovadzhennya kruhlykh trub v nesuchi systemy krytykh vahoniv z zabezpechenniam ratsional'nykh pokaznykiv mitsnosti [Introduction of round pipes in the bearing systems of covered wgons with providing rational indicators of durability]. Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva [Technological audit and reserves of production]. Kharkiv, No 5/7(25), p.p. 41-44.
- 13 Normy rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznix dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) s izmenenijami i dopolnenijami [Norms calculating and designing railways carriages IPS gage railway 1520 mm(nesamohodnuh) s Changes and additions]./ – M.: GosNIIV-VNIIZhT, 1996. – 356 s.
- 14 Konstruirovanie i raschet vagonov [Construction and calculation cars]/ Pod red. prof. Lukina V.V. / – M.: UMK MPS Rossii, 2000. – 731 s.

УДК 621.43+621.43.016.4+681.518+629.113+656.3.44.083

- В. П. Волков, д.т.н., професор**
(завідувач кафедри технічна експлуатація і сервіс автомобілів,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет)
- О. В. Сараєв, д.т.н., професор**
(декан автомобільного факультета, Харківський національний
автомобільно-дорожній університет)
- І. В. Грицук, д.т.н., доцент**
(доцент кафедри технічна експлуатація і сервіс автомобілів,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет)
- Ю. В. Грицук, к.т.н., доцент**
(в.о. завідувача кафедри загальної інженерної підготовки, Донбаська
національна академія будівництва і архітектури)
- С. В. Данець**
(завідувач сектору автотехнічних досліджень Харківського науково-
дослідного експертно-криміналістичного центру Міністерства внутрішніх
справ України)

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ І ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ОБСТАВИН ДОРОЖНЬО- ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

Обґрунтована концепція використання інтелектуальної транспортної інформаційної системи у проведенні автотехнічних досліджень. Запропонований підхід в умовах експлуатації дозволяє визначити вплив основних етапів обробки отриманої інформації про технічний стан транспортного засобу за допомогою інформаційного програмного комплексу, а саме: проводить ідентифікацію транспортного засобу в оточуючому просторі, забезпечує моніторинг нестационарних умов експлуатації; збирає вихідні дані про параметри технічного стану і положення у просторі транспортного засобу в умовах експлуатації; прогнозує параметри стану транспортного засобу; виконує ідентифікацію умов експлуатації; діагностує технічний стан, збирає повідомлення і дані діагностування транспортного засобу; перевіряє відповідність дійсного стану транспортного засобу отриманим параметрам і умовам експлуатації та в процесі виконання моніторингу. Запропонована в статті система загального інформаційного забезпечення процесів моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів забезпечує повноцінний збір і обробку інформації в реальному часі від бортової інформаційної системи моніторингу, розміщеної на транспортному засобі, а також від системи збору інформації, що працює у взаємодії із водієм та інфраструктурою транспорту і автомобільних доріг на основі поточного стану дорожніх, транспортних, кліма-

© Волков В.П., Сараєв О.В., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Данець С.В., 2017

тичних умов експлуатації й технічних споруд, в процесах порівняння з нормативними даними та даними попереднього контролю; відображає обстановку на ділянці руху автомобіля і результати аналізу в реальному часі і за відповідними запитами; ідентифікує передаварійний і аварійний стан шляху; архівує результати моніторингу; розробляє рекомендації щодо швидкісного режиму на ділянках руху транспортних засобів за результатами проведеного аналізу.

Ключові слова: дорожній транспортний засіб, експлуатація, моніторинг, технічний стан, інфраструктура, пригода, параметри, точність.

Обоснована концепция использования интеллектуальной транспортной информационно-системы в проведении автотехнических исследований. Предложенный подход в условиях эксплуатации позволяет определить влияние основных этапов обработки полученной информации о техническом состоянии транспортного средства с помощью информационного программного комплекса, а именно проводит идентификацию транспортного средства в окружающем пространстве, обеспечивает мониторинг нестационарных условий эксплуатации; собирает исходные данные о параметрах технического состояния и положения в пространстве транспортного средства в условиях эксплуатации; прогнозирует параметры состояния транспортного средства; выполняет идентификацию условий эксплуатации; диагностирует техническое состояние, собирает сообщения и данные диагностики транспортного средства; проверяет соответствие действительного состояния транспортного средства полученным параметрам и условиям эксплуатации и в процессе выполнения мониторинга. Предложенная в статье система общего информационного обеспечения процессов мониторинга параметров технического состояния транспортных средств обеспечивает полноценный сбор и обработку информации в реальном времени от бортовой информационной системы мониторинга, размещенной на транспортном средстве, а также от системы сбора информации, работает во взаимодействии с водителем и инфраструктурой транспорта и автомобильных дорог на основе текущего состояния дорожных, транспортных, климатических условий эксплуатации и технических сооружений, в процессах сравнение с нормативными данными и данными предыдущего контроля; отражает обстановку на участке движения автомобиля и результаты анализа в реальном времени и по соответствующим запросам; идентифицирует предаварийное и аварийное состояние пути; архивирует результаты мониторинга; разрабатывает рекомендации по скоростного режима на участках движения транспортных средств по результатам проведенного анализа.

Ключевые слова: дорожное транспортное средство, эксплуатация, мониторинг, техническое состояние, инфраструктура, происшествие, параметры, точность.

Постановка проблеми. У передових країнах Європи та Америки отримали розвиток автоматичні засоби, які дозволяють фіксувати рух транспортних засобів (ТЗ) у процесі дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) – це системи EDR (Event Data Recorder – реєстрація даних про події) або універсальні системи пошуку даних про аварію (Crash Data Retrieval, скорочено – CDR). На сьогоднішній день, отримання даних у реальному часі з EDR стало можливим завдяки поєднанню систем безпеки автомобіля з системою глобального позиціонування. Інформаційні системи сьогодні – це комплекс електронної мережної системи, що поєднує бази даних, засоби і пристрої передачі, прийому, обробки, аналізу та зберігання інформації.

Проблема полягає у тому, що одержання інформації за допомогою EDR у деяких країнах, наприклад, в Україні має процесуальні обмеження. По-перше, автовиробники

надають право доступу до вищевказаної інформації лише своїм уповноваженим сертифікованим станціям технічного обслуговування зі спеціальним дослідним центром, якому зобов'язано мати відповідне встаткування. Однак в Україні поки таких центрів немає. По-друге, дана інформація надається лише за постановою слідчого (постановою суду), або за заявою власника автомобіля, а також, якщо одержання такої інформації обумовлене запитом автовиробника для власних досліджень із метою модернізації систем безпеки. По-третє, при використанні запису даних з інформаційної системи під час дослідження ДТП виникають певні технічні проблеми, які багато в чому пов'язані з відсутністю відповідного методичного забезпечення у виробництві судової автотехнічної експертизи. Тому дана проблема потребує всебічного розгляду й обговорення.

Для організації технічного огляду і ремонту (ТО і Р) з урахуванням стану ТЗ наприкінці 1990-х рр. у США й країнах ЄС були прийняті стандарти, які ввели обов'язковість оснащення ТЗ електронними системами контролю параметрів роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ), пов'язаних зі зміною складу відпрацьованих газів (емісії) [1, 2]. У США з 1996 р. усі легкові автомобілі й легкі вантажівки обладнаються бортовою діагностикою OBD-II (On-Board Diagnostics II), яка використовує діагностичні коди несправностей (помилки) (Diagnostic Trouble Codes – DTCs), що й дозволяє зчитувати DTCs, переглядати параметри роботи двигуна й інших електронних систем ДВЗ і ТЗ. Аналогічний європейський стандарт – EOBD, був прийнятий в 2001 р. [1, 2]. У рамках OBD-II стандартизовані діагностичні рознімання, протоколи обміну даними й частково стандартизовані DTCs, при обміні даними в OBD-II, в основному використовують протоколи ISO 9141, ISO 14230, SAE J1850 VPW, SAE J1850 PWM і CAN, тощо [1, 2].

Системи моніторингу технічного стану в умовах ITS дозволяють здійснювати безперервний автоматичний контроль технічних параметрів ТЗ і його складових елементів, розпізнавати відмовні стани і запобігати їх розвитку, а також здійснювати перехід до організації системи ТО і Р за технічним станом [2 – 4]. Як правило, такі системи є складними комплексами бортових і стаціонарних технічних і програмних засобів. Розробка системи моніторингу технічного стану в автономному виконанні вимагає значних інтелектуальних, часових і матеріальних ресурсів, а оснащення нею кожного окремо взятого ТЗ спричиняє фінансові витрати на установку не тільки бортових діагностичних датчиків, а й пристроїв обробки інформації, зв'язку та сигналізації відмовних станів.

Найбільш ефективною і найменш витратною комбінацією для реалізації інтелектуального моніторингу технічного стану ТЗ є система, що містить у собі поєднання штатного і опційного інформаційно-діагностичного обладнання, яке програмно вбудовано в навігаційно-зв'язковий комплекс і реалізує функції супутникової навігації. Тому, для виконання моніторингу технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ в комплексі обладнання повинні бути об'єднані навігаційно-зв'язкові і діагностичні блоки, які технологічно і програмно пов'язані з розгалуженою мережею штатних і опційних датчиків контролю технічного стану вузлів і систем ТЗ. При цьому взаємодія бортового навігаційного обладнання з основними технологічними складовими системи моніторингу технічного стану ТЗ має здійснюватися в рамках єдиної ідеології мобільної інформаційно-діагностичної системи [2 – 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз технічних рішень, які присутні сьогодні на ринку, показав, що в більшості з них відсутня можливість повноцінно аналізувати, прогнозувати технічний стан і визначати статус несправностей ТЗ та його складових елементів. Сучасні вимоги до систем управління ТЗ роблять проблему прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ актуальною. Для таких систем важливо встановити не тільки те, що ТЗ та його складові елементи спра-

вні в даний момент часу (в період контролю), але і те, що вони будуть продовжувати залишатися справними протягом деякого інтервалу часу в майбутньому. З іншого боку, на ринку обладнання присутні системи управління, здатні інсталивати повноцінні операційні системи, але їх використання сьогодні, поки що, проблематично для транспортних двигунів і ТЗ. Зазначені фактори дозволяють створення автоматизованої системи моніторингу, діагностування, прогнозування значень параметрів технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ та його складових елементів в умовах ITS, заснованої на технології баз даних (БД), із застосуванням систем управління базами даних (СУБД). Виробники ТЗ і розробники систем моніторингу, при вирішенні викладених задач технічної експлуатації (ТЕ) ТЗ, реалізують системи комунікацій між транспортним засобом і видаленим комп'ютером [3, 4, 6, 9-11]. У світі (наприклад, МадГТУ (МАДІ) Російська федерація) розробляються системи визначення статусів несправностей в телематичній системі контролю технічного стану ТЗ в реальному часі [3, 4, 6].

В цьому напрямку проводяться дослідження на кафедрі «Технічна експлуатація і сервіс автомобілів» ХНАДУ, де було розроблено відповідне програмне забезпечення інтелектуальних програмних комплексів (ІПК) на основі віртуального підприємства з ТЕ автомобільного транспорту «ХНАДУ-ТЭСА», що забезпечило формування систем моніторингу для отримання технічної інформації про окремі ТЗ, дослідження діагностичних параметрів і визначення роботоздатності ТЗ при їх експлуатації в умовах інформаційних можливостей ITS [2].

Мета статті. Для створення автоматизованої системи моніторингу, діагностування, прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ з можливістю дослідження ДТП у складі бортових інформаційних програмно-діагностичних комплексів (БПДК), що працюють в межах віртуального підприємства в умовах ITS, з урахуванням дорожніх і експлуатаційних умов в оперативному режимі доцільно вирішити завдання, пов'язані з інформаційними і апаратно-програмними можливостями конкретної системи управління ТЗ та його складових елементів. А для визначення статусу несправностей ТЗ у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу в оперативному режимі доцільно створити механізм, що використовує інформаційний обмін в процесі дистанційного моніторингу і визначення статусу несправностей ТЗ, які працюють в умовах ITS, а саме: безпосередньо на борту ТЗ з використанням БПДК без взаємодії з підприємством з експлуатації автомобільного транспорту (АТ); в напівавтоматичному режимі на борту ТЗ з використанням БПДК із взаємодією з підприємством з експлуатації АТ; в автоматичному режимі з використанням БПДК із взаємодією з підприємством з експлуатації АТ.

Виклад основного матеріалу дослідження. В інформаційній системі моніторингу, діагностування, прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ в умовах ITS формування та передача інформації відбувається на основі роботи мікроконтролерів системи керування транспортного засобу, оснащеного широким арсеналом комунікаційних розширень, що дозволяють збирати дані датчиків ДВЗ і ТЗ, частково обробляти результати вимірювань, видавати діагностичні повідомлення і передавати інформацію через порти OBD-II [7, 8, 12-14].

Для створення автоматизованої системи моніторингу, діагностування, прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ у складі бортових інформаційно-діагностичних комплексів, що працюють в умовах ITS, з урахуванням дорожніх і експлуатаційних умов в оперативному режимі потрібно вирішити кілька завдань, пов'язаних з інформаційними і апаратно-програмними можливостями мікропроцесорної системи управління ДВЗ і ТЗ при їх роботі в межах віртуального підприємства [2, 7, 12-14].

Для виконання поставленої мети авторами розроблений БПДК, який може бути успішно інтегрований у будь-яку ITS, тобто він здатний вирішувати її традиційні завдання. Однак його основне призначення – діагностування і контроль параметрів робочих процесів ДВЗ і ТЗ в умовах експлуатації [1, 2, 5, 7] за допомогою бортової діагностики OBD-II. Технічними засобами комплексу є: діагностичний сканер, планшет (мобільний телефон (смартфон)), що встановлені в кабіні водія (машиніста) з наявністю необхідного програмного забезпечення.

За допомогою адаптера (сканера) OBD-II (або контролера сканера-комунікатора (трекера)) (рис.1), який підключений одночасно до лінії системи стандарту OBD-II ТЗ і до спряженого пристрою БПДК, за допомогою USB або Wi-Fi, або Bluetooth, через GPS, a-GPS, ГЛОНАСС, SBAS, GPRS, Internet або локальну мережу, відбувається з'єднання з Web-сервером (рис.2), базою даних і необхідним програмним забезпеченням інформаційної системи моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану транспортного засобу в умовах ITS [1, 2, 7]. Таким чином оперативна інформація, отримана з (через) Internet, GPS, ГЛОНАСС, SBAS і (або) GPRS, від ДВЗ і ТЗ поступає на автоматизоване робоче місце внутрішньої мережі. Наявність сенсорного екрану у БПДК надає водієві ТЗ і розробнику системи управління можливість створення зручних людино-машинних інтерфейсів нового покоління, максимально полегшують і спрощують працю оператора робочого місця внутрішньої мережі, що скорочують витрати на його професійну підготовку [15].

Прикладне ПЗ, у відповідності до вирішуваних завдань, було розроблено у вигляді ППК «MonDiaFor (*monitoring, diagnosis, forecasting technical condition of the vehicle under ITS*) «HADI-15» і складається з таких елементів, як підсистема, що реалізує графічний інтерфейс користувача і підсистема обробки даних, структурована інформаційна модель якого показана на рис. 3. При виконанні первинної обробки отриманих з ТЗ даних послідовно відбувається виконання операції конвертації отриманих табличних даних до стандартного вигляду і передача їх до інформаційної системи моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану транспортного засобу в умовах ITS.

Кожен параметр ДВЗ і ТЗ є кількісним виразом тих фізичних процесів, які протікають у ньому. Однак для більшості елементів і приладів функціональну залежність параметра від вказаних процесів практично неможливо визначити у зв'язку з їх складністю. Якщо ж процеси в часі приймають і носять стійкий характер, то на закономірності зміни параметра це позначиться певним чином [2, 15].

При побудові системи моніторингу, діагностування і прогнозування технічного стану ТЗ в умовах ITS, виконуються відповідні етапи роботи, а саме: визначення цілі прогнозування контрольованих параметрів ДВЗ і ТЗ; визначення горизонтів прогнозу; вибір однієї або декількох кривих, форма яких відповідає характеру зміни часового ряду; оцінка параметрів обраних кривих; перевірка адекватності обраних кривих прогнозованого процесу і остаточний вибір кривої; розрахунок прогнозу у відповідному інтервалі часу; оцінка точності прогнозування та наявність автокореляції випадкової складової [2, 15].

Для забезпечення фіксації та дослідження обставин дорожньо-транспортних пригод (ДТП) в умовах інтелектуальних транспортних систем ППК «MonDiaFor (*monitoring, diagnosis, forecasting technical condition of the vehicle under ITS*) «HADI-15» був модернізований до версії ППК «MonDiaFor «HADI-15» + Road Accident. Робота програмного забезпечення «MonDiaFor «HADI-15» + Road Accident здійснюється на основі і за допомогою програмного забезпечення «MonDiaFor «HADI-15» у складі віртуального підприємства з експлуатації автомобільного транспорту.



Рис. 1. Підключення OBD-сканера

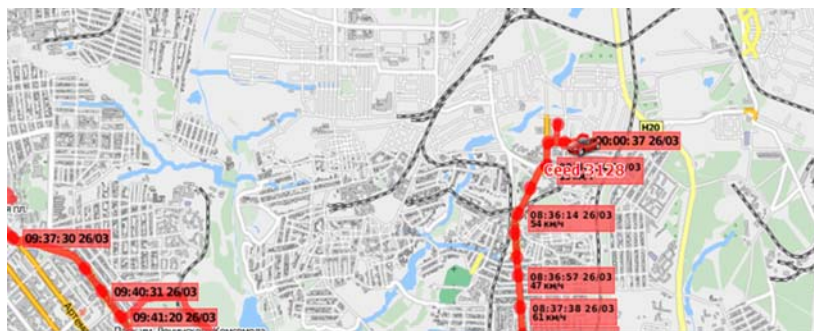


Рис. 2. Зафіксований GPS-трекінг автомобіля

Робоче вікно комплексу «MonDiaFor «HADI-15» + Road Accident наведено на рис. 4. В процесі формування звітів про фіксацію та дослідження обставин ДТП в верхній частині робочого вікна обираються дані для визначення інтервалу фіксації та дослідження обставин ДТП, а саме початок часового інтервалу моніторингу (дата і час) і кінець часового моніторингу (дата і час).

При цьому у програмних модулях, що використовується для моніторингу, відбувається пошук відповідних даних для заданого інтервалу часу і у робочому вікні на рис. 4 можливо побачити результати виконання моніторингу технічних параметрів стану двигуна і ТЗ.

В верхній частині робочого вікна вказуються відповідні дата і час для задавання меж початку і кінця часового інтервалу моніторингу.

Для обраного інтервалу проводиться розрахунок (визначення) параметрів, що передують, або в момент (після) ДТП, а саме швидкість руху автомобіля, швидкість автомобіля в момент ДТП, своєчасність дій водія, час гальмування, динаміка гальмування сповільнення ТЗ, зупинний шлях ТЗ, відстань між місцем ДТП та ТЗ у момент виникнення небезпеки тощо, з поєднанням координат на мапі місцевості отриманим в умовах ITS.

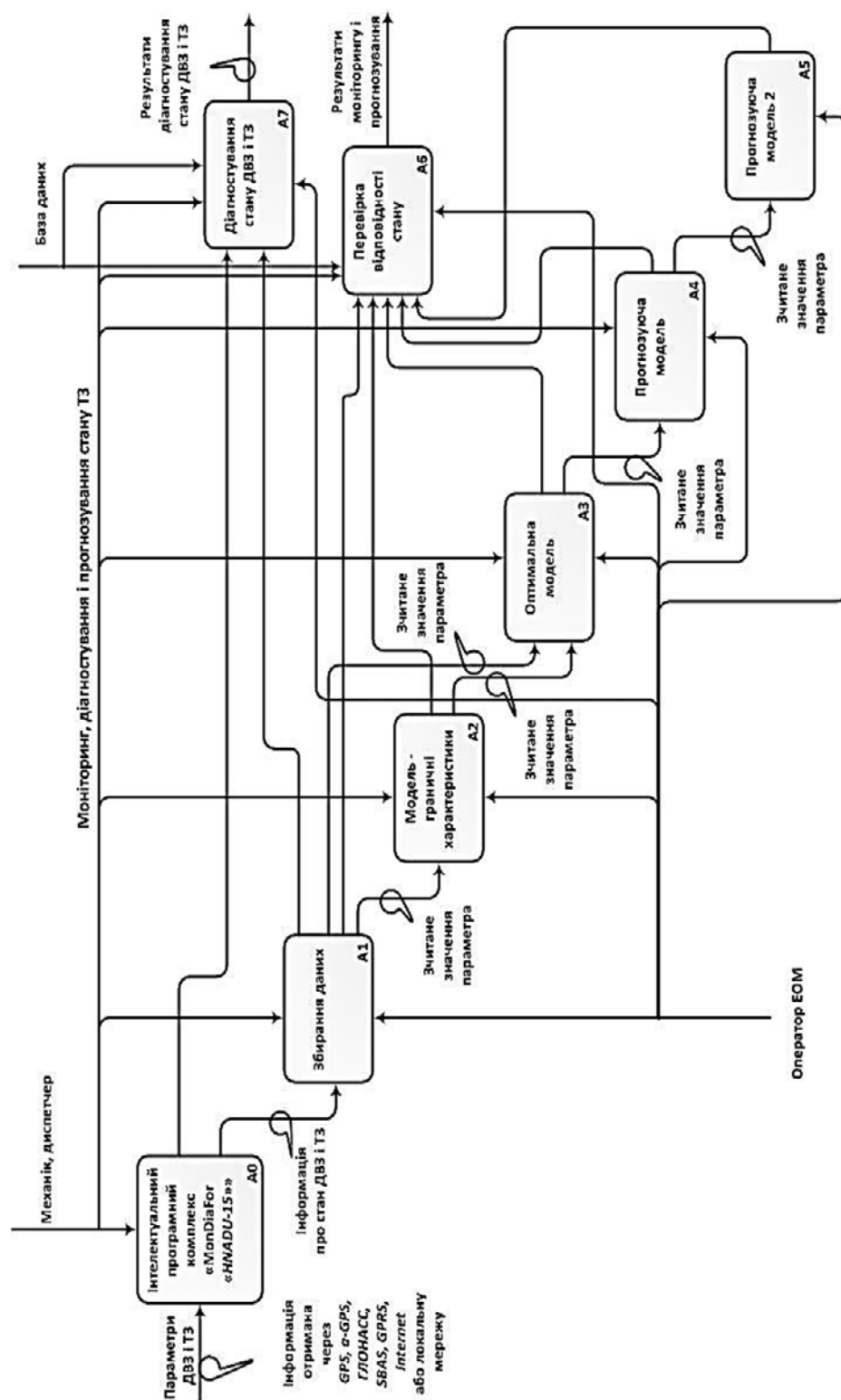


Рис. 3. Структурована інформаційна модель ІПК «MonDiaFor (monitoring, diagnosis, forecasting technical condition of the vehicle under ITS) «HADI-15»

Рис. 4. Робоче вікно комплексу «MonDiaFor «HADI-15» + Road Accident

Висновки та пропозиції. Запропоновано підхід до формування і створення інформаційного забезпечення системи моніторингу, діагностування, прогнозування технічного стану і визначення статусу несправностей ТЗ в умовах ITS при роботі в межах віртуального підприємства з експлуатації автомобільного транспорту і розроблена структурована інформаційна модель інформаційного програмного комплексу «MonDiaFor «HADI-15» + Road Accident. Завдяки запропонованій інформаційній системі можна одержати з більш високою точністю дані обставин та розвитку механізму ДТП, такі як: відстань від автомобіля до місця ДТП у момент виникнення небезпеки, швидкість руху автомобіля, швидкість автомобіля в момент ДТП, своєчасність дій водія, час гальмування, динаміку гальмування, гальмовий і зупинний шляхи автомобіля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Матейчик В.П. Особливості моніторингу стану транспортних засобів з використанням бортових діагностичних комплексів / В.П. Матейчик, В.П. Волков, П.Б. Комов, І.В. Грицук, А.П. Комов, Ю.В. Волков // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал – К.: НТУ, 2014. – Вип. 13. – С. 126-138.
2. Волков В.П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем. Монография / Под редакцией Волкова В.П. / В.П. Волков, В.П. Матейчик, О.Я. Никонов, П.Б. Комов, И.В. Грицук, Ю.В. Волков, Е.А. Комов // Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2013. – 398 с.
3. Ахмедов Т.Н. Основы системы контроля состояния транспортного средства в процессе выполнения перевозок / Т.Н. Ахмедов, С.В. Жанказиев, А.Е. Финкель / Научные аспекты развития транспортно-телематических систем – М.: МАДИ, 2010. – С. 138 – 164.
4. Ахмедов Т.Н. Принципы определения статусов неисправностей в телематической системе контроля технического состояния автомобиля в реальном времени / Т.Н. Ахмедов / Научные аспекты развития транспортно-телематических систем – М.: МАДИ, 2010. – С. 165 – 180.

5. Волков В.П. Організація технічної експлуатації автомобілів в умовах формування інтелектуальних транспортних систем / В.П. Волков, В.П. Матейчик, П.Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2013. – № 29 (1002). – С. 138–144.
6. Hansen P., Wolfe B. Remote Diagnostics – the Next OEM Frontier// The Hansen Report on Automotive Electronics. Dec. 2003/Jan. 2004. Vol. 16, № 10. – P. 1–3.
7. Волков В.П. Особливості моніторингу і визначення статусу несправностей транспортного засобу у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу / В.П. Волков, І.В. Грицук, А.П. Комов, Ю.В. Волков // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2014. – Вип. 30. – С. 51–62.
8. Головин С.Ф. Технический сервис транспортных машин и оборудования. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2008. – 288 с.
9. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДПУ. – 2013. – С. 87–91.
10. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
11. Fomin, O. Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O.V. Fomin, O.V. Burlutsky, Yu.V. Fomina / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 2 – P. 250–256.
12. Матейчик В.П. Особенности электронной идентификации транспортных средств в составе бортовых информационно-диагностических комплексов / В.П. Матейчик, В.П. Волков, П.Б. Комов, І.В. Грицук // Збірник наук. праць ДонІЗТ УкрДАЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2013 – Вип. 35. – С. 78–82.
13. Хендерсон Б. OBD-II и электронные системы управления двигателем. Руководство / Б.Хендерсон, Дж. Хейнес // СПб.: Алфамер Паблишинг, 2011 – 248 с.
14. Уве Рокош. Бортовая диагностика. – М.: ООО «Издательство «За рулем», 2013. – 224 с.
15. Атрощенко В.А. Технические возможности повышения ресурса автономных электростанций энергетических систем. Монография / Ю.Д. Шевцов, П.В. Яцынин, Р.А. Дьяченко, М.Н. Педько. – Краснодар: Издательский Дом: Юг, 2010. – 192 с.

***Volodymyr Volkov, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
(Head of the Department of «Technical operation and service vehicles», Kharkiv National Automobile and Highway University)***

***Oleksiy Sarayev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
(Dean of the Automobile Faculty, Kharkiv National Automobile and Highway University)***

***Igor Gritsuk, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
(Associate Professor of the Department of «Technical operation and service vehicles», Kharkiv National Automobile and Highway University)***

***Yurii Gritsuk, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor
(Acting Head of the Department of general engineering training, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture)***

***Sergey Danez
(Head of Sector autotechnical expertise Scientific Research Forensic Center at the headquarters of the Ministry of Internal Affairs in Kharkiv region, Ukraine)***

THE APPLICATION OF INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING AND FORECASTING PARAMETERS OF THE TECHNICAL CONDITION IN THE STUDY OF THE CIRCUMSTANCES OF ROAD ACCIDENTS

Proved the concept of using intelligent transport information system in the conduct of technical studies. The proposed approach to operating conditions to determine the influence of the main stages of processing the information received about the technical condi-

tion of the vehicle by means of information software, namely conducting identification of the vehicle in the surrounding space, monitors unsteady conditions; collect baseline data about the parameters of technical condition and position in space vehicle in operation; predicted parameters of the vehicle; performs authentication conditions; diagnose technical state collects messages and diagnostics data of the vehicle; verify that the actual condition of the vehicle obtained parameters and operating conditions and in the performance monitoring. Proposed in the paper system general information provision process monitoring parameters of technical condition of vehicles provides a complete collection and processing of information in real-time on-board information system monitor placed on the vehicle and the system of collecting information that works in conjunction with driver and transport infrastructure and roads based on the current state of the road, transport, climate conditions and technical installations in the process of comparison normative data and previous data control; reflects the situation in the area of vehicle movement and analysis in real time and on request; identifies emergency the state road; archiving monitoring results; develop recommendations for speeding in areas of vehicular traffic on the results of the analysis.

Keywords: vehicle, operation, monitoring, maintenance, infrastructure, incident, parameters, accuracy

REFERENCES

1. Mateichyk V.P., Volkov V.P., Komov P.B., Grytsuk I.V., Komov A.P., Volkov Yu.V. Osoblyvosti monitorynha stanu transportnykh zasobiv z vykorystanniam bortovykh diahnostychnykh kompleksiv [Features of monitoring the condition of vehicle by using on-board diagnostic systems]. *Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka: Naukovyi zhurnal* [Project management, systems analysis and logistics: Science journal]. NTU, 2014. issue 13. pp. 126-138.
2. Volkov V.P., Mateychik V.P., Nikonov O.Ya., Komov P.B., Grytsuk I.V., Volkov Yu.V., Komov Ye.A. Integratsiya tehnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley v struktury i protsessy intelektualnykh transportnykh sistem. Monografiya [Integration of technical operation of vehicles in the structures and processes of intelligent transport systems. Monograph]. Donetsk, Noulidzh Publ. 398 p.
3. Ahmedov T.N., Zhankaziev S.V., Finkel A.Ye. Osnovy sistemy kontrolya sostoyaniya transportnogo sredstva v protsesse vyipolneniya perevozok [Fundamentals of system of state control of the vehicle on carrying out the transportation]. *Nauchnye aspekty razvitiya transportno-telematicheskikh system* [Scientific aspects of transport and telematics systems]. Moscow, MADI Publ. 2010. pp. 138 – 164.
4. Ahmedov T.N. Printsipy opredeleniya statusov neispravnostey v telematicheskoy sisteme kontrolya tehnicheskogo sostoyaniya avtomobilya v realnom vremeni [Principles for determining the fault status in telematic system of technical condition of the vehicle in real time]. *Nauchnye aspekty razvitiya transportno-telematicheskikh system* [Scientific aspects of transport and telematics systems]. Moscow, MADI Publ. 2010. pp. 165-180.
5. Volkov V.P., Mateychik V.P., Komov P.B., Komov O.V., Grytsuk I.V. Orhanizatsiia tekhnichnoi ekspluatatsii avtomobiliv v umovakh formuvannia intelektualnykh transportnykh sistem [The organization of technical operation of vehicles in the formation of intelligent transport systems]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannia*. [Herald of the National Technical University «KhPI». Collected Works. Series: automotive and tractor]. 2013. Issue 29 (1002). pp. 138-144.
6. Hansen P., Wolfe B. Remote Diagnostics – the Next OEM Frontier// *The Hansen Report on Automotive Electronics*. Dec. 2003/Jan. 2004. Vol. 16, № 10. P. 1-3.
7. Volkov V.P., Grytsuk I.V., Komov A.B., Volkov Yu.V. Osoblyvosti monitorynha i vyznachennia statusu nespravnostei transportnoho zasobu u skladi bortovoho informatsiino-diahnostychnoho kompleksu [Features of monitoring and determination the status of fault on vehicle consisting of onboard information diagnostic complex]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu* [Bulletin of the National Transport University]. 2014. Vol. 30. pp. 51-62.
8. Holovyn S.F. *Tekhnicheskyy servis transportnykh mashyn i oborudovanyia* [Technical service of transport vehicles and equipment]. – Moscow, Alfa-M: YNFRA-M Publ., 2008. 288 p.

9. Fomin O. V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv //Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho».–Kremenchuk: KDPU. – 2013. – №. 6. – p. 83.
10. Fomin, O.V. Konceptija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – P. 267-271.
11. Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V. Development and application of cataloging in structural design of freight car building // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, no. 2, pp. 250–256.
12. Mateichyk V.P., Volkov V.P., Komov P.B., Grytsuk I.V. Osobennosti elektronnoi ydentyfikatsyy transportnykh sredstv v sostave bortovykh informatsyonno-dyagnostycheskykh kompleksov [Features of electronic identification of vehicles as part of on-board information and diagnostic systems]. *Zbirnyk nauk. prats DonIZT UkrDAZT* [Collection of Science works DonIZT UkrDAZT.]. 2013. Issue 35. pp. 78-82.
13. Khenderson B., Kheines Dzh. *OBD-II y elektronnye systemy upravleniya dvyhatelem. Rukovodstvo* [OBD-II and electronic engine management systems. Management]. SPb., Alfamer Pablyshynh, 2011. 248 p.
14. Uve Rokosh. *Bortovaia dyahnostyka* [On-board diagnostics]. Moscow, OOO «Za Rulem Publishing House», 2013. 224 p.
15. Atroshchenko V.A., Shevtsov Yu.D., Yatsynyn P.V., Diachenko R.A., Pedko M.N. *Tekhnicheskiye vozmozhnosti povysheniya resursa avtonomnykh elektrostantsyi enerhetycheskykh system. Monohrafiya.* [Technical possibilities of increasing the life of autonomous power plants of power systems. Monograph.]. Krasnodar: Publishing House – South, 2010. – 192 p.

УДК 621.43+621.43.016.4+681.518+629.113+656.3.44.083

В. П. Волков, д.т.н., професор

(завідувач кафедри технічна експлуатація і сервіс автомобілів,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

І. В. Грицук, д.т.н., доцент

(доцент кафедри технічна експлуатація і сервіс автомобілів,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Ю. В. Грицук, к.т.н., доцент

(в.о. завідувача кафедри загальної інженерної підготовки, Донбаська
національна академія будівництва і архітектури)

Ю. В. Волков

(аспірант кафедри технічна експлуатація і сервіс автомобілів,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КЛАСИФІКАЦІЇ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У статті обґрунтований підхід до формування інформаційної системи класифікації умов експлуатації транспортних засобів. Запропонований підхід в умовах експлуатації дозволяє визначити вплив основних етапів обробки отриманої інформації про технічний стан транспортного засобу за допомогою інформаційного програмного комплексу, а саме: проводить ідентифікацію транспортного засобу в оточуючому просторі, забезпечує моніторинг нестационарних умов експлуатації; збирає вихідні дані про параметри технічного стану і положення у просторі транспортного засобу в умовах експлуатації; прогнозує параметри стану транспортного засобу; виконує ідентифікацію умов експлуатації; діагностує технічний стан, збирає повідомлення і дані діагностування транспортного засобу; перевіряє відповідність дійсного стану транспортного засобу отриманим параметрам і умовам експлуатації та в процесі виконання моніторингу. Запропонована в статті система загального інформаційного забезпечення процесів моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів забезпечує повноцінний збір і обробку інформації в реальному часі від бортової інформаційної системи моніторингу, розміщеної на транспортному засобі, а також від системи збору інформації, що працює у взаємодії із водієм та інфраструктурою транспорту і автомобільних доріг на основі поточного стану дорожніх, транспортних, кліматичних умов експлуатації й технічних споруд, в процесах порівняння з нормативними даними та даними попереднього контролю; відображає обстановку на ділянці руху автомобіля і результати аналізу в реальному часі і за відповідними запитами; ідентифікує передаварійний і аварійний стан шляху; архівує результати моніторингу; розробляє рекомендації щодо швидкісного режиму на ділянках руху транспортних засобів за результатами проведеного аналізу.

© Волков В. П., Грицук І. В., Грицук Ю. В., Волков Ю. В., 2017

Ключові слова: транспортний засіб, умови експлуатації, методика, моніторинг, технічний стан, інфраструктура автомобільної дороги, коригування, параметри технічного стану.

В статті обоснован підхід к формированию информационной системы классификации условий эксплуатации транспортных средств. Предложенный подход в условиях эксплуатации позволяет определить влияние основных этапов обработки полученной информации о техническом состоянии транспортного средства с помощью информационного программного комплекса, а именно проводит идентификацию транспортного средства в окружающем пространстве, обеспечивает мониторинг нестационарных условий эксплуатации; собирает исходные данные о параметрах технического состояния и положения в пространстве транспортного средства в условиях эксплуатации; прогнозирует параметры состояния транспортного средства; выполняет идентификацию условий эксплуатации; диагностирует техническое состояние, собирает сообщения и данные диагностики транспортного средства; проверяет соответствие действительного состояния транспортного средства полученным параметрам и условиям эксплуатации и в процессе выполнения мониторинга. Предложенная в статье система общего информационного обеспечения процессов мониторинга параметров технического состояния транспортных средств обеспечивает полноценный сбор и обработку информации в реальном времени от бортовой информационной системы мониторинга, размещенной на транспортном средстве, а также от системы сбора информации, работает во взаимодействии с водителем и инфраструктурой транспорта и автомобильных дорог на основе текущего состояния дорожных, транспортных, климатических условий эксплуатации и технических сооружений, в процессах сравнение с нормативными данными и данными предыдущего контроля; отражает обстановку на участке движения автомобиля и результаты анализа в реальном времени и по соответствующим запросам; идентифицирует предаварийное и аварийное состояние пути; архивирует результаты мониторинга; разрабатывает рекомендации по скоростного режима на участках движения транспортных средств по результатам проведенного анализа.

Ключевые слова: транспортное средство, условия эксплуатации, методика, мониторинг, техническое состояние, инфраструктура автомобильных дорог, коррективка, параметры технического состояния.

Постановка проблеми. Суттєва просторова протяжність, складність і розподіленість умов експлуатації транспортних засобів (ТЗ) і транспортної інфраструктури зі своїми особливостями й різноманіттям можуть вважатися об'єктом автоматизації сучасних інформаційних систем в умовах інтелектуальних транспортних систем (ITS).

Знання основ теорії експлуатації транспортних засобів є фундаментом при розробці прогресивних систем нормування і планування на транспорті за допомогою сучасних інформаційних систем [1].

Більшість завдань у процесі удосконалення методів оперативного управління працездатності автомобіля, які вирішують технічні служби експлуатації ТЗ, мають інформаційну складову оцінювання: дорожніх умов експлуатації ТЗ в частині висоти дороги над рівнем моря, прокольного профілю (рельєфу місцевості), типу і стану дорожнього покриття; ремонту, будівництва і обслуговування об'єктів дорожньої інфраструктури; їх моніторинг; прогнозування можливих аварійних ситуацій, транспортних умов в частині насиченості і інтенсивності руху ТЗ, особливостей вантажу, режиму і швидкості руху; атмосферно-кліматичних умов, культури експлуатації ТЗ тощо [2, 3]. Пе-

рераховані та подібні їм завдання поки в основному вирішуються застарілими методами, які вже не забезпечують необхідної якості і ефективності [2]. Оцінка умов експлуатації, аналіз планів і профілів автомобільних доріг, як правило, складаються вручну в паперовому вигляді, оновлення карт і схем здійснюється вкрай рідко, дані про стан більшості об'єктів не систематизовані і, відповідно, важкодоступні. Така ситуація ускладнює завдання керування класифікацією умов експлуатації ТЗ в інформаційних умовах ITS.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На основі виконаних у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті досліджень розроблена єдина експлуатаційна класифікація умов роботи ТЗ, що базується на офіційних документах. Класифікація успішно використовується для будь-яких експлуатаційних розрахунків і має пряме відношення до технічної експлуатації автомобілів, тому що визначає навантажувальні, швидкісні і температурні режими роботи агрегатів ТЗ [1, 3]. Тому висвітлення цього питання при дистанційному визначенні умов експлуатації ТЗ в реальному часі в умовах ITS можливо вважати доцільним.

Мета статті. Для здійснення дистанційного моніторингу і визначення умов експлуатації транспортних засобів у складі бортового інформаційного комплексу, доцільно адаптувати методику застосування класифікації умов експлуатації ТЗ до інфраструктури автомобільних доріг і інформаційних умов ITS. Для цього необхідно визначити, узагальнити наявні відомості, обґрунтувати особливості, функції і зв'язки основних елементів для здійснення дистанційного інформаційного обміну при виконанні моніторингу і визначення умов експлуатації ТЗ у відповідності до розроблених структур і систем, що працюють в умовах ITS. У зв'язку з цим, виникає важлива науково-технічна задача створення інформаційної системи моніторингу параметрів стану ТЗ для керування класифікацією умов експлуатації ТЗ в інформаційних умовах ITS.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для визначення предметної області інформаційної системи оцінювання параметрів технічного стану ТЗ в умовах експлуатації при проведенні його моніторингу будемо використовувати діаграми потоків даних (DFD – Data Flow Diagramm) [4 – 7]. Розроблена діаграма (рис. 1) потоків даних (DFD) являє собою самий верхній описовий рівень системи моніторингу ТЗ. Подальше уточнення моделі потоків даних здійснюється шляхом декомпозиції об'єктів, які складають її.

Джерелами первинної інформації про технічний стан ТЗ в системі моніторингу технічного стану (рис. 1) виступають «Учасники процесу моніторингу ТЗ (користувачі), засоби моніторингу», «Процес експлуатації ТЗ в умовах експлуатації», «Умови експлуатації ТЗ в процесах моніторингу» тощо, що вважаємо «зовнішніми сутностями» [8, 12, 13]. До функціональних завдань [9-11] інформаційної системи моніторингу ТЗ відносимо ідентифікацію, моніторинг параметрів і діагностування технічного стану ТЗ та оцінка умов експлуатації ТЗ засобами ITS.

Потоками даних в системі моніторингу ТЗ, що розглядається, будуть дані, які одержуються від учасників процесу моніторингу ТЗ, від відповідних засобів моніторингу, від учасників експлуатації ТЗ про умови експлуатації ТЗ і процеси експлуатації ТЗ під час моніторингу, які в подальшому обробляються, передаються і зберігаються, а також команди і запити, що циркулюють між комунікаційним обладнанням учасників процесу моніторингу. У загальному випадку згідно з нотацією «Йордона – Де Марко» [14] схема функціонування інформаційної системи моніторингу ТЗ представлена на рис. 1. Згідно вимог і завдань до інформаційної системи в частині програмного забезпечення (ПЗ), вона реалізує вирішення наступних задач моніторингу ТЗ: збирання даних з ТЗ; зберігання даних; ідентифікація ТЗ у просторі і в системі моніторингу; побудова функціональних залежностей у часі; моніторинг параметрів технічного стану

ТЗ з можливостями їх прогнозування; ідентифікація умов експлуатації; діагностування стану ТЗ і перевірка відповідності стану ТЗ отриманим параметрам моніторингу за визначеними параметрами.

В межах розробленої DFD-діаграми [15], розроблено структуру моделі інформаційного забезпечення системи моніторингу технічного стану ТЗ в умовах експлуатації, яка показана на рис. 2. При її формуванні в умовах ITS, для проведення формалізації основних процесів, застосовано методологію структурного аналізу і проектування SADT (Structured Analysis and Design Technique). Вихідними даними для проведення моніторингу технічного стану ТЗ, у відповідності до положень методології IDEF0, особливостей конструктивного виконання ТЗ і особливостей умов експлуатації, є інформація про технічний стан ТЗ, що отримується дистанційно. На рис. 1 показана розроблена структурована інформаційна модель ІПК «IdenMonDiaOperCon (Identification, Monitoring technical condition, Diagnosis, Operating conditions of the vehicle under ITS) «HNADU-16».

Основними етапами обробки інформації про технічний стан ТЗ в ІПК є ідентифікація ТЗ в просторі, системі моніторингу і нестационарних умовах експлуатації; збирання вихідних даних про параметри технічного стану ТЗ, в умовах експлуатації; прогнозування параметрів стану ТЗ; ідентифікація умов експлуатації; діагностування стану, збирання повідомлень і даних діагностування ТЗ; перевірка відповідності дійсного стану ТЗ отриманим параметрам і умовам експлуатації, в процесі моніторингу.

Інформаційна система моніторингу (ICM) стану і умов експлуатації ТЗ включає в себе сукупність стаціонарних і мобільних (бортових щодо ТЗ) систем збору і передачі інформації.

Система збору є телекомунікаційною мережею обміну даними, яка може використовувати всі способи передачі даних. Стаціонарні пости виконують комунікаційні функції і найпростіші функції контролю. Ці функції забезпечують отримання контролюно-вимірювальної і технологічної інформації від бортових систем, контроль часу руху ТЗ в заданих пунктах, збір інформації про комунікації і споруди, передачу даних в інформаційний програмний комплекс (ІПК) [2].

Ядром розподіленої ICM є робоче місце мережі моніторингу ТС, яке будується на базі інформаційно-обчислювальної системи з використанням розробленого інформаційного програмного комплексу з використанням базового і розробленого програмного забезпечення.

Основний принцип інформаційного обміну між елементами ITS, а саме ТЗ і транспортної інфраструктури в процесах моніторингу параметрів технічного стану в умовах експлуатації та побудови ICM полягає в тому, що в ній ТЗ є не тільки об'єктом контролю і управління, але також джерелом постійно поновлюваної інформації про стан умов його експлуатації. Тобто вона є сучасною контролюно-вимірювальною системою, яка накопичує і зберігає інформацію про технічний стан ТЗ, умови його експлуатації в межах ділянки руху, а також приймає рішення при виявленні небезпечної, аварійної ситуації або несправності ТЗ.

Загальна задача формування методики застосування класифікації умов експлуатації транспортних засобів в інформаційних умовах ITS, як складної системи, базується на отриманні інформації про фактичний технічний стан, методи і засоби її реалізації при вирішенні конкретних науково-технічних задач, оцінки, перевірки відповідності встановленим обмеженням, засобам для його забезпечення, критеріям оцінювання отриманих показників та визначення взаємозв'язку між ними.

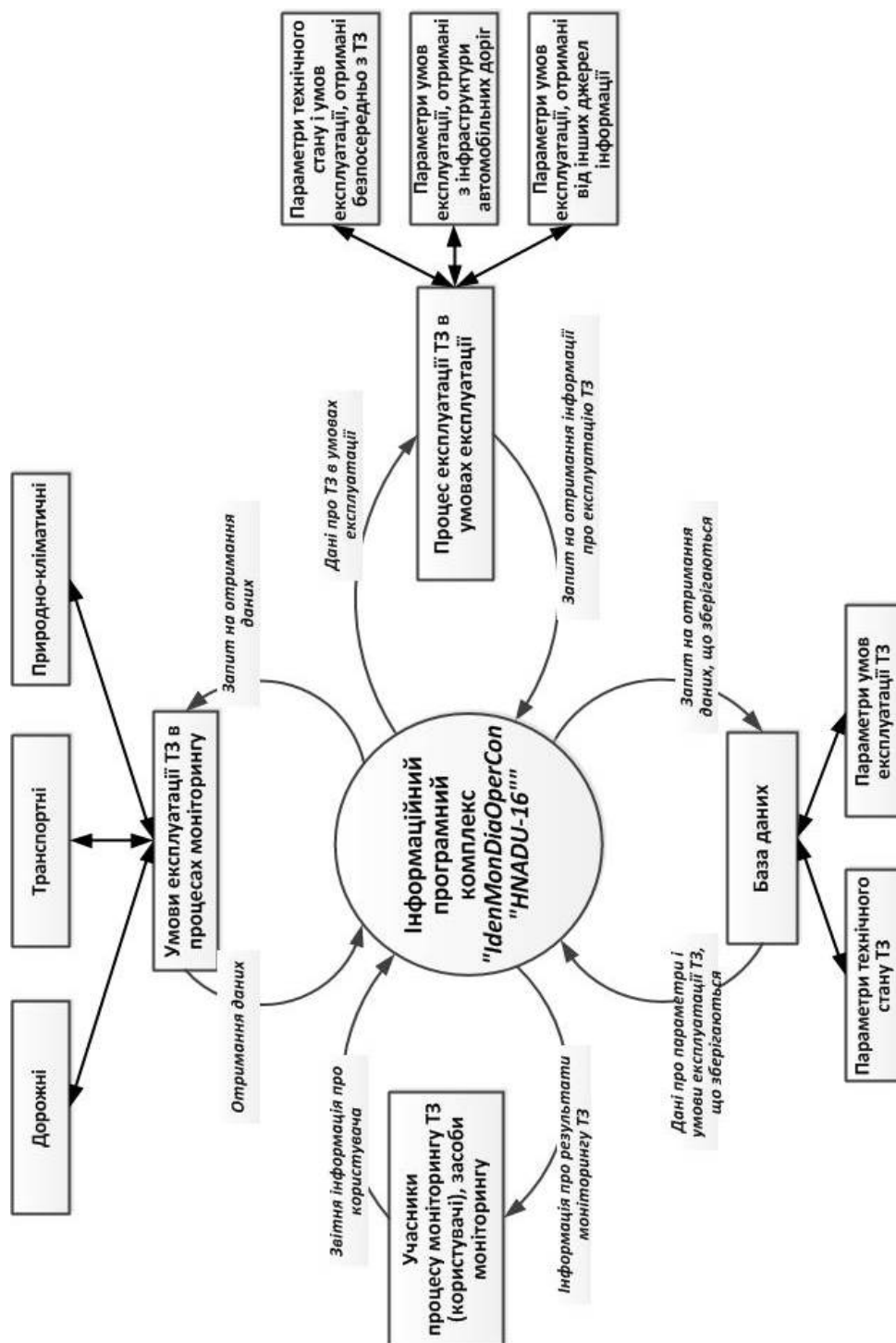


Рис. 1. DFD-діаграма функціонування інформаційної системи моніторингу ТЗ

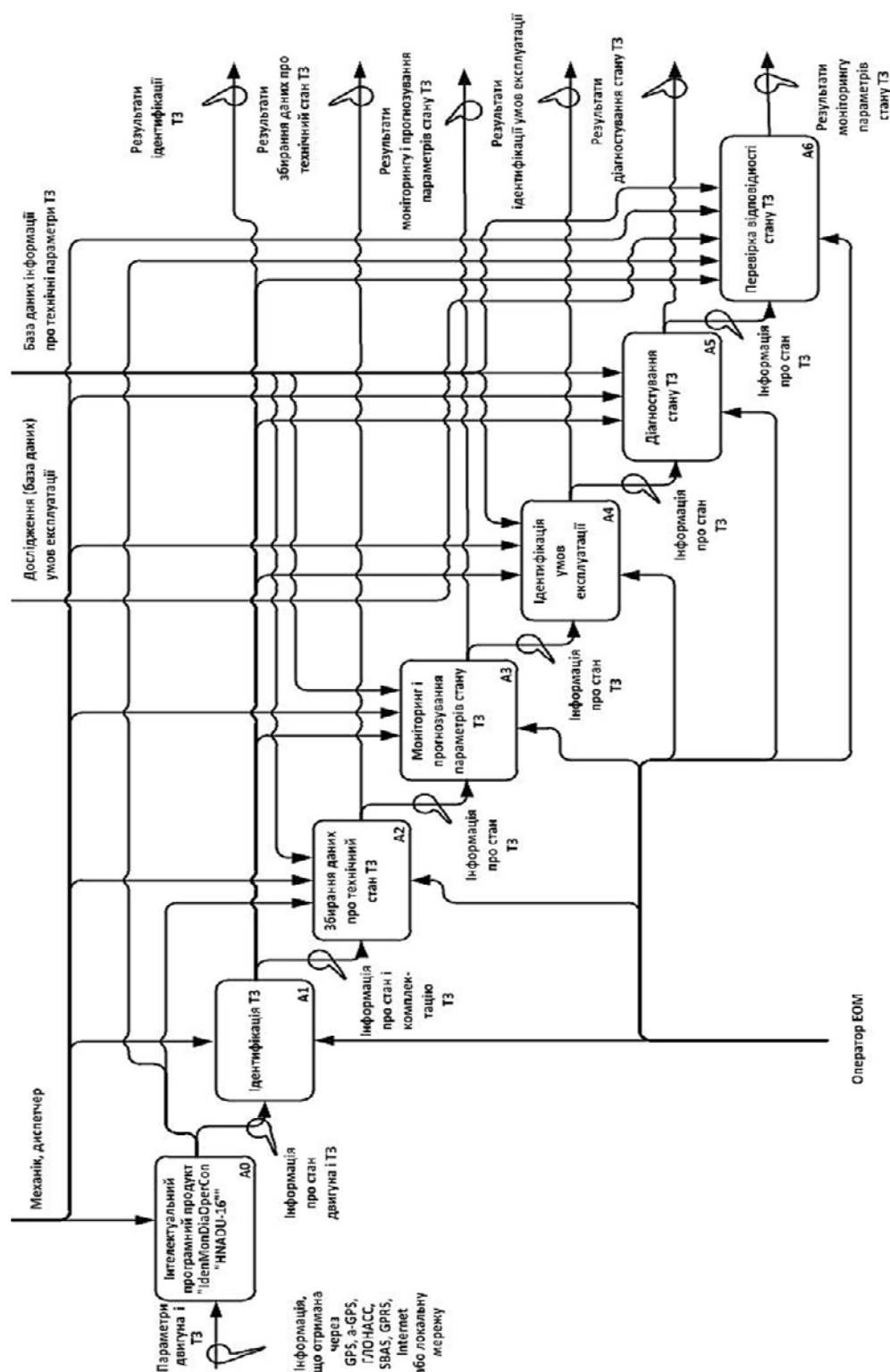


Рис. 2. Структурована інформаційна модель ІПК «IdenMonDiaOperCon (Identification, Monitoring technical condition, Diagnosis, Operating conditions of the vehicle under ITS) «HNADU-16»»

Задачу забезпечення формування методики застосування класифікації умов експлуатації транспортних засобів в інформаційних умовах ITS на основі інформації про фактичні параметри їх технічного стану можливо виразити як побудову функції:

а) в процесах моніторингу і діагностування параметрів технічного стану

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{ts}(\bar{H}_t, t, \Delta t, \bar{X}_i(t), \bar{X}_i(t - \Delta t), \dots, \bar{X}_i(t - n\Delta t), DTC_{S_i} K_{t_i}) \Rightarrow S_{y.e.T3} \\ \Omega_l^{m_i}(e_{y.e.T3}, r)^J = \Omega_l^{m_i} \left(\left\{ \begin{array}{l} e_{y.e.T3,тр} \\ e_{y.e.T3,дор} \\ e_{y.e.T3,а.к} \\ e_{y.e.T3,ке} \end{array} \right\}, r \right)^J = S_{y.e.T3} \end{array} \right. \quad (1)$$

б) в процесах прогнозування параметрів технічного стану

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{(t+k\Delta t)} \left(\begin{array}{l} \bar{H}_{(t+k\Delta t)}, t, \Delta t, k, \bar{X}_i(t + k\Delta t), \bar{X}_i(t + (k - 1)\Delta t), \dots, \\ \bar{X}_i(t + (k - n)\Delta t), DTC_{S_i} K_{t_i(t+k\Delta t)} \end{array} \right) \\ \Rightarrow S_{y.e.T3}(t + k\Delta t) \\ \Omega_l^{m_i}(e_{y.e.T3(t+k\Delta t)}, r)^J = \Omega_l^{m_i} \left(\left\{ \begin{array}{l} e_{y.e.T3,тр(t+k\Delta t)} \\ e_{y.e.T3,дор(t+k\Delta t)} \\ e_{y.e.T3,а.к(t+k\Delta t)} \\ e_{y.e.T3,ке(t+k\Delta t)} \end{array} \right\}, r \right)^J = S_{y.e.T3}(t + k\Delta t) \end{array} \right. \quad (2)$$

де F_{ts} – інформація про параметри технічного стану ТЗ у відповідних умовах експлуатації у відповідний момент часу; $\bar{H}_t$ – вектор органа(ів) керування енергетичної установки ТЗ (координата задатчика(ів) органа керування) в часі t ; t – поточний час процесу моніторингу; Δt – інтервал часу між вимірюваннями в процесах моніторингу; $\bar{X}_i(t)$ при $i = 1, \dots, m$ – характеристики технічного стану ТЗ в умовах експлуатації, що виміряні і входять в перелік ретроспективних впливових факторів (основні параметри технічного стану ТЗ в умовах експлуатації); n – кількість інтервалів (число вимірювань) у минулі періоди моніторингу; m – кількість вимірюваних характеристик (параметрів) технічного стану ТЗ; $DTC_{S_i} K_{t_i}$ – результати моніторингу кодів (DTCs (діагностичних кодів) несправностей ТЗ; Ω – оператор відображення; $S_{y.e.T3}$ – система визначення (забезпечення) умов експлуатації ТЗ (в представленому випадку система $S_{y.e.T3}$ являє собою відображення властивостей підоб'єктів визначення (забезпечення) умов експлуатації $e_{y.e.T3}$ ТЗ та їх відношень r для m_i по J в l); m_i – кількість засобів отримання інформації (засобів спостереження) в (для) ТЗ; l – зв'язки між засобами спостереження і підоб'єктами визначення (забезпечення) умов експлуатації ТЗ; $e_{y.e.T3}$ – множина підоб'єктів визначення (забезпечення) умов експлуатації ТЗ ($e_{y.e.T3,тр}$ – транспортні; $e_{y.e.T3,дор}$ – дорожні; $e_{y.e.T3,а.к}$ – атмосферно-кліматичні; $e_{y.e.T3,ке}$ – культура експлуатації); r – множина відношень між основними умовами експлуатації ТЗ; J – завдання визначення (забезпечення) умов експлуатації ТЗ; $F_{(t+k\Delta t)}$ – прогнозована інформація про параметри технічного стану ТЗ у відповідний момент часу в процесі виконання своїх функцій (в процесі роботи ТЗ за призначенням) в майбутньому на інтервалі упередження довжиною $(t + k\Delta t)$ в залежності від відомих значень у минулому, в заданому інтервалі прогнозування δ с заданою довірчою ймовірністю p ; k – кількість (число) інтервалів прогнозованих значень параметрів технічного стану у

майбутньому, визначає тип прогнозу – короткотерміновий, середьотерміновий тощо при прогнозованих умовах експлуатації відповідно ($e_{y.e.T3(t+k\Delta t)}$).

Загальне інформаційне забезпечення системи $S_{y.e. \Sigma T3_i}(t)_i$ побудовано на основі серверних рішень $S_{y.e. T3_i}(t)_i$ за положеннями М.Я.Говорущенко [1, 3], локального джерела інформації $S_{y.e. Vd_i}(t)_i$ і мережевих баз даних $S_{y.e. Net_i}(t)_i$:

$$S_{y.e. \Sigma T3_i}(t)_i = (S_{y.e. T3_i}(t)_i, S_{y.e. Vd_i}(t)_i, S_{y.e. Net_i}(t)_i) \quad (3)$$

Це забезпечує можливість створення єдиного централізованого сховища розподіленої у просторі інформації, підтримки багатокористувацької середовища отримання інформації (редагування), можливість доступу віддалених користувачів, систематизації інформації та її наочного відображення в єдиному комплексі.

В процесі розробки інформаційного забезпечення процесів моніторингу параметрів технічного стану ТЗ з урахуванням умов експлуатації були зібрані наявні джерела інформації в частині координат ТЗ на місцевості в реальному часі, модель автомобільної дороги, моделі об'єктів інфраструктури доріг, територіальних природних і техногенних систем, отримані результати трекінгу ТЗ. Для більш зручної візуалізації результатів аналізу в систему додані фрагменти растрів досліджуваних ділянок автомобільних шляхів. Джерела інформації для інформаційної системи моніторингу технічного стану ТЗ з урахуванням умов експлуатації представлені в табл. 1.

Таблиця 1 Джерела інформації для інформаційної системи моніторингу технічного стану ТЗ з урахуванням умов експлуатації

№	Параметр	Джерела інформації для інформаційної системи моніторингу технічного стану ТЗ з урахуванням умов експлуатації
1	Параметри стану і положення ТЗ на мапі	http://view.torque-bhp.com/
2	Транспортні умови експлуатації ТЗ з урахуванням геоолокації	http:// yandex.ua/maps.ru/kharkov.htm
3	Атмосферно-кліматичні умови експлуатації ТЗ (після визначення на треку часу і координат положення ТЗ)	http://meteoco.ru/ http://ready.arl.noaa.gov/READYcmet.php
4	Дорожні умови експлуатації ТЗ	http://view.torque-bhp.com/ https://yandex.ua/maps (приклад: https://yandex.ua/maps/147/kharkiv/?lang=ru&ll=36.231202%2C49.990175&z=13)
5	Ідентифікація ТЗ в процесі експлуатації в умовах ITS	http://view.torque-bhp.com/ http://carlife.in.ua/vin-kod

Висновки та пропозиції. Сформульований підхід дозволяє визначити вплив основних етапів обробки отриманої інформації про технічний стан ТЗ в ІПК, а саме ідентифікацію ТЗ в просторі, систему моніторингу і нестационарних умов експлуатації; збирання вихідних даних про параметри технічного стану і положення у просторі ТЗ, в умовах експлуатації; прогнозування параметрів стану ТЗ; ідентифікацію умов експлуатації; діагностування стану, збирання повідомлень і даних діагностування ТЗ; пе-

ревірку відповідності дійсного стану ТЗ отриманим параметрам і умовам експлуатації, в процесі моніторингу. Система загального інформаційного забезпечення процесів моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів забезпечує повноцінний збір і обробку інформації в реальному часі від бортової інформаційної системи моніторингу, розміщеної на транспортному засобі, і від системи збору інформації, що працює у взаємодії із водієм та інфраструктурою транспорту на основі поточного стану дорожніх, транспортних, кліматичних умов експлуатації і технічних споруд, в процесах порівняння з нормативними даними і даними попереднього контролю; відображення обстановки на ділянці руху автомобіля і результатів аналізу в реальному часі і за відповідними запитами; ідентифікацію предаварійного і аварійного станів шляху; архівування результатів моніторингу; розроблення рекомендацій щодо швидкісного режиму на ділянках руху транспортних засобів за результатами аналізу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.
2. Алексеев В.В. ГИС мониторинга транспортных сетей / В.В. Алексеев, Н.И. Куракина, Н.В. Орлова, А.А. Минина // Data+. Геоинформационные системы для бизнеса и общества. №2 (69). 2014 [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.dataplus.ru/news/arcview/detail.php?ID=17802&SECTION_ID=1058.
3. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей / [Н.Я.Говорущенко]. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 2084. – 312 с.
4. Гайдамакин Н.А. Автоматизированные информационные системы, базы и банки данных. Вводный курс: Учеб. Пособие. / Н.А. Гайдамакин – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 368 с.
5. Мауэргауз Ю.Е. Информационные системы промышленного менеджмента / Ю.Е. Мауэргауз – М.: Филинь, 1999.
6. Кулешов А.П. Информационная модель как основа проектирования корпоративных автоматизированных информационных систем / А.П. Кулешов // Информационные технологии. – 2006. – № 3. – С. 26–30.
7. Атрощенко В.А. К вопросу выбора алгоритмов решения задачи синтеза оптимальных структур распределенных баз данных на предприятиях хлебопекарной промышленности / В.А. Атрощенко, Д.В. Тишковский // Пищевые технологии КубГТУ. 2009. – №4.
8. Тишковский Д.В. Особенности методики создания информационной системы предприятий хлебопекарной промышленности/ Д.В. Тишковский // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: www.science-education.ru/104-6824 (дата обращения: 10.10.2012).
9. Фомін О.В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів //Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. – Кременчук: КДПУ. – 2013. – С. 87–91.
10. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
11. Fomin, O. Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O.V. Fomin, O.V. Burlutsky, Yu.V. Fomina / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 2 – P.250-256.
12. Атрощенко В.А. Технические возможности повышения ресурса автономных электростанций энергетических систем. Монография / В.А. Атрощенко, Ю.Д. Шевцов, П.В. Яцынин, Р.А. Дьяченко, М.Н. Педько. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2010. – 192 с.
13. Махаммад М.Д. Разработка информационной системы для дизельных электростанций с возможностями прогноза их технического состояния: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.01 / Махаммад Мааз Джасем Махаммад; ГОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар, 2009. – 23 с.
14. Современные методологии описания бизнес-процессов – просто о сложном / Методология DFD в нотациях Гейна-Сарсона и Йордана-Де Марко [Электронный ресурс] / Betek К вершинам мастерства – Режим доступа: <http://www.betec.ru/index.php?id=6&sid=29> – 04.12.2016 г.
15. Волков В.П. Формування предметної області інформаційної системи оцінювання параметрів технічного стану транспортного засобу в умовах експлуатації / В.П. Волков, І.В. Гришук, Ю.В. Гришук, Ю.В. Волков// Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та

науці. Збірник наукових праць за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції. – Харків, ХНАДУ, 2017. – С. 33 – 35.

*Volodymyr Volkov, Doctor of Technical Sciences, Full Professor
(Head of the Department of «Technical operation and service vehicles», Kharkiv National Automobile and Highway University)*

*Igor Gritsuk, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
(Associate Professor of the Department of «Technical operation and service vehicles», Kharkiv National Automobile and Highway University)*

*Yurii Grytsuk, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor
(Acting Head of the Department of general engineering training, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture)*

*Yurii Volkov
(Postgraduate Student at the Department of «Technical operation and service vehicles», Kharkiv National Automobile and Highway University)*

THE PECULIARITIES OF FORMING OF INFORMATION SYSTEM OF CLASSIFICATION OF EXPLOITING A TRANSPORTATION MEANS

In the article the approach to the information system of classification conditions of vehicles. The proposed approach to operating conditions to determine the influence of the main stages of processing the information received about the technical condition of the vehicle by means of information software, namely conducting identification of the vehicle in the surrounding space, monitors unsteady conditions; collect baseline data about the parameters of technical condition and position in space vehicle in operation; predicted parameters of the vehicle; performs authentication conditions; diagnose technical state collects messages and diagnostics data of the vehicle; verify that the actual condition of the vehicle obtained parameters and operating conditions and in the performance monitoring. Proposed in the paper system general information provision process monitoring parameters of technical condition of vehicles provides a complete collection and processing of information in real-time on-board information system monitor placed on the vehicle and the system of collecting information that works in conjunction with driver and transport infrastructure and roads based on the current state of the road, transport, climate conditions and technical installations in the process of comparison normative data and previous data control; reflects the situation in the area of vehicle movement and analysis in real time and on request; identifies emergency the state road; archiving monitoring results; develop recommendations for speeding in areas of vehicular traffic on the results of the analysis.

Keywords: *vehicle operating conditions, technique, monitoring, technical condition, infrastructure of roads, correction, parameters of technical condition*

REFERENCES

1. Hovorushchenko N.Ya., Turenko A.N. Systemotekhnika transporta (na primere avtomobylnoho transporta) [System engineering of transport (by the example of motor transport)]. Kharkov, RYO KhHADTU, 1999, 468 p.
2. Alekseev V.V., Kurakyna N.I., Orlova N.V., Mynyna A. A. (2014) HYS monitorynha transportnykh setei [GIS monitoring of transport networks]. Data+. Heoynformatsyonnye systemy dlia byznesa y obshchestva – Data +. Geoinformation systems for business and society 2014, №2 (69). Available at: https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=17802&SECTION_ID=1058

3. *Hovorushchenko N. Ya.* Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobyley [Technical operation of cars]. Khar'kov, Vyshcha shkola Publ., 1984. 312 p.
4. *Gaydamakin N.A.* Avtomatizirovannyye informatsionnyye sistemy, bazy i banki dannykh. Vvodnyy kurs: Ucheb. Posobie. [Automated information systems, databases and data banks. Introductory course: Textbook.]. Moscow. Gelios ARV, 2002. – 368 p.
5. *Mauergauz Yu.E.* Informatsionnyye sistemy promyshlennogo menedzhmenta. [Information systems of industrial management]. Moscow. Filin', 1999.
6. *Kuleshov A.P.* Informatsionnaya model kak osnova proektirovaniya korporativnykh avtomatizirovannykh informatsionnykh sistem [Information model as a basis for designing corporate automated information systems]. Informatsionnyye tehnologii – Information Technology. 2006. issue 3. pp. 26-30.
7. *Atroschenko V.A., Tishkovskiy D.V.* K voprosu vyibora algoritmov resheniya zadachi sinteza optimalnykh struktur raspredelennykh baz dannykh na predpriyatiyah hlebopekarnoy promyshlennosti [On the choice of algorithms for solving the problem of synthesis of optimal structures of distributed databases at bakery enterprises] Pischevyie tehnologii KubGTU – Food technologies of Kuban State Technical University. 2009. Issue 4.
8. *Tishkovskiy D.V.* Osobennosti metodiki sozdaniya informatsionnoy sistemy predpriyatiy hlebopekarnoy promyshlennosti [Features of the methodology for creating an information system for bakery industry enterprises] Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. 2012. issue 4. Available at: www.science-education.ru/104-6824.
9. *Fomin O. V.* Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vahoniv // Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho». – Kremenchuk: KDPU. – 2013. – №. 6. – С. 83.
10. *Fomin, O.V.* Koncepcija ideal'nykh kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
11. *Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V.* Development and application of cataloging in structural design of freight car building // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, no. 2, pp. 250–256.
12. *Atroschenko V.A., Shevtsov Yu.D., Yatsynin P.V., Dyachenko R.A., Pedko M.N.* Tehnicheskie vozmozhnosti povysheniya resursa avtonomnykh elektrostantsiy energeticheskikh sistem. Monografiya. [Technical possibilities of increasing the life of autonomous power plants of power systems. Monograph] Krasnodar, Izdatelskiy Dom Yug, 2010, 192 p.
13. *Mahammad M.D.* Razrabotka informatsionnoy sistemy dlya dizelnykh elektrostantsiy s vozmozhnostyami prognoza ih tehnikeskogo sostoyaniya. Avtoreferat Diss. [Development of an information system for diesel power plants with the possibility of forecasting their technical condition. Author's abstract]: Krasnodar, 2009. 23 p.
14. *Sovremennyye metodologii opisaniya biznes-protsessov – prosto o slozhnom / Metodologiya DFD v notatsiyah Geyna-Sarsona i Yordana-De Marko* [Modern methodologies for describing business processes – just about complex / DFD methodology in notations of Hein-Sarson and Jordan-De Marco] Available at: <http://www.betec.ru/index.php?id=6&sid=29>
15. *Volkov V.P., Gritsuk I.V., Gritsuk Yu.V., Volkov Yu.V.* Formuvannya predmetnoyi oblasti informatsiynoyi sistemi otsinyuvannya parametrivv tehnikhnogo stanu transportnogo zasobu v umovah ekspluatatsiyi [Formation domain information system parameter estimation technical state of vehicles in operation] Sinergetika, mehatronika, telematika dorozhnykh mashin i sistem u navchalnomu protsesi ta nautsi. Zbirnik naukovykh prats za materialami mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi [Synergetics, mechatronics, telematics road machines and systems in education and science. Proceedings of the materials of international scientific conference]. Harkiv, HNADU, 2017, pp. 33 – 35

УДК 629.4.027.11

І. Е. Мартинов, д.т.н., проф.

(завідувач кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)

І. М. Афанасенко

(старший викладач кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)

С. В. Перешивайлов

(старший викладач кафедри вагонів, Український державний університет залізничного транспорту)

НОВІ АСПЕКТИ ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ, ДІЮЧОГО НА ПІДШИПНИК БУКСОВОГО ВУЗЛА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

Надійність буксових вузлів вагонів значною мірою обумовлена безвідмовністю та довговічністю підшипників.

З багаторічного досвіду експлуатації циліндричних підшипників з короткими роликами типу 2726 в буксових вузлах вантажних вагонів встановлено, що їх номінальна (розрахункова) довговічність вища їх фактичного строку служби. Чисельне визначення номінальної довговічності по втомі підшипників типу 2726 дає результат вищий в 3-7 разів, ніж їх фактичний строк служби.

Метою статті є визначення навантажень, діючих на підшипники буксових вузлів вантажних вагонів, з урахуванням експлуатаційних чинників.

При визначенні навантаження, діючого на підшипник буксового вузла вантажного вагона, враховувалася сумісна дія вертикальних сил, що співпадають за напрямком та передаються безпосередньо на найбільш завантажений підшипник буксового вузла. Передбачається виникнення цих сил при одночасному проходженні вагоном кривої ділянки колії та взаємодії вагонів у складі поїзда.

Отримані результати розрахунку навантаження на буксовий вузол та еквівалентного динамічного навантаження на підшипник при різних швидкостях руху (0-120 км/год) та режимах завантаженості універсального чотиривісного напіввагона. Визначено вклад дії кожної зі складових вертикальних зусиль на загальний результат.

Наведені дослідження дозволять виконувати оцінку довговічності циліндричних підшипників з більшою точністю і дають можливість у подальшому корегувати загальновідомі у машинобудуванні моделі визначення довговічності підшипників букс вантажних вагонів фактичним умовам їх експлуатації.

Ключові слова: вантажний вагон, буксовий вузол, роликовий підшипник, еквівалентне динамічне навантаження, довговічність, надійність.

© Мартинов І. Е., Афанасенко І. М., Перешивайлов С. В., 2017

Надежность буксовых узлов вагонов в значительной мере обусловлена безотказностью и долговечностью подшипников.

Многолетним опытом эксплуатации цилиндрических подшипников с короткими роликами типа 2726 в буксовых узлах грузовых вагонов установлено, что их номинальная (расчетная) долговечность выше их фактического срока службы. Числовое определение номинальной долговечности по усталости подшипников типа 2726 дает результат выше в 3-7 раз, чем их фактический срок службы.

Целью статьи является определение нагрузок, действующих на подшипники буксовых узлов грузовых вагонов, с учетом эксплуатационных факторов.

При определении нагрузки, действующей на подшипник буксового узла грузового вагона, учитывалось совместное действие вертикальных сил, которые совпадают по направлению и передаются непосредственно на наиболее загруженный подшипник буксового узла. Предусматривается возникновение этих сил при одновременном прохождении вагоном кривого участка пути и взаимодействия вагонов в составе поезда.

Получены результаты расчета нагрузки на буксовый узел и эквивалентной динамической нагрузки на подшипник при разных скоростях движения (0-120 км/ч) и режимах загрузки универсального четырехосного полувагона. Показан вклад действия каждой составляющей вертикальных сил на общий результат.

Приведенные исследования позволят выполнять оценку долговечности цилиндрических подшипников с большей точностью и дадут возможность в дальнейшем корректировать общеизвестные в машиностроении модели определения долговечности подшипников букс грузовых вагонов фактическим условиям их эксплуатации.

Ключевые слова: грузовой вагон, буксовый узел, роликовый подшипник, эквивалентная динамическая нагрузка, долговечность, надежность.

Постановка проблеми. Під номінальною довговічністю підшипників розуміється розрахунковий термін служби, що вимірюється кількістю обертів, протягом якої не менше 90% із їх даної групи за однакових умов повинні відпрацювати без появи ознак втоми металу кілець та роликів [1, 3, 7]. Фактичний строк служби підшипників – це період часу, який досягається протягом їх експлуатації та визначається за результатами спостережень.

З-понад 60-річного досвіду експлуатації циліндричних підшипників з короткими роликами типу 2726 в буксових вузлах вантажних вагонів встановлено, що їх номінальна (розрахункова) довговічність вища їхнього фактичного строку служби. Чисельне визначення номінальної довговічності по втомі підшипників типу 2726 дає результат вище в 3-7 разів, ніж їх фактичний строк служби. Це приводить до передчасного бракування підшипників, зниження загальної надійності буксових вузлів, зниження безпеки руху поїздів, невірної визначення запасу нових підшипників і їх елементів на вагоноремонтних підприємствах та підвищення собівартості ремонту і витрат по утриманню вагонів.

Загальновідомі формули для визначення еквівалентного динамічного навантаження роликового радіального (циліндричного) підшипника не враховують дію осьового навантаження [1, 3, 4, 7, 8]. Осьові навантаження виникають через особливості конструкції триелементного візка вантажного вагона та передаються від бокової рами візка на корпус буксового вузла, а далі на підшипники. Про це свідчить поява надирів типу «ялинка» на торцях роликів та буртах кілець. В несприятливих умовах осьове навантаження може сягати величин близьких до 130 кН [5]. Виходячи з цього, припускаємо,

що визначення еквівалентного динамічного навантаження на підшипник типу 2726 букс вантажних вагонів, а отже і визначення його довговічності, потрібно виконувати, враховуючи сумісну дію осевого та радіального навантажень.

Визначення навантажень [5, 9, 11, 12], діючих на підшипники буксового вузла, з урахуванням особливостей експлуатації вантажних вагонів та нерівномірного розподілу навантаження між рядами підшипників дозволить виконати розрахункову оцінку довговічності підшипників з більшою точністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Залежності для визначення еквівалентного динамічного навантаження на підшипник наведені в роботах [1-5, 7, 8, 10]. Необхідність якомога точніше визначати діючі на підшипник навантаження залежно від особливостей експлуатації механізму висловлюються в наукових працях [3, 5, 7, 9, 10-12].

Визначення еквівалентного динамічного навантаження підшипника [8] враховує лише дію статичної і динамічної вертикальної сили та не враховує температурний коефіцієнт. Температурний коефіцієнт враховує збільшення еквівалентного динамічного навантаження підшипника через зміну лінійних розмірів його деталей внаслідок теплового розширення металу. Автори наукових праць [1, 2, 4, 8] рекомендують приймати значення температурного коефіцієнту для підшипників вагонних букс рівним одиниці, виходячи з того, що при стаціонарній робочій температурі підшипників буксового вузла вплив теплового розширення металу підшипника незначний.

У дослідженнях [1, 2, 4, 8] враховується дія як радіального, так і осевого навантаження підшипника з урахуванням часток роботи вагона в порожньому та завантаженому станах. Але осьо́ва складова при безпосередньому розрахунку циліндричних підшипників типу 2726 нехтується (вважається, що циліндричні підшипники не сприймають осеві навантаження). Особливістю розрахунку еквівалентного динамічного навантаження для упорно-радіальних підшипників у [4] є врахування дії відцентрової сили, що діє на вагон в прямих та кривих ділянках колії, але тільки в осевому напрямку завантаження підшипника.

Рекомендоване значення коефіцієнта безпеки для вантажних вагонів, яким враховується збільшення діючих сил на підшипник, дорівнює 1,3-1,4 [1, 4, 5, 8]. Це припущення є узагальненим і не враховує фактичного рівня завантаженості підшипника буксового вузла вантажного вагона.

В дослідженні [6] доведено, що навантаження на буксу розподіляється нерівномірно між заднім та переднім підшипниками буксового вузла. При цьому задній підшипник завантажується на 68% від навантаження, що діє на буксовий вузол. Таке розподілення навантажень між заднім та передніми підшипниками виникає через різницю величин статичних деформацій шийки вісі відносно точки її защемлення.

Мета статті – визначення навантажень, діючих на підшипники буксових вузлів вантажних вагонів, з урахуванням експлуатаційних чинників.

Виклад основного матеріалу дослідження. Переважна більшість вантажних вагонів обладнана двовісними триелементними візками, до складу яких входять дві колісні пари з двома буксовими вузлами кожна. В буксовому вузлі розташовані два циліндричних роликівих підшипники типу 2726 [1, 5, 9]. Найбільш розповсюдженим типом вантажного вагона колії 1520 мм є універсальний чотиривісний напіввагон.

При визначенні навантаження, діючого на підшипник буксового вузла вантажного вагона, враховувалася сумісна дія вертикальних сил, що співпадають за напрямком та передаються безпосередньо на найбільш завантажений підшипник буксового вузла. Передбачається виникнення цих сил при одночасному проходженні вагоном кривої ділянки колії та взаємодії вагонів у складі поїзда.

Нерівномірний розподіл навантаження між заднім та переднім підшипниками букси вантажного вагона є наслідком конструкційних особливостей бокової рами триеле-

ментного візка. Тобто, нерівномірний розподіл виникає через недосконалість взаємодії опорної поверхні щелепи бокової рами візка та корпуса букси.

Прийнято, що частки експлуатації вантажного вагона у порожньому та завантаженому стані дорівнюють відповідно 0,3 та 0,7.

Величина вертикальної складової відцентрового навантаження, а отже, і еквівалентне динамічне навантаження на підшипник, залежить від радіуса кривої ділянки колії, підвищення зовнішньої рейки та швидкості руху вагона. При розрахунку обрані радіус кривої, що дорівнює 250 м, і підвищення зовнішньої рейки – 0,15 м. Збільшення чи зменшення радіуса відповідно приведе до зменшення чи до підвищення радіального еквівалентного навантаження на підшипник. Зменшення величини підвищення зовнішньої рейки приведе до зниження еквівалентного динамічного навантаження на підшипник у випадку руху вагона по кривій ділянці колії.

Еквівалентне динамічне навантаження на підшипник визначається за формулою

$$P_e = \sqrt[3,33]{\alpha_1 F_{r1}^{3,33} + \alpha_2 F_{r2}^{3,33}} \cdot K_T, \quad (1)$$

де F_{r1} , F_{r2} – відповідно радіальне навантаження на підшипник у порожньому та завантаженому вагоні, кН;

α_1 , α_2 – відповідно частка використання вагона у порожньому та завантаженому стані;

K_T – температурний коефіцієнт.

Радіальне навантаження на підшипник при різних режимах завантаженості вагона з урахуванням нерівномірності розподілення навантаження між рядами підшипників, що діє на буксовий вузол, визначається за формулою

$$F_{rj} = \frac{F_{Bj}}{i} K_{npr}, \quad (2)$$

де F_{Bj} – радіальне навантаження, що діє на буксовий вузол, при різних режимах завантаженості вагона, кН;

i – кількість підшипників у буксовому вузлі;

K_{npr} – коефіцієнт нерівномірного розподілу радіального навантаження між підшипниками буксового вузла (для заднього підшипника $K_{npr} = 1,36$).

Радіальне навантаження, діюче на найбільш завантажений буксовий вузол, при різних режимах завантаженості вагона визначається за формулою

$$F_{Bj} = P_{cmj} + P_{oj}(v) + P_{uj}(v) + P_{\sigma} + P_{inj}, \quad (3)$$

де P_{cmj} – вертикальне статичне навантаження, кН;

$P_{oj}(v)$ – вертикальне динамічне навантаження, що залежить від швидкості руху, кН;

$P_{uj}(v)$ – вертикальна складова від дії відцентрового навантаження, кН;

P_{σ} – вертикальна складова від дії вітрового навантаження, кН;

P_{inj} – вертикальне інерційне навантаження, кН.

Вертикальне статичне навантаження на буксовий вузол визначається за формулами:

- у порожньому стані вагона

$$P_{cm1} = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{n} - m_{kn} \right) \cdot g; \quad (4)$$

- у завантаженому стані вагона

$$P_{cm2} = \frac{1}{2} \left(\frac{T+P}{n} - m_{kn} \right) \cdot g, \quad (5)$$

де T – тара вагона, т;

P – вантажопідйомність вагона, т;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

m_{kn} – маса колісної пари, т;

n – вісність вагона.

Вертикальне динамічне навантаження на буксовий вузол визначається за формулою

$$P_o(v) = P_{cm} \cdot K_{oe}(v), \quad (6)$$

де $K_{oe}(v)$ – коефіцієнт вертикальної динаміки, який залежить від швидкості руху.

Вертикальне динамічне навантаження на буксовий вузол визначається відповідно для завантаженого та порожнього стану вагона.

Вертикальна складова на буксовий вузол від дії відцентрового навантаження визначається за формулою

$$P_u(v) = \frac{H_u(v) \cdot h_u}{n \cdot 2b_2}, \quad (7)$$

де $H_u(v)$ – відцентрове навантаження на вагон, що залежить від швидкості руху, кН;

h_u – відстань від центру ваги вагона до осі колісної пари, м;

$2b_2$ – відстань між серединами шийок вісі колісної пари, м.

Відцентрове навантаження на вагон та відстань від центру ваги вагона до осі колісної пари визначаються відповідно для завантаженого та порожнього стану вагона.

Вертикальна складова на буксовий вузол від дії вітрового навантаження визначається за формулою

$$P_e = \frac{H_e \cdot h_e}{n \cdot 2b_2}, \quad (8)$$

де H_e – вітрове навантаження на вагон, кН;

h_e – відстань від центру прикладення вітрового навантаження до осі колісної пари, м.

Вертикальне інерційне навантаження на буксовий вузол визначається за формулами:

- у порожньому стані вагона

$$P_{inl} = \frac{N}{2n'} \left(1 - \frac{2m_e}{T} \right) \frac{h_k}{2l}, \quad (9)$$

- у завантаженому стані вагона

$$P_{in2} = \frac{N}{2n'} \left(1 - \frac{2m_e}{T + P} \right) \frac{h_k}{2l}, \quad (10)$$

де N – повздовжнє навантаження вагона, кН;

n' – вісність візка;

m_e – маса візка, т;

$2l$ – база вагона, м;

h_k – відстань від точки прикладення повздовжнього навантаження до центру ваги вагона, м.

Результати розрахунку навантаження на буксу для напіввагона моделі 12-7023 відповідно у завантаженому та порожньому стані наведені на рис. 1. та рис. 2.

Аналізуючи результати розрахунку видно, що вертикальна складова від відцентрового навантаження починає завантажувати зовнішню буксу при швидкостях руху більше 60 км/год. Це виникає через підвищення зовнішньої рейки в кривій ділянці колії. Величина вертикальної складової від вітрового навантаження має найменші значення. Вертикальне інерційне навантаження має вагому частку від загального навантаження, що діє на буксу.

На рис. 3 представлені результати розрахунку еквівалентного динамічного навантаження на задній підшипник зовнішнього буксового вузла відносно радіусу кривої ділянки колії в залежності від швидкості руху вагона.

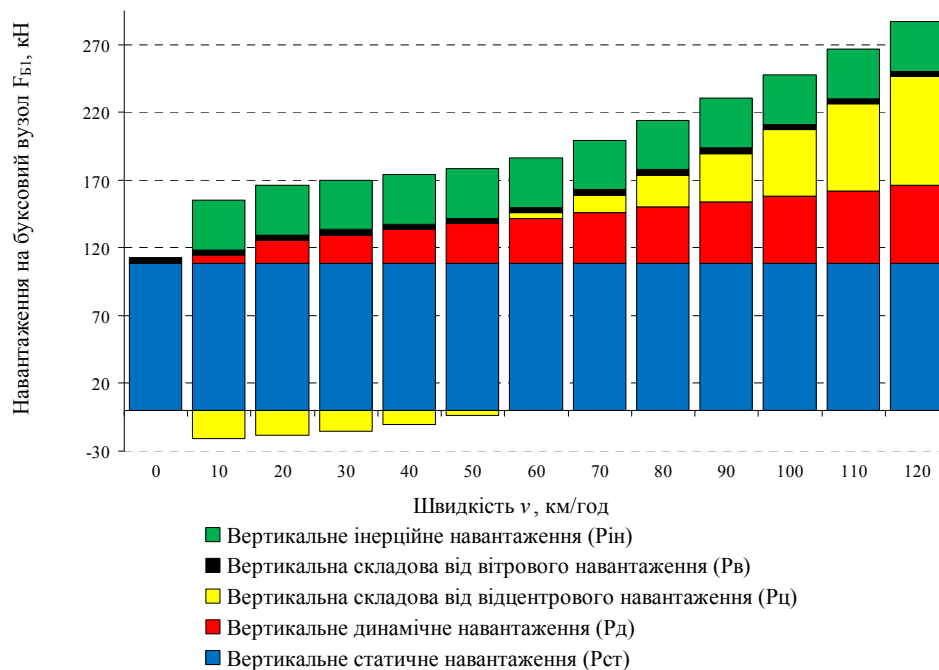


Рис. 1. Залежність навантаження на буксу при повному завантаженні вагона від швидкості його руху

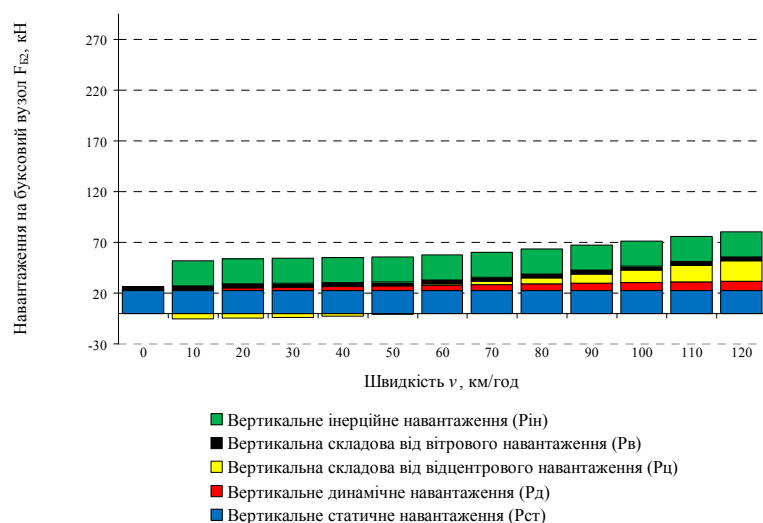


Рис. 2. Залежність навантаження на буксу при порожньому стані вагона від швидкості його руху

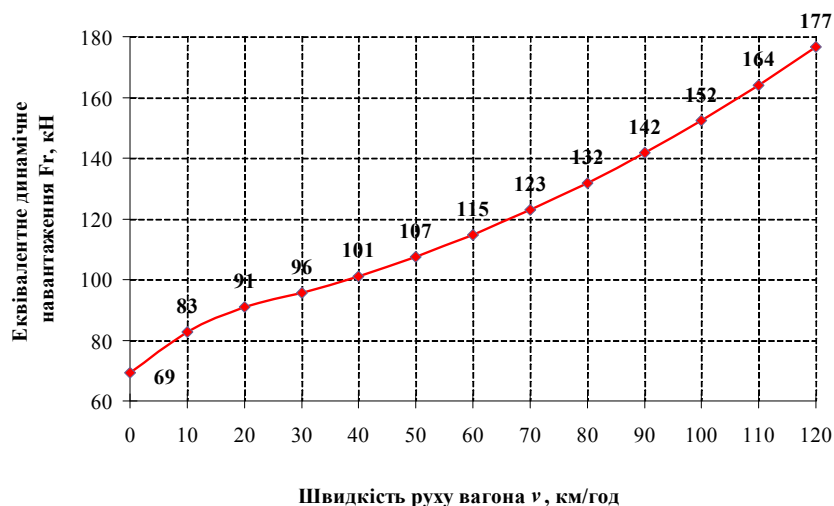


Рис. 3. Еквівалентне динамічне навантаження на підшипник в залежності від швидкості руху вагона

Висновки та пропозиції. Отримані значення еквівалентного динамічного навантаження підшипника типу 2726 букси вантажного вагона з урахуванням нерівномірного розподілу навантаження на буксу між рядами підшипників та з розширенням несприятливих умов його завантаженості.

Наведені дослідження дозволять виконувати оцінку довговічності циліндричних підшипників з більшою точністю і дають можливість у подальшому корегувати загальновідомі у машинобудуванні моделі визначення довговічності підшипників букс вантажних вагонів фактичним умовам їх експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горбенко, А. П. Конструювання та розрахунки вагонів : навч. посіб. / А. П. Горбенко, І. Е. Мартинов ; Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х. : УкрДАЗТ, 2007. – 150 с.
2. ГОСТ 18855–94. Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс (долговечность) ; (ISO 281:1990). – Введ. 1996–02–21. – М. : Стандартинформ, 2009. – 24 с.
3. Детали машин и основы конструирования : учеб. для вузов / Г. И. Рошин, Е. А. Самойлов [и др.] ; под ред. Г. И. Рошина и Е. А. Самойлова. – М. : Дрофа, 2006. – 415 с.
4. Конструирование и расчет вагонов : учебник / В. В. Лукин [и др.] ; под ред. П. С. Анисимова. – М. : ФГОУ «Учебно-методический центр на железнодорожном транспорте», 2011. – 688 с.
5. Мартинов, І. Е. Розвиток методів розрахунку та випробувань буксових підшипникових вузлів вантажних вагонів з урахуванням особливостей їх експлуатації : дис. д-ра. техн. наук : 05.22.07 / Мартинов Ігор Ернстович ; Укр. держ. академія залізничного тр-ту. – Х., 2009. – 431 с. – Бібліогр. : с. 305-345.
6. Мартинов, І. Е. Дослідження напружено-деформованого стану елементів буксових підшипникових вузлів / І. Е. Мартинов, В. О. Шовкун // Зб. наук. пр. / Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2013. – Вип. 139. – С. 226-229.
7. Нарышкина, В. Н. Подшипники качения : справочник-каталог / В. Н. Нарышкина, Р. В. Корсташевский [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
8. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 356 с.
9. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas / M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 2014. – No. 6 – P. 64-67.
10. SKF. Общий каталог, 2006. – 1129 с.
11. Мороз, В. І. «Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності.» Зб. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ (2009): 121-131.
12. Кельріх, М.Б. Впровадження круглих труб в несучі системи критих вагонів з забезпеченням раціональних показників міцності / М.Б.Кельріх, // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 5/7(25) – С. 41-44.

Igor Martinov, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Head of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)
Igor Afanasenko
(Senior lecturer of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)
Sergii Pereshyvjlov
(Senior lecturer of Department Vagons, Ukrainian State University of Railway Transport)

THE NEW ASPECTS OF DETERMINING LOAD ACTING ON THE BEARING AXLE BOX OF FREIGHT CAR

The reliability of the axle boxes is largely due to the reliability and durability of the bearings.

With more than a long experience of operating cylindrical bearings with short rollers of type 2726 in the axle boxes of freight cars it is established that their nominal (calculated) durability is higher than their actual service life.

The purpose of the article is to determine the loads acting on the bearings of the axle boxes of freight cars taking into account the operational factors.

To determine the load acting on the bearing of the axle box of a freight car, the joint action of the vertical forces was taken into account. These forces coincide in direction and are transmitted directly to the busiest bearing of the axle box. It is assumed that these forces arise when the car passes the curve of the section of the track and the interaction of the cars in the train.

The have been received the results of calculating the load on the axle boxes and the equivalent dynamic load on the bearing at various speeds and the modes of loading of the universal four-axle car. The action of each component of vertical forces on the overall result has been given.

The above studies will make it possible to evaluate durability of cylindrical bearings with greater accuracy and make it possible to have a further correction of the well-known building models in machinery to determine durability of bearing boxes of freight cars to the actual conditions of their operation.

Keywords: freight car; axle box; roller bearing; equivalent dynamic bearing load; durability; reliability.

REFERENCES

1. Gorbenko, A. P. Konstruyuvannya ta rozrahunki vagoniv : navch. poslb. [Design and calculations cars: teach. guidances]/ A. P. Gorbenko, I. E. Martinov ; Ukr. derzh. akad. zallznich. transp. – H. : UkrDAZT, 2007. – 150 s.
2. GOST 18855–94. Podshipniki kacheniya. Dinamicheskaya raschetnaya gruzopod'yomnost i raschetnyy resurs (dolgovechnost) ; [Rolling bearings. Dynamic design load capacity and design life (durability)] (ISO 281:1990). – Vved. 1996–02–21. – M. : Standartinform, 2009. – 24 s.
3. Detali mashin i osnovyi konstruirovaniya : ucheb. dlya vuzov [Machine parts and design basics: book for universities]/ G. I. Roschin, E. A. Samoylov [i dr.] ; pod red. G. I. Roschina i E. A. Samoylova. – M. : Drofa, 2006. – 415 s.
4. Konstruirovaniye i raschet vagonov : uchebnik [Design and calculation cars: book] / V. V. Lukin [i dr.] ; pod red. P. S. Anisimova. – M. : FGOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr na zheleznodorozhnom transporte», 2011. – 688 s.
5. Martinov, I. E. Rozvitok metodiv rozrahunku ta viprobuvan bukovih pidshipnikovih vuzliv vantazhnih vagoniv z urahuvannyam osoblivostey Yih ekspluatatsiyi [The development of methods calculation and testing axle bearing units of freight cars with the peculiarities of operation]: dis. d-ra. tehn. nauk : 05.22.07 / Martinov Igor Ernstovich ; Ukr. derzh. akademiya zallznichnogo tr-tu. – H., 2009. – 431 s. – Bibliogr. : s. 305-345.
6. Martinov, I. E. Doslidzhennya napruzhenno-deformovanogo stanu elementiv bukovih pidshipnikovih vuzliv [The study stressed-strained state of axle bearing units] / I. E. Martinov, V. O. Shovkun // Zb. nauk. pr. / Ukr. derzh. akad. zallznich. transp. – H., 2013. – Vip. 139. – S. 226-229.
7. Naryishkina, V. N. Podshipniki kacheniya : spravochnik-katalog [Rolling bearings: reference book] / V. N. Naryishkina, R. V. Korstashevskiy [i dr.]. – M. : Mashinostroenie, 1984. – 280 s.
8. Normy rascheta i proektirovaniya vagonov zheleznix dorog MPS kolei 1520 mm (nesamohodnyh) s izmeneniyami i dopolneniyami [Norms calculating and designing railways carriages IPS gage railway 1520 mm(nesamohodnuh) s Changes and additions]./ – M.: GosNIIV-VNIIZhT, 1996. – 356 s.
9. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas / M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry», 2014. – No. 6 – P. 64-67.
10. SKF. Obshchiy katalog [Common catalog], 2006. – 1129 s.
11. Moroz V.I. (2009) Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materia-loyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity]. Zbirnyk naukovykh prats'[Collection of scientific papers]. Kharkiv. Ukrainian State University of Railway Transport. No 111, p.p. 121-131.
12. Kel'rikh M.B. (2015) Vprovadzhennya kruhlykh trub v nesuchi systemy krytykh vahoniv z zabezpechenniam ratsional'nykh pokaznykiv mitsnosti [Introduction of round pipes in the bearing systems of covered wgons with providing rational indicators of durability]. Tekhnologicheskyy audit i rezervy proizvodstva [Technological audit and reserves of production]. Kharkiv, No 5/7(25), p.p. 41-44.

УДК 629.113.004

*С. І. Кривошапов, к.т.н., доцент**(доцент кафедри «Технічна експлуатація і сервіс автомобілів ім. проф. Говорущенка Н.Я.», Харківський національний автомобільно-дорожній університет)*

ОЦІНКА ВИТРАТ НА ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Умови експлуатації впливають на надійність і довговічність машини. У законодавстві України не передбачено механізму коригування пробігу і трудомісткості технічного обслуговування автомобіля в процесі життєвого циклу. Мета роботи – зв'язати вартість технічного обслуговування і ремонту з умовами експлуатації автомобілів. Отримано взаємозв'язок між параметрами руху автомобіля і періодичності технічного обслуговування. Передбачається, що коригування пробігу між обслуговуванням транспортного засобу здійснювати за допомогою поправочного коефіцієнта. Трудомісткість робіт також коригується цим коефіцієнтом, але в зворотній пропорційності. У цій статті виведена формула для розрахунку цього поправочного коефіцієнта. На прикладі автомобіля Skoda Octavia розраховані витрати, необхідні на обслуговування і ремонт, для різних категорій доріг. Побудовано графіки зміни експлуатаційних витрат на ТО і ремонт транспортного засобу в залежності від середньої технічної швидкості автомобіля. Вперше враховано ступінь завантаження автомобіля при нормуванні періодичності технічного обслуговування. Математична модель рекомендується застосовувати на підприємствах автомобільного транспорту для підвищення рівня надійності та довговічності машин за рахунок проведення своєчасного обслуговування і ремонту в складних експлуатаційних умовах.

Ключові слова: транспортний засіб, надійність, ресурс, профілактичне обслуговування, поточний ремонт, умови експлуатації, математичне моделювання.

Условия эксплуатации влияют на надежность и долговечность машины. В законодательстве Украины не предусмотрен механизм корректировки пробега и трудоемкости технического обслуживания автомобиля в процессе жизненного цикла. Цель работы – связать стоимость технического обслуживания и ремонта с условиями эксплуатации автомобилей. Получена взаимосвязь между параметрами движения автомобиля и периодичностью технического обслуживания. Предполагается, что корректировку пробега между обслуживаниями транспортного средства осуществляют с помощью поправочного коэффициента. Трудоемкость работ также корректируется этим коэффициентом, но в обратной пропорциональности. В этой статье выведена формула для расчета этого поправочного коэффициента. На примере автомобиля Skoda Octavia рассчитаны затраты, необходимые на обслуживание и ремонт, для разных категорий дорог. Построены графики изменения эксплуатационных затрат на ТО и ремонт транспортного

© Кривошапов С. І., 2017

средства в зависимости от средней технической скорости автомобиля. Впервые учтена степень загрузки автомобиля при нормировании периодичности технического обслуживания. Математическая модель рекомендуется применять на предприятиях автомобильного транспорта для повышения уровня надежности и долговечности машин за счет проведения своевременного обслуживания и ремонта в сложных эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: транспортное средство, надежность, ресурс, профилактическое обслуживание, текущий ремонт, условия эксплуатации, математическое моделирование.

Постановка проблеми. На ефективність експлуатації транспортних машин впливає довговічність основних агрегатів і вузлів. Конструкторами при проектуванні та заводом при виготовленні закладається певний рівень надійності. В період експлуатації, під впливом навколишнього середовища, в вузлах автомобіля відбуваються незворотні процеси, які призводять до відмов як окремих вузлів і систем, так машини в цілому. Для уповільнення негативних процесів порушення працездатності в період життєвого циклу проводяться профілактичні обслуговування (ЩО, ТО, СО), якщо настає відмова, то виконується поточний ремонт (ПР) машини. В кінці циклу [7-9] транспортний засіб вилючається з експлуатації та піддається капітальному ремонту (КР) або утилізації.

Проведення технічного обслуговування та поточного ремонту машин пов'язано з вимущеними витратами часу, матеріальних і фінансових ресурсів. Скорочення періодичності профілактичних робіт зумовлює збільшення витрат на проведення ТО, але знижує ймовірність аварійної відмови машини на лінії. Збільшення періодичності ТО – знижує їх кількість, але збільшує трудовитрати з відновлення. Оптимальна періодичність технічних впливів настає при балансі всіх витрат.

Транспортні машини працюють в різних умовах експлуатації. На ефективність роботи впливають дорожні, транспортні, атмосферно-кліматичні умови і культура праці [1]. Але найбільший вплив на надійність транспортних машин має стан поверхні дороги, який в нашій країні не завжди відповідає нормативним вимогам [2]. Поганий стан дороги призводить до підвищених витрат енергії в підвісці автомобіля і надмірному динамічному навантаженню в трансмісії при передачі крутного моменту від двигуна до коліс, що негативно позначається на технічному стані у цих системах. В складних умовах необхідно знижувати періодичність профілактичних робіт та збільшувати трудомісткість відновлювальних робіт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зараз в Україні прийнята планово-попереджувальна система технічного обслуговування [3]. Це положення встановлює перелік технічних впливів, періодичність і трудомісткість профілактичних та ремонтних робіт. Однак, коригування періодичності і трудомісткості ТО, пробіг до КР в залежності від умов експлуатації транспортних засобів в цьому законодавстві не передбачено.

У діючій системі технічного обслуговування періодичність і ресурс транспортних машин нормується тільки в кілометрах. У складних дорожніх умовах експлуатації, коли швидкість руху знижується, збільшується час роботи автомобіля за який він проїде встановлене нормативне значення пробігу. У дуже складних умовах необхідно відмовлятися від методу обліку напрацювання за відстанню та переходити до обліку за час роботи (в мотто-годинах), як це рекомендовано для будівельних і сільськогосподарських машин.

У методиці [4], яка була актуальна в Україні до 1998 р., проводилося коригування періодичності і трудомісткості через коефіцієнти $K_1 \dots K_5$, які враховують: тип доро-

жнього покриття і рельєф місцевості, природно-кліматичні умови, пробіг автомобіля з початку експлуатації, розмір підприємства і кількість технологічно сумісних груп рухомого складу. Всі дороги розбиті на 5 категорій, від цементобетонних і асфальтобетонних доріг першої категорії, до природних ґрунтових доріг, які не мають твердого покриття та відповідають п'ятій категорії.

Методика [5] реалізує систему ТО і Р за фактичним станом, а коригування періодичності і трудомісткості ТО, пробіг до КР проводиться за єдиним показником, який визначається через співвідношення середньої і максимальної технічної швидкості.

Аналіз показує, що немає єдиного підходу до коригування періодичності і трудомісткості ТО машин, а отже, до витрат, які залежать від умов експлуатації.

Мета статті. Метою дослідження є розробка розрахункового методу визначення вартості на проведення технічних впливів транспортних машин в складних умовах експлуатації. Для цього необхідно скласти математичну модель взаємозв'язку стану дороги з пробігом між обслуговуванням і ремонтом автомобіля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Положення [3] встановлює певні види ТО і ремонту транспортних машин: підготовку до продажу; ТО в період обкатки; ЩО; ТО-1; ТО-2; СО; ПР; КР; ТО при консервації ДТЗ; ТО і ремонт ДТЗ на лінії. Частина робіт носить разовий або епізодичний характер. Розглянемо лише періодичні види впливів (ЩО, ТО-1, ТО-2 і ПР).

Розрахунок витрат на обслуговування і ремонт автомобіля за рік можна оцінити за такою формулою:

$$З_{ТОР} = З_{ЕО} + З_{ТО-1} + З_{ТО-2} + З_{ТР} = C_{ЕО} \cdot D_{Г} + C_{ТО-1} \cdot N_{ТО-1} + C_{ТО-2} \cdot N_{ТО-2} + C_{ТР} \cdot L_{Г} \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де $З_{ЕО}$, $З_{ТО-1}$, $З_{ТО-2}$ і $З_{ТР}$ – витрати на ЩО, ТО-1, ТО-2 і ПР, відповідно, грн.; $C_{ЕО}$, $C_{ТО-1}$ і $C_{ТО-2}$ – вартість проведення одного ЩО, ТО-1, ТО-2, відповідно, грн.; $C_{ТР}$ – собівартість ПР, грн/1000 км; $D_{Г}$ – кількість робочих днів експлуатації автомобіля, днів; $N_{ТО-1}$ і $N_{ТО-2}$ – відповідно, кількість обслуговувань ТО-1 і ТО-2 за рік, од.; $L_{Г}$ – річний пробіг автомобіля, км.

Кількість робіт по ТО за рік можна розрахувати за такими формулами:

$$N_{ТО-2} = \frac{L_{Г}}{L^{н}_{ТО-2}}; \quad N_{ТО-1} = \frac{L_{Г}}{L^{н}_{ТО-1}} - N_{ТО-2}, \quad (2)$$

де $L^{н}_{ТО-1}$ и $L^{н}_{ТО-2}$ – нормативна періодичність ТО-1 і ТО-2, км.

Собівартість виконання одного обслуговування наближено можна визначити через годинний тариф T на виконання робіт:

$$C_{ЕО,ТО-1,ТО-2,ТР} = T_{ЕО,ТО-1,ТО-2,ТР} \cdot t_{ЕО,ТО-1,ТО-2,ТР} = (T_{НЧ} + T_{ТМЦ}) \cdot t_{ЕО,ТО-1,ТО-2,ТР}, \quad (3)$$

де $T_{НЧ}$ – вартість нормо-години на проведення робіт, грн/год.; $T_{ТМЦ}$ – питома вартість товарно-матеріальні цінності, грн/год.; $t_{ЕО,ТО-1,ТО-2}$ – нормативна трудомісткість за видами впливу, люд.год.; $t_{ТР}$ – нормативна трудомісткість ПР, люд.год./1000 км.

З урахуванням виразів (2) і (3) залежність (1) набуде вигляду

$$З_{ТОР} = T_{ЕО} \cdot t_{ЕО} \cdot D_{Г} + L_{Г} \cdot \left(\frac{T_{ТО} \cdot t_{ТО-2}}{L^{н}_{ТО-2}} + T_{ТО} \cdot t_{ТО-1} \cdot \left(\frac{1}{L^{н}_{ТО-1}} - \frac{1}{L^{н}_{ТО-2}} \right) + \frac{T_{ТР} \cdot t_{ТР}}{10^3} \right), \quad (4)$$

Розрахуємо витрати на ТО і ТР автомобіля Skoda Octavia (1,8 л). Прийнемо, що за рік автомобіль проїде $L_r = 60$ тис. км, при цьому він був в експлуатації $D_r = 205$ днів за рік. З [3] приймаємо: $t_{EO} = 0.5$ люд.год.; $t_{TO-1} = 2.9$ люд.год.; $t_{TO-2} = 11.7$ люд.год.; $t_{TP} = 3.2$ люд.год./1000 км; $L_{TO-2}^n = 20000$ км, $L_{TO-1}^n = 5000$ км. Тариф на обслуговування і ремонт автомобіля приймаємо – 50 грн. Тоді для автомобіля Skoda Octavia на ТО і ремонт за рік необхідно витратити

$$Z_{TOP} = 50 \cdot 0.5 \cdot 205 + 60000 \cdot (50 \cdot 11.7 / 20000 + 50 \cdot 2.9 \cdot (1 / 5000 - 1 / 20000) + 50 \cdot 3.2 / 1000) = 29530 \text{ грн.}$$

Якщо автомобіль проїде 210 000 км, то витрати на ТО і ПР складуть 90 тис. грн. Вартість нового автомобіля Skoda Octavia A7 сьогодні становить 17 000 \$ або 450 000 грн.

Завод виробник VW пропонує для автомобіля Skoda Octavia після гарантійного періоду проводити технічне обслуговування через 15 000 тис. км, чергуючи ТО-1 з ТО-2. Перше ТО-1 проводиться при пробігу 45 000 тис. км.

Розглянемо вартість ТО на СТО «АВТОСОЮЗ», яка розташована в м. Києві, і є дилерським центром концерну VW. Вартість нормо-години на технічне обслуговування легкового автомобіля Skoda Octavia становить 260 ... 325 грн залежно від пробігу, а вартість відновлювального ремонту – 312 грн. (http://avtosojuz.ua/technical_service_cost/). Середня питома вартість товарно-матеріальні цінності становить 1000 ... 2000 грн/год. Витрати на ТО при різних пробігах автомобіля наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Вартість обслуговування Skoda Octavia на СТО «Автосоюз»

Пробіг, км	Вартість ТО, грн	Видатковий матеріал, грн	Всього роботи, грн	Вартість матеріалів, грн	Загальна вартість, ТО, грн
45000	107,4	-	107,40	1411,87	1519,27
60000	343,68	107,4	451,08	2992,09	3443,17
75000	107,4	-	107,40	1411,87	1519,27
90000	343,68	193,32	472,56	5091,41	5563,97
105000	107,4	-	107,40	1411,87	1519,27
120000	343,68	107,4	451,08	2992,09	3443,17
135000	107,4	-	107,40	1411,87	1519,27
150000	343,68	107,4	451,08	2992,09	3378,73
165000	107,4	-	107,40	1411,87	1519,27
180000	343,68	193,32	472,56	5091,41	5628,41
195000	107,4	-	107,40	1411,87	1519,27
210000	343,68	107,4	451,08	2992,09	3378,73
Ітого	2706,48	816,24	3393,84	30622,4	33951,8

Якщо розрахунок проводити за формулою (4) з періодичністю, яка встановлена в положенні [3], і враховувати тільки витрати на ТО-1 і ТО-2, то на 60 тис. км пробігу необхідно затратити 14,8 тис. грн. Якщо ж проводити ТО з періодичністю заводу-виробника, то витрати на одне ТО-1 (при 45000 км) і одне ТО-2 (при 60000 км) складуть близько 5 тис. грн. При пробігу 210 тис. км розрахункові витрати за формулою (3) складуть 51,8 тис. грн, а за даними в табл. 1 – 34 тис. грн.

Рекомендована періодичність ТО-1 в 5000 км [3] для легкових автомобілів вже не відповідає сучасним рівням надійності. Необхідно в законодавстві встановлювати диференційовані нормативні значення періодичності ТО залежно від марки та моделі транспортного засобу.

Річний пробіг автомобіля можливо оцінити наступним чином

$$L_{\Gamma} = L_{CC} \cdot D_{\Gamma} = V \cdot T_H \cdot D_{\Gamma}, \quad (4)$$

де L_{CC} – середньодобовий пробіг автомобіля, км; V – середня експлуатаційна швидкість автомобіля, км/год.; T_H – час роботи автомобіля в наряді, год.

Перепишемо формулу (3) з урахуванням виразу (4). Тоді

$$Z_{TOP} = D_{\Gamma} \cdot (T_{EO} \cdot t_{EO} + V \cdot T_H \cdot (\frac{T_{TO} \cdot t_{TO-2}}{L_{TO-2}^n} + T_{TO} \cdot t_{TO-1} \cdot (\frac{1}{L_{TO-1}^n} - \frac{1}{L_{TO-2}^n}) + \frac{T_{TP} \cdot t_{TP}}{10^3})), \quad (5)$$

Зі зменшенням середньої швидкості автомобіля відстань, яку автомобіль подолає за рік, також знижується. Також зменшується кількість обслуговувань за рік, що зумовлює витрати на ТО і ТР. На рис. 1 наведено графік зміни вартості профілактичних і ремонтних робіт для автомобіля Skoda Octavia з урахуванням середньої експлуатаційної швидкості. Час в наряді приймався рівним 7 год. Якщо середню швидкість автомобіля прийняти 42 км/год., то можна отримати результати попереднього прикладу.

Зниження швидкості автомобіля може бути викликано погіршенням умов експлуатації. В таких умовах необхідно скорочувати періодичність ТО або збільшувати трудомісткість ТО і ТР.

В роботі [6] запропоновано аналітичний метод обчислення коригуючого коефіцієнта, який отримано методом подібності характеристики ресурсу автомобіля і витрати палива. Коригуючий коефіцієнт можна розрахувати так:

$$k_m = \left(\frac{7.95 \cdot K_c \cdot i_o \cdot i_{kp} \cdot V_{\max} \cdot a_m \cdot V_h}{r_k} + \frac{0.7 \cdot K_c^2 \cdot i_o^2 \cdot i_{kp}^2 \cdot V_{\max}^2 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n}{r_k^2} + \right. \\ \left. + \frac{100 \cdot (G_a \cdot 0.01 \cdot V_{\max} + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^3)}{\eta_{mp}} \right) \cdot \frac{V_a}{V_{an}} \left/ \left(\frac{7.95 \cdot K_c \cdot i_o \cdot i_{kp} \cdot V_{\max} \cdot a_m \cdot V_h}{r_k} + \right. \right. \quad (6) \\ \left. \left. + \frac{0.7 \cdot K_c^2 \cdot i_o^2 \cdot i_{kp}^2 \cdot V_{\max}^2 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n}{r_k^2} + \frac{100 \cdot (G_a \cdot 0.01 \cdot V_{\max} + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^3)}{\eta_{mp}} \right) \right.$$

де K_c – швидкісний коефіцієнт; i_o – передавальне число головної передачі; i_{kp} – передавальне число підвищеної (максимальної) передачі коробки передач; $V_{\max}$ – максимальна швидкість автомобіля, км/год.; a_m і b_m – коефіцієнти механічних втрат в двигуні; V_h – робочий об'єм циліндрів двигуна, л; r_k – динамічний радіус колеса, м; S_n – хід поршня, м; G_a – вага автомобіля в нормованому стані, Н; kF – фактор обтічності, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-2}$.

У загальну формулу коефіцієнта коригування періодичності (6) підставимо параметри автомобіля Skoda Octavia. Приймаються такі значення параметрів: $a_m = 45$ кПа, $V_h = 1.781$ л, $H_n = 44000$ кДж/кг, $c_m = 0.76$ г/см³, $K_c = 0.52$, $i_o = 3.647$, $i_{kp} = 0.8$,

$V_{\max} = 223$ км/год., $r_k = 0.3$ м, $b_m = 13$ кПа·с/м, $S_n = 0.081$ м, $G_a = 12606$ Н (для спорядженого автомобіля), $G_a = 17952$ Н (для повністю навантаженого автомобіля), $kF = 0.47$ Н·с²/м², $\eta_{mp} = 0.93$, $V_{an} = 90$ км/ч.

Тоді формула коефіцієнта коригування періодичності набуде вигляду для порожнього автомобіля:

$$k_m = \frac{9.16 \cdot V}{541 + 0.000389 \cdot V^3}. \quad (7)$$

Для повністю завантаженого автомобіля коефіцієнт коригування періодичності можна розрахувати так:

$$k_m = \frac{10.59 \cdot V}{669 + 0.000389 \cdot V^3}. \quad (8)$$

У табл. 2 наведені значення коефіцієнта коригування, який розраховано за формулами (7) і (8) для різних категорій доріг. Для порівняння наведені коефіцієнти коригування періодичності ТО за методиками [4] і [5]. Запропонована модель дає близькі значення коефіцієнта щодо наведених в інших джерелах.

Вплив ступеня завантаження автомобіля на періодичність та вартість ТО і ремонту автомобілів не враховувалися в інших методиках [3, 4, 5].

Для використання коефіцієнта коригування необхідно замінити нормативні значення L_{TO-2}^n і L_{TO-1}^n такими виразами:

$$L_{TO-2} = L_{TO-2}^n \cdot k_m \text{ и } L_{TO-1} = L_{TO-1}^n \cdot k_m. \quad (9)$$

Таблиця 2. Значення коефіцієнта коригування періодичність технічних обслуговувань які отриманих за різними методиками

Категорія умов експлуатації	Середня швидкість, км/год.	Коригування періодичності ТО			
		за методикою [5]	за методикою [6]	за формулою	
				(7)	(8)
1	90	1,0	1,0	1,0	1,0
2	72	0,9	0,9	0,96	0,94
3	55	0,8	0,77	0,83	0,79
4	46	0,7	0,67	0,72	0,69
5	40	0,6	0,59	0,65	0,61

Тоді

$$Z_{TOP} = D_r \cdot (T_{EO} \cdot t_{EO} + V \cdot T_H \cdot (\frac{T_{TO} \cdot t_{TO-2}}{L_{TO-2}^n \cdot k_m} + \\ + T_{TO} \cdot t_{TO-1} \cdot (\frac{1}{L_{TO-1}^n \cdot k_m} - \frac{1}{L_{TO-2}^n \cdot k_m}) + \frac{T_{TP} \cdot t_{TP}}{10^3}). \quad (10)$$

У формулі (9) коефіцієнт k_m пропорційно пов'язаний з L_{TO-2}^n і L_{TO-1}^n та обернено пропорційно пов'язаний з t_{TO-2} і t_{TO-1} . Отже, можна виконувати коригування витрат як по періодичності ТО, так і через трудомісткість ТО.

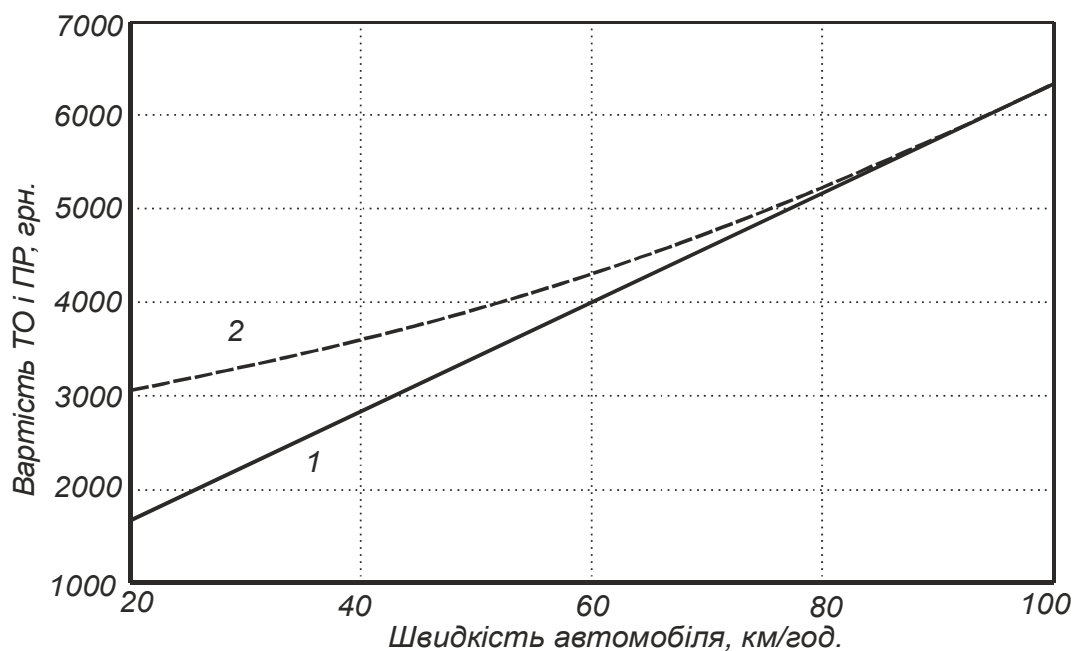


Рис. 1. Зміна вартості обслуговування і ремонту автомобіля Skoda Octavia від швидкості руху без урахування (1) і з урахуванням (2) умов експлуатації

На рис. 1 наведена графічна залежність зміни вартості ТО і ПР від швидкості руху при обліку умов експлуатації. У складних умовах експлуатації, коли швидкість автомобіля знижується, вартість витрат на ТО і ПР за формулою (10) більше ніж витрати, які розраховані за формулою (3). При середній швидкості 40 км/год. різниця становить близько 27 %, а при швидкості 30 км/год. – 47 %.

Ступінь завантаження автомобіля також впливає на вартість ТО і ПР. Зі збільшенням ваги автомобіля витрати зростають. Так, при швидкості 40 км/год. різниця вартості ТО і ПР для автомобіля в спорядженому і максимально завантаженому стані складе 3.7 %, а при швидкості 30 км/год. – 4.2 %.

Висновки і пропозиції. Розроблена модель дозволяє аналітичним способом оцінити вартість проведення технічного обслуговування і поточного ремонту автомобіля з урахуванням умов його експлуатації. Отримані результати можуть бути використані в процесі управління технічної служби підприємства автомобільного транспорту. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на облік інших факторів, що впливають на вартість експлуатації автомобіля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследований) / Н.Я. Говорущенко. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – 297 с.
2. ДСТУ 3587-97. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. – Київ: Держстандарт України, 1997. – 23 с.
3. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Міністерство транспорту України, 1998. – 17 с.

4. *Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта.* – М.: Министерство автомобильного транспорта РСФСР, 1984. – 73 с.
5. *Положение о профилактическом обслуживании и ремонте транспортных машин (Методические рекомендации).* – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. – 39 с.
6. *Кривошапов С.И.* Методика корректирования периодичности технического обслуживания транспортных машин / С.И. Кривошапов // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенко. – Вип. 163. – 2015. – С. 105-110. – (Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва).
7. *Fomin, O.* Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O.V. Fomin, O.V. Burlutsky, Yu.V. Fomina / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 2 – P. 250-256.
8. *Макаренко М. В.* Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагона // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – К.: ДНДЦ УЗ. – 2014. – №. 5. – С. 107.
9. Кельріх М. Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: ЧНУ ім. В. Даля. – 2014. – № 2. – С. 210.

***Sergey Krivoschapov, Ph. Doctor of Technical Sciences, Assoc.
(Associate Professor of the Department of «Technical operation and service of vehicles named after Prof. Govorushchenko N.Ya.», Kharkov National Automobile and Highway University)***

VALUATION OF COSTS FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF TRANSPORT VEHICLES, TAKING INTO ACCOUNT OPERATING CONDITIONS

The legislation of Ukraine does not adjust the mileage between technical services and to determine the total resource of the car. The state of the road greatly affects the reliability and durability of the machine. The purpose of the work is to link the cost of maintenance and repair with the operating conditions of cars. The quality of the road surface is estimated by the degree of evenness, which is obtained from the measurement of movement of the body and wheels. Vertical oscillations of the body of the car leads to a change in the power balance on the wheels of the car. Increased losses in the suspension of the car affect the load of the internal combustion engine. The speed of wear of the engine cylinders depends on the engine speed and the average of indicator pressure. The article gives an analytical dependence of the relationship between the flatness of the road and the engine life. The adjustment of the mileage between maintenance and the vehicle resource is proposed to be carried out through a correction factor. In this paper, a formula is derived for calculating this correction factor. The coefficient was calculated using the example of Skoda Octavia. The graphs of the vehicle's resource change are obtained from the road roughness and speed car. For the first time the degree of loading of the car at rationing of the periodicity of maintenance is taken into account. The received mathematical model is proposed to be applied at automobile transport enterprises, in order to prolong the level of reliability and durability of the machines due to timely maintenance in difficult operating conditions.

Keywords: vehicle, durability, reliability, service, maintenance work, operating conditions, mathematical modeling.

REFERENCES

1. Govorushhenko N.Ja. *Sistemotekhnika avtomobil'nogo transporta (raschetnye metody issledovanij)* [System engineering of motor transport (calculation methods of research): monograph]. Har'kov, HNADU, 2011. 297 p.
2. DSTU 3587-97. *Avtomobil'ni dorogi, vulici ta zaliznichni pereizdi. Vimogi do ekspluatacijnogo stanu.* [Highways, streets and railroad crossings. Requirements for operating state], Kiïv, Derzhstandart Ukraïni, 1997. 23 p.
3. *Polozhennja pro tehniczne obslugovuvannja i remont dorozhnih transportnih zasobiv avtomobil'nogo transportu* [Regulations on the maintenance and repair of road vehicles road transport], Kiïv: Ministerstvo transportu Ukraïni, 1998. 17 p.
4. *Polozhenie o tehničeskom obsluzhivanii i remonte podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta* [Regulation on maintenance and repair of rolling stock of motor vehicles], Moskva, Ministerstvo avtomobil'nogo transporta RSFSR, 1984. 73 p.
5. *Polozhenie o profilaktičeskom obsluzhivanii i remonte transportnyh mashin (Metodicheskie rekomendacii)* [Regulation on preventive maintenance and repair of transport vehicles (Methodological recommendations)], Har'kov: RIO HGADTU, 1998. 39 p.
6. Krivoschapov S.I. Metodika korrekcirovannja periodičnosti tehničeskogo obsluzhivannja transportnyh mashin [Technique for adjusting the frequency of maintenance of transport vehicles], *Vestnik Har'kovskogo Nacional'nogo tehničeskogo universiteta sel'skogo hozjajstva imeni P. Vasilenko* [Bulletin of the Kharkov National Technical University of Agriculture named after P. Vasilenko], 2015, issue 163, pp. 105-110.
7. Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V. Development and application of cataloging in structural design of freight car building // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, no. 2, pp. 250–256.
8. Makarenko M. V. Kompleksnyi analiz ekonomičnogo efektu vid zhyttievoho tsyklu suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola] // *Naukovo-praktychnyi zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukraïny»*.—Kyiv: DNDTs UZ, 2014, №. 5, p. 107.
9. Kelrikh M. B., Moroz V. I. Strukturno-funktsionalne opysannia konstruksii modulja kuzova suchasnykh universalnykh napivvahoniv // *Visnyk Skhidnoukraïnskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia*, 2 (210), 2014, p. 94-103.

УДК 629.463.001

Ю. В. Кебал

(завідувач Проектно-конструкторського технологічного бюро з проектування та модернізації рухомого складу, колії та штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна)

В. А. Шатов

(начальник відділу перспективних розробок Проектно-конструкторського технологічного бюро з проектування та модернізації рухомого складу, колії та штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна)

О. М. Тьокотєв

(начальник відділу розробок рухомого складу Проектно-конструкторського технологічного бюро з проектування та модернізації рухомого складу, колії та штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна)

Н. Г. Мурашова

(науковий співробітник Проектно-конструкторського технологічного бюро з проектування та модернізації рухомого складу, колії та штучних споруд Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна)

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ХОПЕРА ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА

Важливим напрямом реалізації вимог до рухомого складу нового покоління є формування вантажного парку на основі моделей вагонів вітчизняного виробництва, які мають сучасний рівень техніко-економічних і експлуатаційних показників. Найбільш пристосованими для перевезення зерна є вагони-хопери. Тому необхідно зменшення кількості вагонів-хоперів з вичерпаним терміном служби і створення перспективних моделей вагонів-хоперів нового покоління. Дослідження конструктивних особливостей вагонів-хоперів проводиться шляхом вивчення конструкторської документації на вагони-зерновози різних виробників, а також за матеріалами наукових публікацій з даними розробників про отримані в ході теоретичних і експериментальних досліджень результати. Оскільки кузов вагона є складною статично невизначеною системою, забезпечити інтенсивну роботу всіх несучих елементів, відповідно отримати конструкцію мінімальної металоємності методами традиційного проектування важко. Основну увагу в розробках приділено подальшому вдосконаленню конструкції вагона-хопера методом ОПК, які зможуть забезпечувати виконання вимог, що пред'являються до сучасного інноваційного рухомого складу.

Ключові слова: конструкція, вагон-хопер, перевезення зерна, інноваційність.

© Кебал Ю. В., Шатов В. А., Тьокотєв О. М., Мурашова Н. Г., 2017

Важным направлением реализации требований к подвижному составу нового поколения является формирование грузового парка на основе моделей вагонов отечественного производства, которые имеют современный уровень технико-экономических и эксплуатационных показателей. Наиболее приспособленными для перевозки зерна, есть вагоны-хопперы. Поэтому необходимо уменьшение количества вагонов-хопперов с истекшим сроком службы и создание перспективных моделей вагонов-хопперов нового поколения. Исследование конструктивных особенностей вагонов-хопперов проводится путем изучения конструкторской документации на вагоны-зерновозы различных производителей, а также по материалам научных публикаций по данным разработчиков о полученных в ходе теоретических и экспериментальных исследований результаты. Поскольку кузов вагона представляет сложную статически неопределенную систему, обеспечить интенсивную работу всех несущих элементов, соответственно получить конструкцию минимальной металлоемкости методами традиционного проектирования трудно. Основное внимание в разработках уделено дальнейшему совершенствованию конструкции вагона-хоппера методом ОПК, которые смогут обеспечивать выполнение требований, предъявляемых к современному инновационному подвижному составу.

Ключевые слова: конструкция, вагон-хоппер, перевозка зерна, инновационность.

Постановка проблеми. Залізнична галузь є одною з основних бюджетоутворюючих галузей економіки України. Головним джерелом надходжень доходів залізничного транспорту є прибуток за перевезення вантажів у внутрішньому та міждержавному сполученнях.

Значно зросла потреба у новому рухомому складі, який зможе забезпечити підвищену надійність, продуктивність та економічність в експлуатації. При цьому сучасний парк вантажних вагонів сформовано з моделей вагонів, конструкція яких була спроектована за технологіями середини минулого сторіччя.

Сучасний стан безпеки руху залізниць України вказує на необхідність модернізації існуючих та виготовлення більш сучасних вантажних вагонів усіх типів. Укрзалізниця передбачає оновлення вагонного парку новими та модернізованими моделями вантажних вагонів з сучасним рівнем техніко-економічних та експлуатаційних показників [1-2]. Тобто, існує потреба в конструкторських розробках сучасних вантажних вагонів з урахуванням новітніх матеріалів та застосуванням сучасних технологій зварювання, які дозволять забезпечити високий рівень надійності, гарантувати підвищення рівня безпеки руху та знизити їх металоємність.

Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки країни, який визначає обсяг пропозиції і вартість основних видів продовольства для населення країни, формує значну частину доходів сільськогосподарських виробників, визначає стан і тенденції розвитку сільських територій, формує валютні надходження країни за рахунок експорту. Зернова галузь розглядається як база і джерело стійкого розвитку більшості галузей агропромислового комплексу і основа аграрного експорту. Основним типом залізничного рухомого складу, що використовується для перевезень зернових, є хопер-зерновоз. В даний час парк вагонів-зерновозів країн СНД і Балтії істотно зменшився в порівнянні з 1991 р. Середній вік зерновозів в Україні становить 27,4 року, що на 2,8 року (на 12%) більше середнього значення по країнах СНД і Балтії. Також необхідно відзначити, що 69% українських зерновозів експлуатуються понад 27 років при нормативному терміні експлуатації 30 років. Темпи списання зерновозів в Україні в найближчі роки будуть складати 1,5-2,0 тис. вагонів на рік [3-4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз тенденцій розвитку сучасного вагонобудування показує, що вагони нового покоління виконуються за конструктивними схемами, які дозволяють значно прискорити процес завантаження і вивантаження, збільшити ступінь збереження вантажу, що перевозиться, підвищити рівень механізації вантажно-розвантажувальних процесів, а також забезпечити високу надійність, ремонтпридатність і мінімальну вартість життєвого циклу. Рішення представлених проблем можливе на основі глибоких наукових досліджень з удосконалення конструкцій бункерних вагонів.

Велика роль у розвитку конструкцій вантажних вагонів належить вітчизняним ученим і конструкторам, які працюють в науково-виробничих установах, а також вагонобудівних заводах. Роботи з удосконалення конструкцій рухомого складу проводяться у низці ВНЗ, наукових і виробничих об'єднаннях [5-7].

Деякими вченими були досліджені проблеми, пов'язані з вибором раціональних параметрів несучої металоконструкції вагонів-хоперів [8-14].

Розробка варіантів конструктивних рішень вантажних вагонів проводиться шляхом вивчення конструкторської документації на вантажні вагони різних виробників, а також за матеріалами наукових публікацій з даними розробників, що отримані, в ході теоретичних і експериментальних досліджень.

Мета. Задача постановки на виробництво нового вагона-хопера для перевезення зерна вкрай актуальна, оскільки попит на подібні вагони значно виросте в найближчій перспективі.

При створенні спеціалізованих бункерних вагонів нового покоління для перевезення сипучих вантажів надзвичайно важливою стає проблема вдосконалення методів вибору раціональних параметрів вагонів даного типу, що ще на ранніх стадіях їх проектування дозволить виявити перспективні варіанти конструкцій вагонів і окремих функціональних вузлів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вагони нового покоління повинні відповідати критеріям інноваційності (рис. 1).



Рис. 1. Критерії інноваційності вагона

При розробці конструкції вантажних вагонів (вагонів-хоперів) розглядалися варіанти конструктивних рішень, спрямовані на відповідність критеріям інноваційності.

Розглянуті конструктивні рішення:

1. Покращення техніко-економічних параметрів (зменшення коефіцієнта тари, збільшення погонного навантаження, збільшення об'єму кузова).

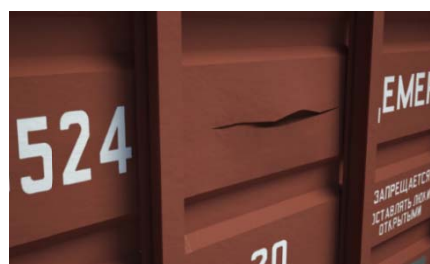
2. Покращення конструктивних параметрів (збільшення пробігу вагона між плановими видами ремонту за рахунок застосування візків поліпшеної конструкції, збільшення терміну служби деяких вузлів вагона за рахунок застосування високоміцних сталей та антикорозійних покриттів, покращення динамічних якостей за рахунок зниження центру важкості вагона та зменшення тари вагона).

Технічний стан парку вагонів-хоперів дозволив виділити низку недоліків і експлуатаційних пошкоджень. Вони є наслідком як недоліків конструкції, так і порушень правил експлуатації та проведення вантажно-розвантажувальних робіт [15].

До таких недоліків та експлуатаційних пошкоджень відносять (рис. 2).



а) Обрив зварного шва



б) Пошкодження обшивки



в) Погнуті і пошкоджені стійки і розкоси



г) Тріщини і злами в стійці



д) Корозія



е) Поздовжні тріщини в балках рами

Рис. 2. Основні недоліки та пошкодження вагонів-хоперів

Аналіз конструктивних ознак вузлів проводився на базі вагонів-хоперів виробництва України, Західної Європи, США, Канади [16-22]. Для класифікації і аналізу було

виділено перелік найбільш характерних вузлів і конструктивних ознак спеціалізованих бункерних вагонів для перевезення сипучих вантажів:

1. Механізм розвантаження:

– вивантажуються гравітаційним способом та в міжколійний простір.

Всі вагони-хопери виробництва США і Канади виробляють з розвантаженням виключно в міжколійний простір.

2. Кузов бункерних вагонів:

У світовій практиці переважають два типи бічних стін кузовів вагонів-хоперів:

– вагони мають прямі вертикальні стінки кузова (рис. 3а). Недоліком такого вагона є неповне саморозвантаження, що вимагає додаткового ручного розвантаження;

– вагони мають кузов із циліндричними бічними стінками (рис. 3б). Недоліком такого вагона є зменшення корисного об'єму, за рахунок елементів жорсткості, які є в середині кузова.

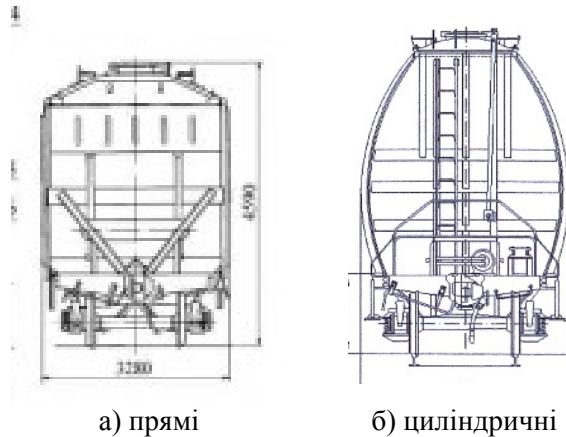


Рис. 3. Бічні стінки кузова

3. Конструкція рами вагона:

– рама з хребтовою балкою (рис. 4а). Недоліком вагона-хопера, який має хребтову балку є зменшення об'єму бункерів та збільшення тари вагона; – рама без хребтової балки (рис. 4б). Це рама, яка має частину з елементами хребтової балки, виконаними до шкворневих балок, що дає збільшений обсяг кузова та зменшення тари вагона.

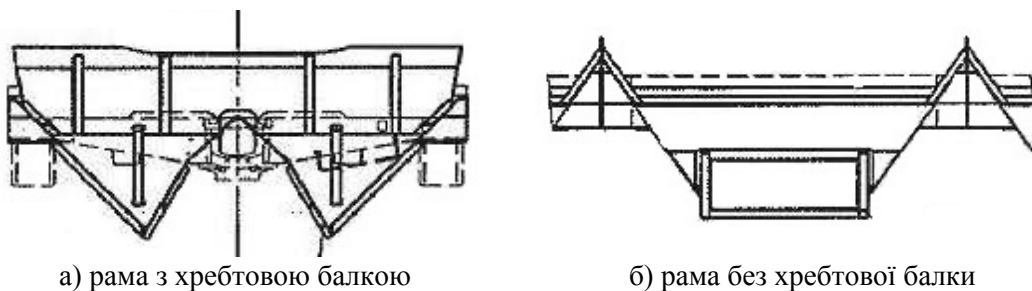


Рис. 4. Конструкція рами вагона

4. Конструкція розвантажувальних люків (бункерів):

Переважаючим типом розвантажувальних люків є шибер (рис. 5). Це пов'язано з їх високою надійністю і простотою конструкції.

В основному використовується прямокутна форма люків (бункерів) у світлі.

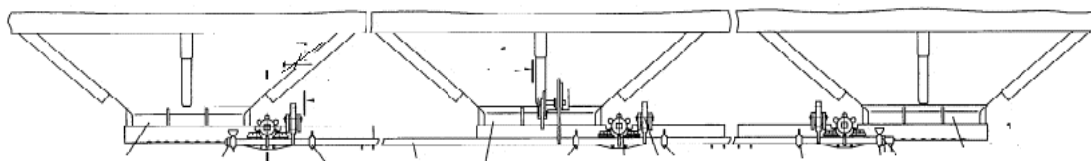


Рис. 5. Шибєрний механізм

5. Матеріал виготовлення несучої металоконструкції кузова вагона:

Для виготовлення несучої металоконструкції вагонів-хоперів використовуються низьколеговані сталі (09Г2С, 10ХНДП) та перспективні сталі підвищеної міцності (10Г2ФБ, 16Г2АФ) [23-26].

Також кузов виготовляють з алюмінієвих сплавів та склопластику.

В Україні та країнах СНД вагони-хопери в основному виготовляються з низьколегованих сталей, а в США і Канаді близько 80 – 90% всіх вагонів для перевезення сипучих вантажів виготовляють з алюмінію в поєднанні зі сталеву рамою.

Рис. 6. Вагон-хопер для перевезення зерна



Рис. 7. Вид з торця



Рис. 8. Кузов вагона в розрізі

6. Антикорозійне покриття кузова вагона – в основному застосовують полімерні матеріали [26–29]. На основі аналізу недоліків і пошкоджень в експлуатації, конструкції основних вузлів вагона-хопера для поліпшення основних техніко-економічних параметрів, з урахуванням нормативних вимог фахівці Проектно-конструкторського технологічного бюро Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна розробили проект вагона-хопера для перевезення зерна (рис. 6 та рис. 7), який відповідає вимогам інноваційності.

Однією з умов по розробці проекту стала технологічність конструкції хопера – мінімальне застосування номенклатури металопрокату і кількості оснащення для складання вагона. Саме тому кузов має прямі бічні стіни, а балкові елементи виготовляються з гарячекатаних або гнутих профілів, широко використовуваних у вагонобудуванні.

Серед конструктивних рішень, реалізованих у даному проекті і які відрізняють новий вагон від існуючих аналогів, можна відзначити таке:

- Форма кузова в розрізі – це трапеція з дугоподібним дахом, яка має зменшені кути нахилу бічних стінок (рис. 8);
- Форма бункерів забезпечує найповніше використання нижнього габаритного простору;
- Вагон має три механізми розвантаження;
- Кути нахилу стінок бункерів збільшені, що сприяє більш повному вивантаженню вантажу;
- Дах виконаний дугоподібної форми з гладких листів, що запобігає скупченню і налипанню вантажу після навантажувальних операцій.

Обсяг кузова нового вагона-хопера збільшений до 108 м³. При дугоподібній формі даху і функціональному використанні нижнього габаритного простору це дозволяє реалізувати проектну вантажопідйомність 70,2 т без розрівнювання конусу вантажу при завантаженні.

Висновки та пропозиції. Таким чином, конструктивна схема кузова, що проектується, дозволила знизити масу вагона-хопера і підвищити його вантажопідйомність із забезпеченням необхідної міцності і надійності конструкції. Обсяг кузова вагона-хопера збільшений при збереженні існуючих параметрів типової довжини і маси тари, що на 6-7% збільшить його корисне завантаження. Збільшений обсяг бункерів дозволив знизити центр ваги, що поліпшило стійкість вагона від перекидання, а збільшені розміри завантажувальних люків покращують умови завантаження вагона.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Перспективи розвитку залізничного транспорту України. Стратегія розвитку залізничного транспорту України на період до 2020 року* [Електронний ресурс]. Розпорядження КМУ від 16 грудня 2009р. №1555-р. [<http://www.uz.gov.ua>]
2. *Фомін О.В.* Огляд досліджень з проблем проектування несучих систем вантажних вагонів / Вісник НТУ «ХПІ». – № 68(974). – 2012. – С. 3–7.
3. *Мямлин, С. В.* Проблемы и перспективы перевозки зерновых грузов железнодорожным транспортом в Украине / С. В. Мямлин, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Залізничний транспорт України. – 2013. – Вип. 2 (99). – С. 32–34.
4. *Козаченко, Д. М.* Удосконалення технічного забезпечення та технологій експортних перевезень зернових вантажів в Україні / Д. М. Козаченко, Р. Г. Коробйова, Р. Ш. Рустамов // Вісн. Дніпропетр. державного аграрно-економічного ун-ту. – Дніпропетровськ, 2015. – № 4. – С. 121–127.
5. *Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных).* – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996, (с дополнениями и изменениями на момент разработки).
6. *Конструкция вагонов.* Учебник для техникумов и колледжей ж-д транспорта [Текст] И.Ф. Пастухов, В.В. Пигунов. М.: Транспорт, 2000.
7. *Грузовые вагоны: учебное пособие в 2 частях* / Харитонов М.И., Панкин В.Н. Хабаровск: ДВГУПС, 2006. – 134 с.
8. *Радзиховский А.А.* Блочно-модульный принцип конструирования грузовых специализированных вагонов. Вестник ВНИИЖТ, 1986. – № 5. – С. 41–43.
9. *Радзиховский А.А., Битюцкий А.А.* Систематизация прочностных расчетов кузовов вагонов хопперов. Конструирование и эксплуатация обоудования. сео. 5. Тоанспоотное обоудование: М. : ПНИИТЭИ ТЯЖМАШ, 1986 г. – Вип. 3. – С. 6–10.
10. *Радзиховский А.А., Битюцкий А.А., Карлин Г.А.* Опыт создания САПР грузовых специализированных вагонов типа хоппер. Перспективы развития вагоностроения. Тез. докл. Всесоюзн. научно-техническая конференция (Москва, ноябрь 1988). – М.: ВНИИВ. – С. 13–15.
11. *Битюцкий А.А., Савушкин Р.А., Сапожников А.Н.* Создание вагона-хопера нового поколения для перевозки зернаУ/ ПГУПС, тезисы докл. на 61 НТК. – СПб, 2001.
12. *Битюцкий А.А.* Разработка комплексного метода проектирования, расчета и испытания грузовых вагонов: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. д.т.н. СПб.: ПГУПС, 1995. – 40 с.
13. *Ягофанов Х.* Стальные бункера как пространственные системы: Авто-реф. дис. на соиск. уч. степ. д.т.н.Екатеринбур.: УрГАПС, 1998. – 47 с.

14. Яшин А.Ф. и др. Эксперименты по оптимизации формы кузова специализированного вагона для перевозки минеральных удобрений. // Тр. Новосибирского института инж. ж.-д. трансп., 1977. – Вып. 183. – С. 71–80.
15. Неисправности кузова и рамы вагона-хоппера в эксплуатации [Электронный ресурс] Режим доступа [http://www.вагонник.рф/2016/09/blog-post 23.html]
16. Шнак А.Н. Вагоны зарубежных железных дорог. – М.: Трансжелдориздат. – М. – 237 с.
17. ОАО «Алтайвагон», Продукция [Электронный ресурс] Режим доступа [http://www.altavagon.ru]
18. ОАО «Азовмаш», Продукция [Электронный ресурс] Режим доступа [http://www.azovmash.com]
19. ОАО «Стахановский вагоностроительный завод» [Электронный ресурс] Режим доступа [http://stakhanovvz.com.]
20. ОАО «Ружиммаш» [Электронный ресурс] Режим доступа [http://ruzhim.ru.]
21. ОАО «Научно-производственная корпорация «Уралвагонзавод» [Электронный ресурс] Режим доступа [http://uvz.ru.]
22. ОАО «Крюковский вагоностроительный завод», Продукция. [Электронный ресурс] Режим доступа [http://www.kvsz.com].
23. ОСТ 32.153-200 «Металлопрокат для кузовов грузовых вагонов нового поколения» разработан ГУП ВНИИЖТ и ГУП ГосНИИВ, введен в действие указанием МПС России от 18.09.00 №М-237д.
24. Хилов И.А. Обоснование возможности применения высокопрочных марок сталей в конструкции вагонов, эксплуатируемых на российских железных дорогах // Тяжелое машиностроение. – 2010. – №7. – С. 36–39.
25. Бороненко Ю.П. Стратегические задачи вагоностроителей в развитии тяжеловесного движения // Транспорт РФ. 2013. – № 5(48). – С. 68–73.
26. Бороненко Ю.П. Использование высокопрочных сталей в вагоностроении// Транспорт РФ, 2015. – №3(58). – С. 16–19.
27. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
28. Фомін, О.В. Аналіз доцільності застосування шестиграних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів/ О.В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54) – С. 146-153.
29. Износостойкое покрытие для антикоррозийной защиты внутренней поверхности вагонов-зерновозов/И.А. Сусоров, А.Л. Некрылов, Д.Ю. Ефимова. [Электронный ресурс] Режим доступа [http://www.lkz-kronos.ru/statji/96-1/].

Y. Kebal

(Head of Design and Technology Design Bureau design and modernization of rolling stock, track and engineering structures Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V.Lazaryana)

V. Shatov

(Head of Policy Development Project engineering and design office design and modernization of rolling stock, track and engineering structures Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V.Lazaryana)

A. Tokotjev

(Head of development rolling stock design and engineering and design office design and modernization of rolling stock, track and engineering structures Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V.Lazaryana)

N. Murashova

(Fellow Project engineering and design office design and modernization of rolling stock, track and engineering structures Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V.Lazaryana)

IMPROVING THE DESIGN OF HOPPER WAGONS FOR TRANSPORTING GRAIN

An important focus of implementation requirements for rolling stock is forming a new generation of truck fleet based models domestically produced cars that have the current level of technical – economic and operational performance. Most suited for transporting grain, is hopper wagons. It is therefore necessary to reduce the number hopper wagons with expired service life and creating promising models hopper wagons of new generation. Research design features hopper wagons carried out by examining the design documentation for grain wagons from different manufacturers, as well as the materials of scientific publications with data on developers obtained in the theoretical and experimental research results. As the body of the car is a complex statically undetermined system to provide intensive work of bearing elements respectively receive the minimum design metal traditional methods of designing difficult. The focus of development is given to further improving the design of car-hopper by DIC, which can provide performance requirements for modern innovative rolling stock.

Keywords: design, hopper wagons, grain haulage, innovation.

REFERENCES

1. Perspektivi rozvitku zaliznichnogo transportu ukraїni. strategiya rozvitku zaliznichnogo transportu ukraїni na period do 2020 roku [Prospects of Railway Transport of Ukraine. Railway Transport Development Strategy of Ukraine till 2020] [elektronnyj resurs]. rozporiadzhennya kmu vid 16 grudnya 2009r. №1555-r. [http://www.uz.gov.ua]
2. Fomin O.V. Oglyad doslidzhen z problem proektuvannya nesuchix sistem vantazhnix vagoniv [Review of studies on the design of freight wagons bearing] /visnik ntu «xpi» №68 (974) -2012 s. 3-7.
3. Myamlin, s. v. Problemy i perspektivy perevozki zernovykh gruzov zheleznodorozhnym transportom v Ukraine [Problems and prospects of transportation of grain cargoes transportation in Ukraine zheleznodorozhnym] / s. v. myamlin, d. n. kozachenko, r. v. vernigora // zaliznichnij transport ukraїni. – 2013. – vip. 2 (99). – s. 32–34.
4. Kozachenko, d. m. Udoskonalennya texnichnogo zabezpechennya ta tehnologij eksportnix perevezen zernovykh vantazhiv v ukraїni [Improving logistics technology and transportation of export grain cargoes in Ukraine] / d. m. kozachenko, r. g. korobjova, r. sh. rustamov // visn. dniprotr. derzhavnogo agrarno-ekonomichnogo un-tu. – dniprotr. 2015. – № 4. – s. 121–127.
5. Normy dlya rascheta i proektirovaniya novyx i moderniziruemyx vagonov zheleznykh dorog mps kolei 1520 mm (nesamohodnykh) [Norm for calculating and designing novyx moderniziruemyx and railways carriages IPS gage railway 1520 mm (nesamohodnykh)]. – m.: gosniiv-vniizht, 1996, (s dopolneniyami i izmeneniyami na moment razrabotki).
6. Konstrukciya vagonov. uchebnik dlya tekhnikumov i kolledzhej zh-d transporta [Constructions carriages. Text-book for colleges and tekhnikumov the railway transport] [tekst] i.f. pastukov, v.v. pigunov. m.: transport, 2000
7. Gruzovye vagony: uchebnoe posobie v 2 chastyax [Hruzovyye Vagony: uchebnoe posobie 2 particles]/ Xaritonov m.i., Pankin v.n. xabarovsk: dvgups, 2006-134 s.
8. Radzixovskij a.a. Blochno-modulnyj princip konstruirovaniya gruzovykh specializirovannykh vagonov [Block modulnyj principle konstruirovaniya hruzovykh spetsyalizirovannykh carriages]. vestnik vniizht, 1986, n 5. s. 41-43.
9. Radzixovskij a.a., Bityuckij a.a. Sistematizatsiya prochnostnykh raschetov kuzovov vagonov xopperov [Systematizatsiya prochnostnykh calculations kuzovov hopperov carriages]/ konstruirovaniye i ekspluatatsiya oborudovaniya. sek. 5. transportnoye oborudovaniye: m. : pniitei tyazhmash, 1986 g. vyp. 3, s. 6-10.
10. Radzixovskij a.a., Bityuckij a.a., Karlin g.a. Opyt sozdaniya sapr gruzovykh specializirovannykh vagonov tipa xopper.[Experience Creating CAD hruzovykh spetsyalizirovannykh carriages type hopper] Perspektivy razvitiya vagonostroeniya. tez. dokl. vsesoyuzn. nauchno-texnicheskaya konferentsiya (moskva, noyabr 1988) m.:vniiv s.13-15.
11. Bityuckij a.a., Savushkin p.a., Sapozhnikov a.n. Sozdanie vagona-xoppera novogo pokoleniya dlya perevozki zernau [Creating Hopper wagon for the new generation of transportation zerna]/ pgups, tezis dokl. na 61 ntk-spb, 2001.
12. Bityuckij a.a. Razrabotka kompleksnogo metoda proektirovaniya, rascheta i ispytaniya gruzovykh vagonov [Development of an integrated method of designing, calculating and trials hruzovh carriages]: avtoref. dis. na soisk. uch. step. d.t.n.spb.: pgups, 1995–40 s.

13. Yagofanov x. Stalnye bunkera kak prostranstvennye sistemy [Prostranstvenn steel bunker system]: avto-ref. dis. na soisk. uch. step. d.t.n.ekaterinburg.: urgaps, 1998.47 s.
14. Yashin a.f. i dr. Eksperymenty po optimizatsii formy kuzova specializirovannogo vagona dlya perevozki mineralnykh udobreniy [Эксперимент по оптимизации формы кузова специализированного вагона для перевозки минеральных удобрений] //tr. novosibirskogo instituta inzh. zh.-d. transp., 1977. vyp. 183. – s. 71-80.
15. Neispravnosti kuzova i ramy vagona-xoppera v ekspluatatsii.[Neyspravnosty body and ramy hopper wagon in operation] [elektronnyy resurs] rezhim dostupu [http://www.vagonnik.rf/2016/09/blog-post 23.html]
16. Shpak a.n. Vagony zarubezhnykh zheleznykh dorog [Vagony zarubezhn railways] M.: Transzheldoriz-dat, m. – 237 s
17. Oao «altajvagon» [OAO «Altayvagon»], produkciya. [elektronnyy resurs] rezhim dostupu [http://www.altavagon.ru]
18. Oao «azovmash» [JSC «Azovmas»], produkciya. [elektronnyy resurs] rezhim dostupu [http://www.azovmash.com]
19. Oao «staxanovskiy vagonostroitelnyy zavod» [OJSC «Stakhanov plant vahonostroytelnyy»] [elektronnyy resurs] rezhim dostupu [http://stakhanovvz.com.]
20. Oao «ruzzimmash» [OAO «Ruzhymash»] [elektronnyy resurs] rezhim dostupu [http://ruzhim.ru.]
21. Oao «nauchno-proizvodstvennaya korporatsiya «uralvagonzavod» [JSC «Scientific and proyzvodstvennaya Corporation» Uralvagonzavod»] [elektronnyy resurs] rezhim dostupu [http://uvz.ru.]
22. Oao «kryukovskiy vagonostroitelnyy zavod» [OAO «Kryukovskyy vahonostroytelny plant»], produkciya. [elektronnyy resurs] rezhim dostupu [http://www.kvsz.com].
23. Ost 32.153-200 «Metalloprokat dlya kuzovov gruzovykh vagonov novogo pokoleniya» [For metal products kuzovov carriages hruzovh new generation] razrabotan gup vniizht i gup gosniiv , vveden v dejstvie ukazaniem mps rossii ot 18.09.00 №m-237d
24. Xilov i.a. Obosnovanie vozmozhnosti primeneniya vysokoprochnykh marok stalej v konstrukcii vagonov, ekspluatiruemykh na rossijskikh zheleznykh dorogax [Opportunities application vvsokoprochn steels constructions in carriages, on ekspluatyruemh russo railways] // tyazheloe mashinostroenie. – 2010. – №7.– s. 36–39.
25. Boronenko yu.p. Strategicheskie zadachi vagonostroiteley v razvitii tyazhelovesnogo dvizheniya [Stratehicheskiye problem vahonostroyteley tyazhelovesnogo movement in development]//transport rf. 2013.№5(48) s.68-73.
26. Boronenko yu.p. Ispolzovanie vysokoprochnykh stalej v vagonostroenii [Using vsokoprochnh steels vahonostroeny] // transport rf. 2015 №3(58) s.16-19.
27. Fomin, O.V. Konceptiya ideal'nykh kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
28. Fomin O. V. Analiz dotsilnosti zastosuvannia shestyhrannykh porozhnistykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system napivvagoniv //Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana, Nauka ta prohres transportu, 6 (54). – 2014. – C. 146-153.
29. Iznosostojkoe pokrytie dlya antikorrozijnoj zashhity vnutrennej poverxnosti vagonov-zernovozov [Iznosostoykoe coating of protection for antykorrozyynoy inner surface-carriages zernovozov] /i.a. susorov, a.l. nekrylov, d.yu. efimova. . [elektronnyy resurs] rezhim dostupu [http://www.lkz-kronos.ru/statji/96-1]/.

УДК 629.463.65

О. В. Фомін, д.т.н., доцент

(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

В. Є. Осьмак, к.т.н.

(ст. викладач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

СУЧАСНИЙ МЕТОД ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ШИЙКИ ОСІ КОЛІСНОЇ ПАРИ АВТОМАТИЗОВАНИМ ОБЛАДНАННЯМ ТА ЇЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

У статті наведено застосування технології відновлення шийок осей колісних пар електроерозійним методом. Розглядаються фізико-механічні властивості, глибина проникнення в матеріал, твердість, наводяться результати дослідження металографії відновленого покриття.

Ключові слова: залізничний транспорт, рухомий склад, колісні пари, електроерозійне відновлення, автоматизоване обладнання.

В статті пропонується використовувати технологію відновлення шеек осей колісних пар електроерозійним методом. Рассматриваются физико-механические свойства, глубина проникновения в материал, твердость, приводятся результаты исследования металлографией восстановленного покрытия.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, подвижной состав, колесные пары, электроерозийный метод восстановления, автоматизированное оборудование.

Постановка проблеми. На вагоноремонтних підприємствах України в останні роки все гостріше постає питання відновлення шийок осей, які накопичуються після надходження в капітальний ремонт вантажних вагонів з експлуатації [7, 8, 9, 11, 15, 16, 17].

Після демонтажу колісних пар на шийках осей виявляються дефекти, з якими подальша робота колісної пари неможлива. Такі колісні пари підлягають розформуванню, а осі відкладаються на тривалий термін на зберігання (для тривалого зберігання необхідно проводити консервацію осей, щоб на них не виникла корозія) або вибраковуються в металобрухт, що невигідно з економічної точки зору [8, 17, 12, 13, 14].

На сьогодні організувати технологію виготовлення нової осі потребує наявності спеціальних верстаків, технологічного оснащення та кваліфікованого персоналу. Вартість заготовки в 4,5 – 5 разів дорожче, ніж вартість металобрухту від забракованої осі. У зв'язку з цим, було прийнято рішення виготовляти на підшипникових заводах внутрішні кільця заниженого діаметру $130^{-0,035/-0,070}$ для посадки на вісь з діаметром шийки від 129,96 до 130,052 без відновлення, за умови збереження натягу в межах 0,030 – 0,070 мм. Прийняття цього рішення частково вирішило питання вибракування осей з заниженим діаметром, оскільки осі з діаметром шийки нижче 129,96 мм підлягають вибракуванню, що не рідко відбувається при ремонтах колісних пар.

© Фомін О. В., Осьмак В. Є., 2017

Мета роботи. Висвітлення особливостей та результатів застосування сучасного методу електроерозійного відновлення шийки осі колісної пари автоматизованим обладнанням. Наведено структурно параметричний та функціональний опис відповідного устаткування. Представлено результати металографічного аналізу відновленої шийки осі колісної пари вантажного вагона.

Основна частина. Фахівцями була розроблена та виготовлена установка електроерозійної обробки ЕЭВ-2 (рис. 1), призначена для відновлення [1, 2, 3, 4, 5] і зміцнення циліндричних і конічних поверхонь деталей типу вал. Установка монтується на токарно-гвинторізному верстаті моделі 1М63 або іншому з аналогічними технічними характеристиками.



Рис. 1. Установка електроерозійної обробки ЕЭВ-2

Установка складається з: генератора технологічного струму; електродної головки; електропривода електронної головки; блока регулювання обертів шпинделя токарного верстата; струмознімачів із струмовідводами; пристрою для центрування електродів.

Технологія електроерозійної обробки заснована на полярному, від + до –, переносі матеріалу електрода на поверхню деталі в процесі електричного імпульсного розряду між ними. При цьому розплавлені в місці контакту електродів частки матеріалу електрода переносяться в електроерозійну лунку, яка утворилася на поверхні деталі, змішуються з її металом, який перебуває в рідкій розплавленій фазі, та формують шар з фізико-хімічними властивостями, близькими до властивостей матеріалу електрода. Процес електроерозійного відновлення ведеться в імпульсному режимі, тому частки розплавленого металу в процесі переносу на поверхню деталі не окисляються на повітрі, а зчіплюються з деталлю.

Така технологія використовується при відновленні шийок осей колісних пар згідно з технічними умовами [1, 2] і дозволена для впровадження на залізницях країн СНД та Балтії протокольним рішенням засідання Комісії Ради по залізничному транспорту повноважних фахівців вагонного господарства залізничних адміністрацій від 16-19.05.2006 р.

Застосування технології процесу електроерозійного відновлення та зміцнення (ЕЕВЗ) дозволяє:

- вести обробку без застосування спеціальної підготовки поверхні і особливих умов праці;
- виключити термічний вплив на геометричні розміри деталі і її фізико-механічні властивості, оскільки температура в зоні обробки не перевищує 200° С;

- забезпечити міцне зчеплення металу, що наноситься, з основою за рахунок його проникнення в глибину поверхні деталі на 0,15 – 0,25 мм;
- товщина нанесеного покриття складає 0,05 – 1,0 мм/діаметр;
- одержувати залежно від матеріалу електроду – інструменту, розмірів оброблюваної деталі і режимів обробки покриття завтовшки до 5 мм на діаметр і твердістю до 62 HRC₂;

При електроерозійному відновленні шийки осі використовуються електроди із зварювального дроту марок Св-06Х19Н10НЗТ, Св-07Х25Н13, Св-04Х19Н11М3 за ГОСТ 2246-70 діаметром 2 мм або 3 мм та довжиною від 120 мм до 140 мм. Допускається в якості електрода використовувати пластини з листової сталі тих самих марок з перетином 2 мм на 5 мм та довжиною 120-140 мм. На електродній головці встановлюється 27 електродів, які мають бути однакового діаметра та довжини, без іржі й слідів масла на поверхні.

Електродна головка – це текстолітовий диск, на якому встановленні 27 рухомих, підпружинних електродотримачів, які за допомогою гнучких провідників з'єднані із струмознімальним кільцем, що закріплюється на диску. Електродна головка встановлюється на вихідний вал черв'ячного редуктора. До його струмознімального кільця притискається підпружинена струмознімальна щітка, що електрично ізольована від корпусу. Струмознімальна щітка кріпиться на корпусі редуктора й приєднується за допомогою кабелю до плюсового полюса генератора технологічного струму.

Електропривод електродної головки складається із черв'ячного редуктора типу 2463, електродвигуна постійного струму типу СЛ621У та опори, що дозволяє закріпити електропривод на поперечному супорті токарного верстата.

Генератор технологічного струму (рис. 3) має два канали й дозволяє працювати на шести режимах. Генератор встановлюється поблизу токарного верстата на зручній відстані для роботи з органами керування, що розташовані на передній панелі.

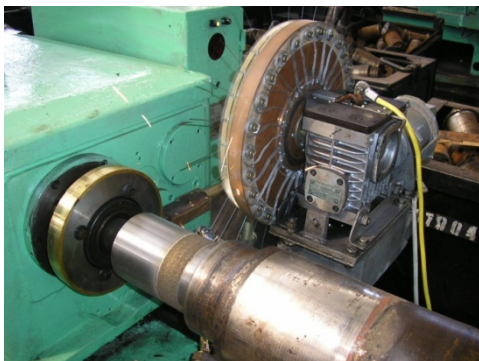


Рис. 2. Електродна головка



Рис. 3. Генератор технологічного струму

Блок регулювання оборотів шпинделя токарного верстата, виготовлений на базі мотор – редуктора типу ЗМП-31.5, встановлюється на рухомій опорній плиті, що закріплюється на боковій стінці токарного верстата так, щоб канавка шківів, встановленої на мотор – редукторі, співпадала (була в одній площині) з однією з канавок шківів шпинделя верстата. Можливо приєднувати мотор-редуктор до шпинделя верстата за допомогою муфти. Перед проведенням відновлення необхідно провести магнітну дефектоскопію шийок осей згідно з інструкцією [3] на відсутність тріщин.

Поверхні шийок перед відновленням повинні бути ретельно очищені від слідів масла, вологи та інших забруднень. За наявності на поверхнях шийок осі іржі або слідів корозії необхідно видалити їх шкуркою шліфувальною за ГОСТ 5009 із зернистістю 12.

За наявності на окремих ділянках шийок нерівномірного зносу чи глибоких корозійних пошкоджень глибиною більше 0,1 мм слід виконати обточування або шліфування цих ділянок з мінімально можливим припуском. При цьому шорсткість з параметром R_a обробленої поверхні не повинна перевищувати 5 мкм [4].

Проведення електроерозійного відновлення всієї циліндричної поверхні шийки осі або її частини проводять за один прохід в напрямку від галтелі до торця. На галтелі шийки покриття не допускається. Починати процес відновлення шийки необхідно на відстані від торця передпідматочинної частини осі, згідно з рис. 4.

Ділянка, що не підлягає відновленню

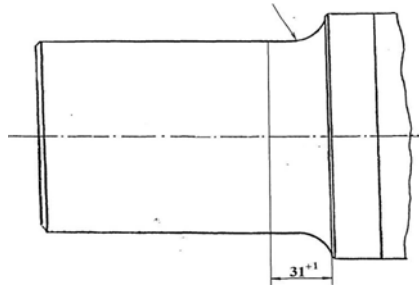


Рис. 4. Ділянка шийки осі, що підлягає відновленню

Для проведення електроерозійного процесу треба встановити необхідні режими для відновлення шийки осі. Величину робочого струму треба вибирати залежності від необхідної товщини покриття. При струмі 10А товщина нанесеного покриття орієнтовно складає 0,1 мм на діаметр, а при струмі 20А – 0,8 мм на діаметр.

Після закінчення роботи слід проконтролювати відновлену поверхню шийки осі на відсутність ділянок без слідів електроерозійного відновлення з відносною довжиною не більше 20%. За наявності дефектних ділянок їх необхідно видалити проточуванням або шліфуванням шийки осі та виконати повторне електроерозійне відновлення поверхні шийки на цих ділянках.



Рис. 5. Відновлена шийка осі колісної пари



Рис. 6. Шийка осі колісної пари після накатування та шліфування

Після електроерозійного відновлення всієї поверхні шийки осі або її частини виконують накатування всієї поверхні шийки відповідно до вимог технологічної інструкції [1, 4]. При необхідності доведення відновленої поверхні до потрібного діаметру проводять шліфування.

Після проведення накатування та шліфування (рис. 6) твердість на відновленій шийці осі складає 220 – 230 кг/см² [5].

Результати експериментального дослідження. Згідно з дослідами, при електроерозійній обробці глибина проникнення матеріалу електрода по всій поверхні складає залежно від робочого струму від 0,05 до 0,25 мм.

Твердість покриття перевищує твердість основного матеріалу. Вона поступово падає по мірі проникнення в поверхню деталі.

Міцність зчеплення покриття з основою відповідна міцності самої основи.

Дослідження металографії показали, що товщина покриття на зразку (світлий шар на рис. 7) змінюється в межах 45 – 50 мікрон. Вона містить невелику кількість пор товщиною до 10 мікрон і довжиною до 30 мікрон. Об'ємна частка пор складає близько 8 %. Спостерігалися відособлені пори, не сполучені між собою. Тому вони не роблять істотний впливу на зносостійкість покриття, а при подальшій пластичній деформації поверхні їх кількість буде зведена практично до нуля.

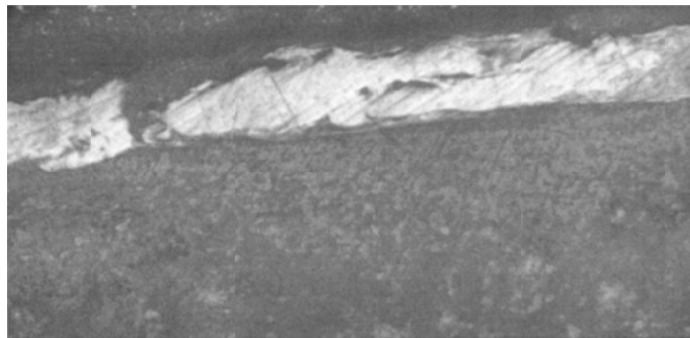


Рис. 7. Мікроструктура покриття

Висновки та пропозиції. Електроерозійне покриття по своїх механічних властивостях практично не відрізняється від властивостей металу деталі.

Таким чином, електроерозійний метод відновлення шийок осей колісних пар вантажних вагонів є не тільки економічно вигідним, адже він значно подовжує вік осі, але й дозволяє вести обробку без спеціальної підготовки поверхні та особливих умов праці, виключає термічний вплив на геометричні розміри деталі і її фізико-механічні властивості, забезпечує міцне зчеплення металу з товщиною нанесеного покриття 0,05 – 1,0 мм/діаметр, а також дозволяє одержувати залежно від матеріалу електрода – інструменту, розмірів оброблюваної деталі і режимів обробки покриття завтовшки до 5 мм на діаметр і твердістю до 62 HRC_э. Згідно з вище наведеним, установка електроерозійної обробки має недолік. Зараз продуктивність установки складає 1,5 – 2 осі за зміну. Але цей недолік можна виправити модернізувавши генератор технологічного струму та електродну головку.

ЛІТЕРАТУРА

1. ТУ 32 ЦВ-ВНИИЖТ-94/2. Восстановление шеек осей вагонных колес. Технические условия. МПС: – М. от 01.12.94.
2. Технологическая инструкция по эксплуатации электроимпульсной установки при восстановлении шеек осей колесных пар вагонов. ЦТВР – 5/20.
3. Інструкція з неруйнівного контролю деталей та вузлів вагонів магнітопорошковим, вихрострумовим та ферозондовим методами та з випробування на розтягання. ЦВ-0052.
4. Технологічна інструкція з відновлення шийок осей колісних пар електроерозійним методом Т 05.07. ЦВ – 0097.
5. Технологічні рекомендації по використанню технології та обладнання для електроерозійного відновлення й зміцнення зовнішніх поверхонь циліндричних деталей на установці типу ЕЕВ – 2.

6. Інструкції з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар. ЦВ – ЦЛ – 0062 Укрзалізниця. – К. – 2005. – 103 с.
7. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
8. Фомін, О.В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів/ О.В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54). – С. 146–153.
9. Panchenko, S. V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises / S. V. Panchenko, T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, L.O. Parkhomenko // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk. – 2016. – Vol.2. – P. 93-99.
10. Горобченко О. М. Методологія визначення величини параметру складності нештатної ситуації під час ведення поїзду //Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, № 6 (54). – Д.: ДНУЗТ, 2014. – С.50-58 (doi 10.15802/stp2014/33077)
11. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
12. Фомін, О.В. Використання профілю з перерізом у вигляді прямокутної труби в якості елементів каркасів кузовів залізничних напіввагонів / О.В. Фомін, В.В. Фомін // 36. наук. праць. – Луганськ: СХУ ім. В.Даля, 2012. – Вип. № 3(174). – С. 244–250.
13. Lovska A. A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry
14. Osmak, V. Classification isothermal rolling stock with the main criteria thermal properties fence body. (Класифікація ізотермічного рухомого складу залізниць з урахуванням основних критеріїв теплотехнічних властивостей огороження кузова.) [Текст] / V. Osmak / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 3. – P. 265–267.
15. Сапронова С.Ю. Оптимізація профілів бандажів коліс локомотивів: монографія / С.Ю. Сапронова. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2011. – 171 с.
16. Ткаченко В.П., Сапронова С.Ю. Оцінка стійкості залізничних екіпажів від сходу з рейок / В.П. Ткаченко, С.Ю. Сапронова // Вісник СХУ ім. В.Даля. – Сєверодонецьк: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2015. – № 1 [218]. – С. 266–271.
17. Фомін, О.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів/ О.В. Фомін, А.В. Гостра // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2015. – Вип. 26–27. – С. 137–147.

Alexei Fomin, Doctor of Science (Technical Sciences)
(Professor, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)
Viktor Osmak, PhD (Technical Sciences)
(Senior Lecturer, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)

MODERN METHODS OF ELECTRICAL RECOVERY NECK OSI WHEELSET AUTOMATED EQUIPMENT AND ITS EXPERIMENTAL RESEARCH

The article discusses the installation of electrical discharge machining which is designed to recover the necks of wheelset axles electro method. Details described EDM technology, which is based on polar material transfer from the electrode to the workpiece during the electrical discharge pulse therebetween. Research surface after recovery showed that the hardness of the coating is greater than the hardness of the base and the coating bond strength with the basis of appropriate strength very foundation. Metallography revealed the presence of a small number of pores which make no significant effect on the wear resistance of the coating and the further surface of the plastic deformation amount is reduced to zero. Electric Discharge cover for its mechanical properties virtually no different from the properties of the metal parts. Using the EDM method prolonging the axis

of the service, allows treatment without special surface preparation that special conditions robots ruled the thermal effect on the geometric dimensions of its parts and physics – mechanical properties, allows to obtain the coating thickness of more than five mm and a hardness of 62 HRC

Recovered axes permitted for use in accordance with applicable regulations.

Keywords: railway transport, rolling stock, wheel sets, electroerosion recovery method, automated equipment.

REFERENCES

1. TU 32 CV-VNIIZhT-94/2. Vosstanovlenie sheek osey vagonnih koles. Tehnicheskie uslovija. MPS: -M. ot 01.12.94.
2. Tehnologicheskaja instrukcija po jekspluatacii elektroimpul'snoj ustanovki pri vosstanovlenii sheek osey kolesnyh par vagonov. CTVR – 5/20.
3. Instrukcija z nerujnivnogo kontrolju detalej ta vuzliv vagoniv magnitoporoshkovim, vihostrumovim ta ferozondovim metodami ta z viprobuvannja na rozjtjagannja. CV-0052.
4. Tehnologichna instrukcija z vidnovlennja shijok osey kolisnih par elektroerozijnim metodom T 05.07. CV – 0097.
5. Tehnologichni rekomendacii po vikoristannju tehnologii ta obladnannja dlja elektroerozijного vidnovlennja j zmicennja zovnishnih poverhon' cilindrichnih detalej na ustanovci tipu EEV – 2.
6. Instrukcii z ogljadu, obstezhennja, remontu ta formuvannja vagonnih kolisnih par. CV – CL – 0062 Ukrzaliznicja. – K.: 2005. 103s.
7. Fomin, O.V. Konceptija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
8. Fomin O. V. Analiz dotsilnosti zastosuvannja shestyhannykh porozhnystrykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system napivvagoniv //Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana, Nauka ta prohres transportu, 6 (54). – 2014. – C. 146-153.
9. Panchenko, S. V. Formation of an automated traffic capacity calculation system of rail networks for freight flows of mining and smelting enterprises / S. V. Panchenko, T. V. Butko, A. V. Prokhorchenko, L. O. Parkhomenko // Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovi Visnyk. – 2016. – Vol.2. – P. 93-99.
10. Gorobchenko O. M. Metodologija viznachennja velichini parametru skladnosti neshtatnoi situacii pid chas vedennja poizdu //Nauka ta progres transportu. Visnyk Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznychnoho transportu, № 6 (54). – D.:DNUZT, 2014. – S.50-58 (doi 10.15802/stp2014/33077)
11. Fomin, O. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
12. Fomin, O.V. Using of rectangle profiles by elements of gondola bodies / O.V. Fomin, V.V. Fomin, // Zbirnyk naukovykh prac' EU V. Dahl National University. 2012 (3(174)) – P. 244-250.
13. Lovska A. A. Peculiarities of computer modeling of strength of body bearing construction of gondola car during transportation by ferry
14. Osmak, V. Classification isothermal rolling stock with the main criteria thermal properties fence body. [Tekst] / V. Osmak / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 3 – P. 265–267.
15. Saprionova S.U. Optimization design profiles of bracer wheel of locomotive: Monograph / S.U. Saprionova – Lugansk: Vyd. EU V. Dahl National University. 2011. 171 p.
16. Tkachenko V.P., Saprionova S.U. Estimation of firmness from derailing / V.P. Tkachenko, S.U. Saprionova // Vistnyk EU V. Dahl National University. 2015 (1 [218]). – P. 266-271.
17. Fomin, O.V. Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnyh vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series «Transport systems and technologies» – Kyiv: DETUT, 2015. – Vyp.26-27. – p.137-147.

УДК 656.2:625.113

А. О. Сулим, к.т.н.

(старший науковий співробітник ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

С. О. Столетов

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

О. В. Фомін, д.т.н, доцент

(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

Е. В. Третьак (інженер ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

В. С. Речкалов

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ ЗМІНИ НАПРУЖЕНЬ У КРОМКАХ ПІДОШОВ РЕЙОК ПІД ЧАС РУХУ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА НА КРИВИХ ДІЛЯНКАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

У статті зазначено, що одним з основних показників впливу рухомого складу на колію є напруження в кромках підшов рейок. Проаналізовано існуючі дослідження по даному напрямку, за результатами яких встановлено, що в умовах впровадження швидкісного руху питання визначення величин максимально імовірних напружень в кромках підшов рейок та характер їх зміни залежно від швидкості руху в кривих ділянках залізничної колії, залишаються актуальними. Мета роботи – встановлення залежності величин напружень у кромках підшов рейок під час різних швидкостей руху пасажирського вагона в кривих ділянках залізничної колії. Побудовані графіки залежностей максимально імовірних значень напружень від швидкості під час руху пасажирського вагона в кривих радіусом 419 м, 906 м, 1530 м. Визначено величини максимально імовірних значень напружень, що виникають у зовнішній та внутрішній кромках підшов рейок, залежно від швидкості руху. Встановлено, що величини напружень у кромках підшов рейок з підвищенням швидкості руху та зменшенням радіуса кривої зростають, при цьому динаміка зростання має випадковий характер.

Ключові слова: вплив на залізничну колію, напруження в кромках підшов рейок, пасажирський вагон, рухомий склад, осьове навантаження.

В статье обозначено, что одним из основных показателей воздействия подвижного состава на путь является напряжение в кромках подшов рельс. Проанализированы существующие исследования в данном направлении, по результатам которых установлено, что в условиях внедрения скоростного движения вопросы определения величин максимально вероятных напряжений в кромках подшов рельс и характер их изменения в зависимости от скорости движения в кривых участках железнодорожного пути, остаются актуальными.

© Сулим А. О., Столетов С. О., Фомін О. В., Третьак Е. В., Речкалов В. С., 2017

Цель работы – установление зависимости величин напряжений в кромках подошв рельс при различных скоростях движения пассажирского вагона в кривых участках железнодорожного пути. Построены графики зависимостей максимально вероятных значений напряжений от скорости при движении пассажирского вагона в кривых радиусом 419 м, 906 м, 1530 м. Определены величины максимально вероятных значений напряжений, которые возникают во внешней и внутренней кромках подошв рельс, в зависимости от скорости движения. Установлено, что величины напряжений в кромках подошв рельс с повышением скорости движения и уменьшением радиуса кривой возрастают, при этом динамика возрастания имеет случайный характер.

Ключевые слова: воздействие на путь, напряжение в кромках подошв рельс, пассажирский вагон, подвижной состав, осевая нагрузка.

Постановка проблеми. Одним з важливих завдань під час удосконалення конструкції рухомого складу є покращення його динамічних якостей та зниження силового впливу на елементи верхньої будови залізничної колії [1-4]. Особливо це стосується швидкісного пасажирського рухомого складу (пасажирських вагонів, швидкісних електропоїздів та локомотивів) [6-10]. При підвищенні швидкостей руху поїздів зростає динамічний вплив на колію рухомого складу, у зв'язку з чим збільшуються вертикальні і горизонтальні сили і, як наслідок, напруження в кромках підшов рейок. Тому в якості основного показника впливу рухомого складу на колію приймають напруження в кромках підшов рейок, який є інтегральним показником сукупності сил, що діють від його коліс [6, 11]. Нормоване значення даного показника використовується як критерій для встановлення допустимих швидкостей руху.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Із робіт [1-14] відомо, що на величину напружень у кромках підшов рейок в основному впливають такі фактори як тип рухомого складу (осьове навантаження), швидкість руху та величина радіуса кривої на ділянках залізничної колії. Над дослідженнями в цьому напрямі працювало багато вітчизняних та іноземних учених [1-14]. Значний внесок у розвиток досліджень у цій галузі внесли: Веріго М.Ф., Коган А.Я., Єршков О.П., Рибкін В.В., Даніленко Е.І., Роман Ю.С., Курган М.Б., Курган Д.М. та інші.

За умов впровадження швидкісного руху дослідження, направлені на визначення величин максимальних напружень, що виникають у кромках підшов рейок та характеру їх зміни під час різних швидкостей руху пасажирських вагонів у кривих ділянках залізничної колії, залишаються актуальними.

Мета статті – встановлення залежності величин напружень у кромках підшов рейок під час різних швидкостей руху пасажирського вагона в кривих ділянках залізничної колії.

Виклад основного матеріалу досліджень. Як об'єкт випробувань обрано пасажирський вагон локомотивної тяги з осьовим навантаженням 15,8 тс (155 кН). Випробування проводились на коліях типових конструкцій магістральних залізничних доріг ПАТ «Укрзалізниці». Випробування виконувались на трьох дослідних ділянках колії з кривими різного радіусу.

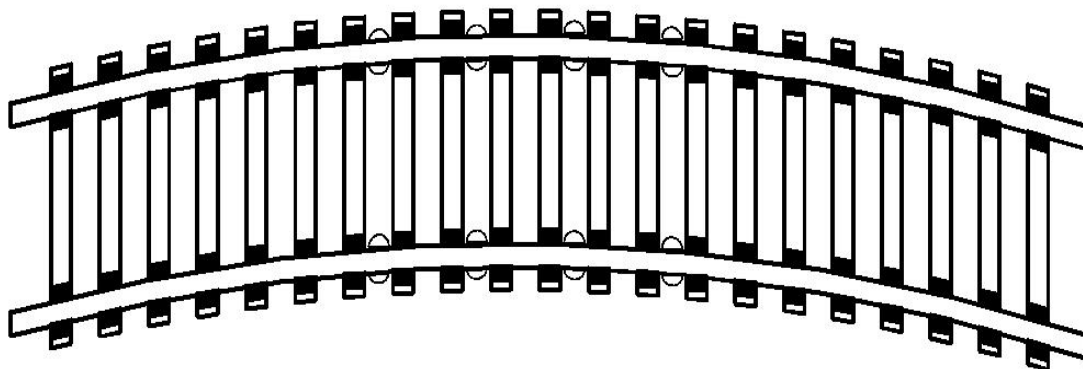
Дослідна ділянка № 1: крива радіусом 906 м, безстикова колія, рейки Р65, залізобетонні шпали (1840 шт/км) на щебеневому баласті при товщині баласту під шпалою 26...30 см.

Дослідна ділянка № 2: крива радіусом 419 м з такою ж конструкцією колії, як і на першій ділянці, але епюра шпал 2000 шт/км і товщина баласту під шпалою 30...35 см.

Дослідна ділянка № 3: крива радіусом 1530 м з такою ж конструкцією колії, як і на першій ділянці.

Стан колії та стрілочних переводів на зазначених ділянках оцінювався на «відмінно». Дослідний зчеп формувався з двох електровозів ЧС-7, вагона-лабораторії та дослідного пасажирського вагона. Поїздки на дослідних ділянках з кривими радіусом 906 м та 1530 м здійснювались зі швидкостями руху (25–114) км/год; з кривою радіусом 419 м – з швидкостями (25–84) км/год. Для тарування приладів (схем) на кожній ділянці проводились поїздки зі швидкостями (5–10) км/год.

Схему розміщення приладів на дослідних ділянках залізничної колії зображено на рис. 1.



⤿ – прилади для вимірювань напружень у кромці підшви рейки

Рис. 1. Схема розміщення приладів на дослідних ділянках залізничної колії

Для реєстрації показників взаємодії колії та рухомого складу використовувались тензометричні датчики з базою 20 мм. На кожній ділянці було встановлено по 16 вимірювальних датчиків (рис. 1). Всього під час проведення випробувань було зроблено більше ніж 60 дослідних проїздів. Реєстрацію та запис процесів під час проїздів виконано за допомогою вимірювальної системи, до складу якої входять: персональний комп'ютер, аналого-цифровий перетворювач, підсилювач сигналів та вимірювальні тензометричні датчики. Обробка даних на персональному комп'ютері здійснювалась за допомогою атестованої комп'ютерної програми «Impact Raw Data».

Графік характеру зміни кромочних напружень в одній з точок вимірювань під час одиночного проїзду дослідного зчепу, зображено на рис. 2.

За результатами обробки для кожного проїзду дослідного зчепу фіксувались максимальні значення напружень, що виникають в кромках підшви рейки. Слід зазначити, що максимальні величини фіксувались для кожної осі дослідного пасажирського вагона. В процесі обробки даних для кожного діапазону швидкості і радіусу кривої визначалось: середнє значення, середньоквадратичне відхилення, максимально зафіксоване та максимально імовірне значення кромочних напружень з довірчою ймовірністю 0,994 [15].

Результати отриманих максимально імовірних значень напружень в кромках підшви рейок зображено у вигляді діаграм на рис. 3. Результати отриманих максимально імовірних значень по кожній кромці підшви рейки (для внутрішньої та зовнішньої ниток), представлено в табл. 1–3.

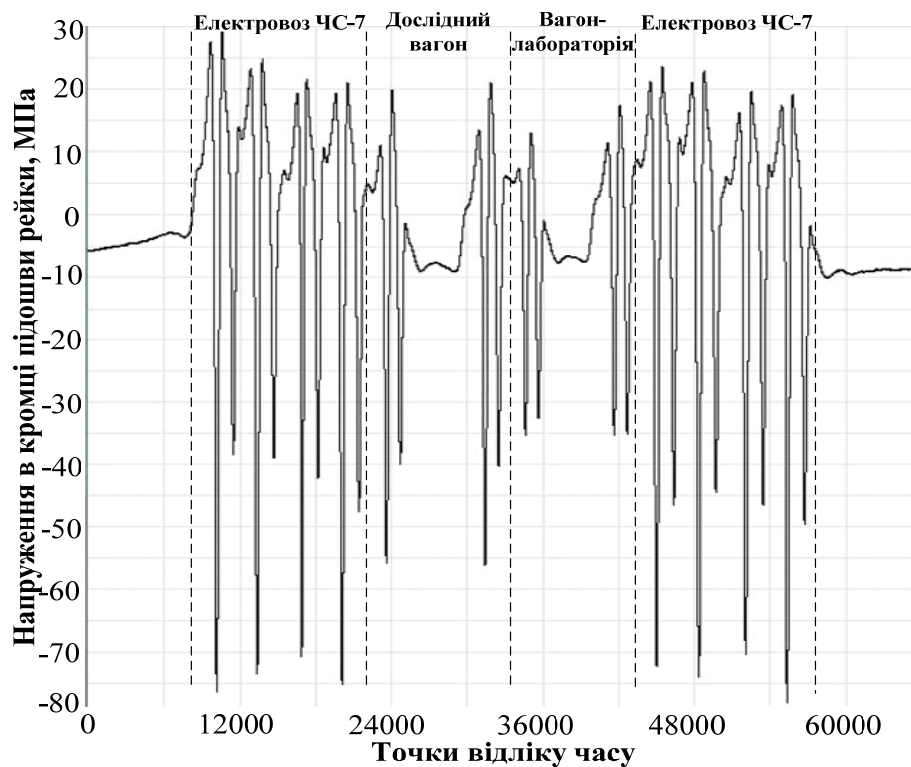


Рис. 2. Графік характеру зміни напружень в кромці підшви рейки під час проїзду дослідного зчепу

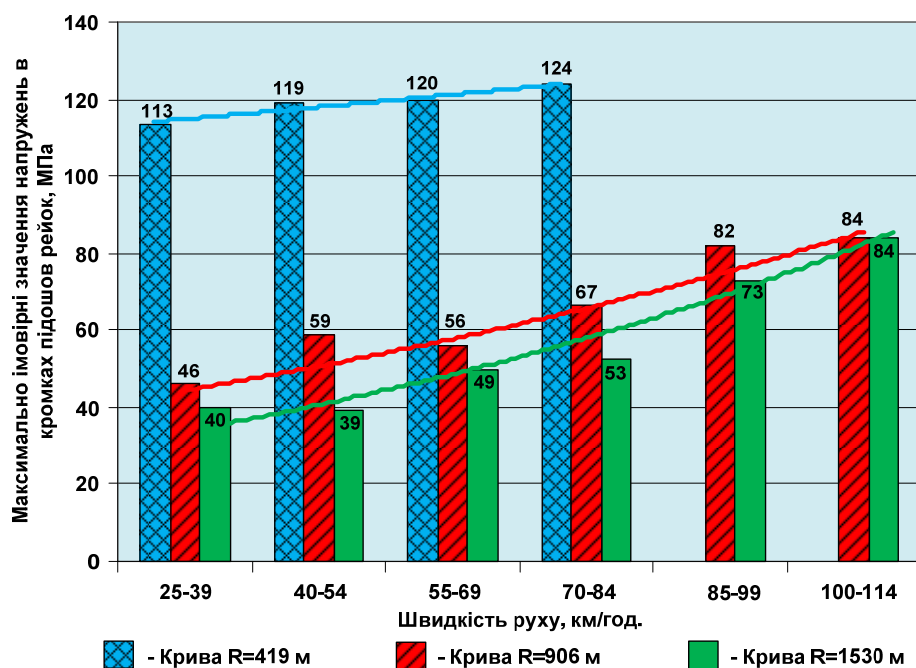


Рис. 3. Діаграми максимально імовірних значень напружень в кромках підшвів рейок

Таблиця 1. Максимально імовірні значення напружень в кромках підошов рейок (R = 906 м), Мпа

V, км/год	Нитка			
	Внутрішня		Зовнішня	
	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка
25-39	38	45	31	46
40-54	35	45	31	49
55-69	42	56	32	56
70-84	47	67	37	58
85-99	52	82	38	67
100-114	57	84	43	75

Таблиця 2. Максимально імовірні значення напружень в кромках підошов рейок (R = 419 м), Мпа

V, км/год	Нитка			
	Внутрішня		Зовнішня	
	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка
25-39	58	112	46	74
40-54	62	116	62	119
55-69	88	109	89	120
70-84	102	95	124	102

Таблиця 3. Максимально імовірні значення напружень в кромках підошов рейок (R = 1530 м), Мпа

V, км/год	Нитка			
	Внутрішня		Зовнішня	
	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка
25-39	20	25	29	40
40-54	30	33	28	39
55-69	40	45	49	41
70-84	43	53	48	48
85-99	61	73	63	67
100-114	84	78	77	83

За результатами аналізу отриманих діаграм (рис. 1) встановлено наступне:

- величини кромочних напружень підошов рейок під час руху пасажирського вагона на дослідних кривих ділянках залізничної колії різного радіусу (419 м; 906 м; 1530 м) не перевищують допустимого нормативного значення, яке дорівнює 240 МПа;
- максимально імовірні значення напружень в кромках підошов рейок зростають за умов підвищення швидкості руху дослідного пасажирського вагона;
- зі зменшенням радіусу кривої збільшуються значення кромочних напружень в підошвах рейок за умови однакової швидкості руху пасажирського вагона;
- залежність кромочних напружень у підошвах рейок від швидкості руху має випадковий характер і не підпорядковується жодному математичному закону, проте наближено характер зміни даної залежності можливо описати експоненціальною функцією;
- значення кромочних напружень в кривих радіусів 906 м і 1530 м для однакових діапазонів швидкостей руху пасажирського вагона суттєво не відрізняються (максимальна різниця складає 20 МПа для діапазону швидкості 40–54 км/год);

– значення кромочних напружень в кривій радіусом 419 м у порівнянні з кривими радіусів 906 м і 1530 м для однакових діапазонів швидкостей руху пасажирського вагона більші у 1,9–3 рази (на кривій радіусом 906 м максимальна різниця складає 67 МПа для діапазону швидкості 25–39 км/год; на кривій радіусом 1530 м максимальна різниця складає 80 МПа для діапазону швидкості 40–54 км/год);

– динаміка зміни величин кромочних напружень в кривій радіусом 419 м зі збільшенням швидкості – незначна (максимальна різниця складає 6 МПа), в той час як в кривих радіусом 906 м і 1530 м – більш суттєва (максимальна різниця складає 15 МПа та 20 МПа відповідно).

За результатами аналізу даних таблиць 1–3 можна зробити наступні висновки:

– під час руху дослідного пасажирського вагона з різними швидкостями по кривим радіусу (419 м; 906 м; 1530 м) у переважній більшості максимально імовірні значення напружень спостерігаються у зовнішніх кромках підшов рейок;

– у кривій радіусом 906 м при швидкостях руху до 70 км/год максимально імовірні значення спостерігаються у зовнішній кромці зовнішньої нитки, при швидкостях понад 70 км/год – у зовнішній кромці внутрішньої нитки. При цьому різниця між значеннями напружень у зовнішніх кромках внутрішньої та зовнішньої ниток при швидкості руху до 70 км/год незначна (максимальна різниця складає 4 МПа для діапазону швидкості 40–54 км/год), в той час як при швидкостях руху понад 70 км/год більш суттєва (максимальна різниця складає 15 МПа для діапазону швидкості 85–99 км/год). Максимальна різниця між значеннями напружень у внутрішніх кромках внутрішньої та зовнішньої ниток складає 14 МПа для діапазону швидкості 100–114 км/год. Крім того, при швидкостях руху понад 70 км/год відбувається стрімка динаміка зростання максимально імовірних значень напружень у зовнішніх кромках порівняно з внутрішніми (на рівні 17 МПа для зовнішньої нитки; на рівні 17 МПа для внутрішньої нитки);

– у кривій радіусом 419 м характер зміни максимально імовірних значень має випадковий характер (максимально імовірне значення для діапазону швидкості 25–39 км/год зафіксовано у зовнішній кромці внутрішньої нитки, для діапазону швидкостей 40–69 км/год – у зовнішній кромці зовнішньої нитки, для діапазону швидкостей 70–84 км/год – у внутрішній кромці зовнішньої нитки). Різниця між максимально імовірними значеннями напружень у зовнішніх кромках внутрішньої та зовнішньої ниток для діапазону швидкості 40–114 км/год незначна (на рівні 3–11 МПа), в той час як для діапазону швидкості 25–39 км/год більш суттєва (на рівні 38 МПа). Різниця між максимально імовірними значеннями напружень у внутрішніх кромках внутрішньої та зовнішньої ниток для діапазону швидкості 40–69 км/год незначна (на рівні 1 МПа), в той час як для діапазонів швидкостей 25–39 км/год та 70–84 км/год більш суттєва (на рівні 12–22 МПа). При швидкостях руху 70–84 км/год динаміка зростання максимально імовірних значень напружень у внутрішніх кромках продовжується (на рівні 14 МПа для внутрішньої нитки; на рівні 35 МПа для зовнішньої нитки), в той час як у зовнішніх кромках взагалі з'являється динаміка спадання (на рівні 14 МПа для внутрішньої нитки; на рівні 18 МПа для зовнішньої нитки);

– у кривій радіусом 1530 м при швидкостях руху до 70 км/год максимально імовірні значення напружень спостерігаються у зовнішній нитці, при швидкостях руху понад 70 км/год – у внутрішній нитці. Різниця між максимально імовірними значеннями напружень у кромках внутрішньої та зовнішньої ниток незначна (на рівні 1–9 МПа для зовнішніх кромок; на рівні 4–15 МПа для зовнішніх кромок). Динаміка зміни максимально імовірних значень при підвищенні швидкості руху має характер зростання для внутрішньої та зовнішньої ниток.

Висновки. За результатами аналізу даних, отриманих розрахунково-експериментальним шляхом, встановлено таке:

– максимально імовірне значення напруження в кромках підшов рейок отримано під час проходження кривої радіусу 419 м в діапазоні швидкості 70–84 км/год і дорівнює 124 МПа, що суттєво менше ніж нормоване допустиме значення 240 МПа (отримане значення складає 52 % від допустимої величини);

– максимально імовірні значення напружень в кромках підшов рейок суттєво залежать від швидкості руху та радіусу кривої. При підвищенні швидкості руху та зменшенні радіусу кривої значення напружень в кромках підшов рейок збільшуються. При незмінному радіусі кривої залежність максимально імовірних значень від швидкості руху не підпорядковується жодному математичному закону, однак наближено цю залежність можна описати експоненціальною функцією;

– максимально імовірні значення напружень переважно виникають у зовнішніх кромках підшов рейок. Найменша різниця між значеннями напружень у кромках підшов рейок спостерігається під час руху дослідного пасажирського вагона в кривій радіусу 1530 м (складає 7 МПа для діапазону швидкості 100–114 км/год), найбільша – в кривій радіусу 419 м (складає 66 МПа для діапазону швидкості 25–39 км/год). Отже, для кривої малого радіуса характерний значний розкид максимально імовірних значень у кромках підшов рейок і, навпаки, для кривої великого радіуса – розкид значень мінімальний.

ЛІТЕРАТУРА

1. Манкевич, Н.Б. Усовершенствование конструкции литых деталей двухосных тележек грузовых вагонов: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Манкевич Николай Борисович : Дніпр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. Лазаряна. – Д., 2015. – 263 с. – Библиогр.: с. 184–214.
2. Даніленко, Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість: ЦП-0117 / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2005. – 119 с.
3. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
4. Фомін О.В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів / О.В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54) – С. 146–153
5. Fomin O.V. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45–48.
6. Рибкін, В.В. Обґрунтування параметрів плану лінії для ліквідації бар'єрних місць при реконструкції залізниці / В.В. Рибкін, М.Б. Курган, Н.В. Халіпова, В.І. Харлан // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Д., 2003. – Вип. 1. – С. 74–83.
7. Курган М.Б. Перебудова кривих для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів / М.Б. Курган, М.А. Гусак, Н.П. Хмелевська / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 90–97.
8. Курган Д.М. Особливості сприйняття навантаження елементами залізничної колії при високих швидкостях руху / Д.М. Курган // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту – Д., 2015. – № 2 (56). – С. 136–145.
9. Рыбкин В.В. Результаты исследований по установлению условий обращения электровагона ДС3-001 на сети железных дорог / В.В. Рыбкин, А.П. Татуревич, С.М. Сова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вип. 5. – С. 166–169.
10. Даніленко Е.І. Про необхідність внесення змін в існуючі нормативні допуски по ширині рейкової колії у прямих та кривих при впровадженні швидкісного руху на залізницях України / Е.І. Даніленко, М.І. Карпов, В.М. Молчанов, Р.М. Йосифович // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 2. – С. 9–17.
11. Ромен Ю.С. Установление условий обращения вагонов с увеличенной осевой нагрузкой / Ю.С. Ромен, А.М. Орлова, М.С. Тихов, А.В. Заверталоу // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 25–35.

12. Вериги, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М.Ф. Вериги, А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
13. Коган, А.Я. Динамика пути и его взаимодействия с подвижным составом / А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1997. – 326 с.
14. Ершков, О.П. Расчеты железнодорожного пути в кривых и нормы его устройства / О.П. Ершков, Л.П. Мелентьев, М.С. Яхов // Труды ВНИИЖТ. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – Вып. 192. – 206 с.
15. Державний стандарт України ДСТУ 7571:2014. Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію шириною 1520 мм; Уведено вперше; надано чинності 2014-12-02. – К.: Мінекономіки України, 2014. – 33 с.

Andrii Sulym, Ph.D. (Candidate of technical Sciences)

(Senior researcher, SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

Sergii Stoletov

(Researcher of SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

Alexei Fomin, Doctor of Science (Technical Sciences)

(Professor, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)

Eduard Tretiak

(Engineer of SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

Vladislav Rechkalov (Researcher of SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

RESEARCH ON LOAD STRESSES VARIATION IN STRAIN GAGE BOTTOM EDGES ON THE PASSENGER CAR RUN ON CURVED TRACKS

The article deals with the load stresses in the strain gage bottom edges as one of the principal parameter of the rolling stock impact on the track. The study of the available research on this subject resulted into the fact that the determination of the maximum possible values of load stresses in strain gage bottom edges and their variation behavior in dependence of the running speed on the curved tracks continue to be relevant for introduction of high-speed running. The aim of the work is to define the dependence of the load stresses values in strain gage bottom edges under various speeds of a passenger car running on curved tracks. Diagrams of maximum possible load stresses versus running speed of a passenger car on curved tracks of 419m, 906m, and 1530m radiuses are plotted. The values of the maximum possible load stresses, generating in inner and outer bottom edges of strain gages in dependence of the speed were determined. It was found out that load stresses in the strain gage bottom edges increase with the speed rise and shortening of a curve radius, upon that the increase behavior is of random nature.

Key words: track impact, load stress in strain gage bottom edges, passenger car, rolling stock, axle load.

REFERENCES

1. Mankevich N.B. *Usovershenstvovaniye konstruktii litykh detaley dvukhosnykh telezhek gruzovykh vagonov* Cand, Diss. [Improvement of the design of cast parts of two-axle trolleys of freight wagons. Cand. Diss.]. Dnipropetrovsk, 2015. 263 p.
2. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist ta stiykist* [Terms railway line calculations for strength and stability]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2005. 119 p.
3. Fomin, O.V. *Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv* [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
4. Fomin O. V. *Analiz dotsilnosti zastosuvannia shestyhannykh porozhnystykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system napivvagoniv* // Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana, Nauka ta prohres transportu, 6 (54). – 2014. – С. 146-153.

5. Fomin, O. *Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model* / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
6. Rybkin V.V., Kurgan M.B., Khalipova N.V., Kharlan V.I. Obgruntuvannya parametriv planu linii dla likvidatsii bariernykh mistiv pry rekonstruktsii zaliznytsi [Justification line options plan to eliminate the barrier places in the reconstruction of the railway]. *Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznychnogo transportu imeni akademika Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan], 2003, issue 1, pp. 74–83.
7. Kurgan M.B., Gusak M.A., Khmelevska M.P. Perebudova kryvykh dla vprovadzhennia shvydkisnogo rukhu pasazhyrskykh poizdiv [Restructuring curves for the introduction of high-speed passenger trains]. *Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznychnogo transportu imeni akademika Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 90–97.
8. Kurgan D.M. Osoblyvosti spryiniattia navantazhennia elementamy zaliznychnoi kolii pry vysokomykh shvydkostiakh rukhu [Features perceptions load elements of the railway line at high speeds]. *Nauka ta progres transportu. Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznychnogo transportu* [Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2015, issue 2 (56), pp. 136–145.
9. Rybkin V.V., Taturevich A.P., Sova S.M. Rezultaty eksperymentalnykh issledovaniy po ustanovleniyu usloviy obrashcheniy elektrovoza DS-001 na seti zheleznykh dorog [The results of studies on the establishment of conditions for the circulation of an electric locomotive DS3-001 on the railway network]. *Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznychnogo transportu imeni akademika Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan], 2005, issue 5, pp. 166–169.
10. Danilenko E.I., Karpov M.I., Molchanov V.M., Yosyfovych R.M. Pro neobkhdnist vnesennia zmin v isnuivchi normatyvni dopusky po shyryni reikovoï kolii u priamykh ta kryvykh pry vprovadzhenni shvydkisnogo rukhu na zaliznytsiakh Ukrainy [On the need to amend the existing regulatory tolerances the width of rail track in the straight and curves with embedded high-speed traffic on the railways of Ukraine]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2014, issue 2, pp. 9–17.
11. Romen Yu. S., Orlova A.M., Tikhov M.S., Zavertalyuk A.V. Ustanovleniye usloviy obrashcheniya vagonov s uvelichennoy osevoy nagruzkoy [Establishment of conditions for handling wagons with increased axial load]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2013, no. 3 (46), pp. 25–35.
12. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [Interaction of the track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1986. 559 p.
13. Kogan A.Ya. *Dinamika puti i yego vzaimodeystviya s podvizhnym sostavom* [Dynamics of the path and its interaction with rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1997. 326 p.
14. Yershkov O.P., Melentyev L.P., Yakhov M.S. *Raschet y zheleznodorozhnogo puti v krivykh i normy yego ustroystva* [Calculations of the railway track in curves and norms of its device]. Moscow, Transport Publ., 1960. 206 p.
15. DSTU 7571:2014. *Rukhomyi sklad zaliznyts. Normy dopustymogo vplyvu na zaliznychnu koliiu shyrynoiu 1520 mm.* [State Standart 7571–2014. Rolling railways. The norms of permissible impact on railway track 1520 mm]. Kyiv, Minekonomrozvytku Ukrainy Publ., 2014. 33 p

УДК 621.314.2

Сергій Гулак

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

Едуард Єрмоленко

(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць» Державного економіко-технологічного університету транспорту)

Андрій Гаюр

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

Олександр Сидоренко

(студент гр. 3-ЕМ Державного економіко-технологічного університету транспорту)

МОДЕЛЬ МОТОР-ВЕНТИЛЯТОРА ЕЛЕКТРОВОЗА ВЛ-80^К ПРИ НЕСИМЕТРІЇ ФАЗНИХ НАПРУГ ТА НЕСИНУСОЇДАЛЬНІЙ НАПРУЗІ ЖИВЛЕННЯ

У статті розглянуті та досліджені принципи побудови моделі асинхронного двигуна АЭ-92-4, що використовується на електровозах ВЛ-80^{К,Т} як мотор-вентилятор при несиметрії фазних напруг та несинусоїдальній напрузі живлення. Обґрунтовано вибір математичної моделі, за допомогою якої описується робота мотор-вентилятора в зазначених режимах роботи, розраховані його параметри та побудована модель в програмному середовищі Simulink програмного пакета MATLAB. Зазначена можливість подальшого моделювання приводу допоміжних машин (фазорозчіплювача, мотор-компресора та мотор-насоса) з метою дослідження зазначених режимів роботи асинхронних двигунів на загальний коефіцієнт потужності приводу допоміжних машин електровозів серії ВЛ80^{Т,К} та розробки методів з підвищення коефіцієнта потужності.

Ключові слова: Модель мотор-вентилятора, α, β, γ – координати, несиметрія фазних напруг, несинусоїдальна напруга живлення, потокоццеплення ротора, потокоццеплення статора, коефіцієнт потужності.

В статье рассмотрены и исследованы принципы построения модели асинхронного двигателя АЭ-92-4, используемого на электровозах ВЛ-80^{К, Т} в качестве мотор-вентилятора при несимметрии фазных напряжений и несинусоидальном напряжении питания. Обоснован выбор математической модели, с помощью которой описывается работа мотор-вентилятора в указанных режимах работы, рассчитаны его параметры и построена модель в программной среде Simulink программного пакета MATLAB. Указанная возможность дальнейшего моделирования привода вспомогательных машин (расцепителя фаз, мотор-компрессора и мотор-насоса) с целью исследования указанных режимов работы асинхронных

© Гулак С. О., Єрмоленко Е. К., Гаюр. А. В., Сидоренко О. А., 2017

двигателей на общий коэффициент мощности привода вспомогательных машин электровозов серии ВЛ80^{Т,К} и разработки методов по повышению коэффициента мощности.

Ключевые слова: Модель мотор-вентилятора, α, β, γ – координаты, несимметрия фазных напряжений, несинусоидальное напряжение питания, потокосцепление ротора, потокосцепление статора, коэффициент мощности.

Постановка проблеми. Тенденція до подорожчання енергоносіїв з кожним роком набуває все більших масштабів, тому будь-яке впровадження енергозберігаючих технологій є, як ніколи, доречним. Створення моделі системи допоміжних машин електровоза ВЛ80^{Т,К} є частиною роботи з підвищення коефіцієнта потужності даної серії електровозів. Перед вибором технічного рішення з модернізації для підвищення коефіцієнта потужності необхідно проаналізувати електромагнітні явища, які проходять в електричних колах системи «тягова підстанція – контактна мережа – електровоз», їхня сутність і причини виникнення. Тому до раніше створеної моделі тягового приводу необхідно додати модель системи допоміжних машин. В сукупності вони дадуть повну модель електричної частини електровоза, що дозволить в повній мірі проаналізувати всі електромагнітні процеси, які виникають у цих колах, а також після вибору технічного рішення, зробити необхідні досліди та розрахунки з ефективності впровадження модернізації.

Важливим етапом аналізу роботи електропривода допоміжних машин при несиметрії фазних напруг асинхронних двигунів та при несинусоїдальній напрузі живлення є моделювання. Побудова реальної моделі з параметрами, які максимально наближені до предмета моделювання, виявляє низка непередбачуваних проблем, котрі можуть з'явитися в процесі експлуатації мотор-вентилятора електровоза.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведено аналіз факторів, які впливають на вибір моделі асинхронного двигуна при несиметрії фазних і несинусоїдальній напрузі живлення, та обґрунтовано застосування α, β, γ -координат для побудови математичної моделі мотор-вентилятора електровозів серії ВЛ80^{Т,К} [1, 2].

Для аналізу роботи мотор-вентилятора з метою дослідження впливу несиметрії фазних та несинусоїдальної напруги живлення на коефіцієнт потужності приводу допоміжних машин необхідно розробити його математичну модель, яка б адекватно відображала процеси, що відбуваються в асинхронному двигуні в зазначених режимах роботи.

Мета статті. Проаналізувати, як впливає несиметрія фазних напруг асинхронного та несинусоїдальність напруги живлення мотор-вентилятора на коефіцієнт потужності допоміжного приводу електровозів серії ВЛ80^{Т,К}. Обґрунтувати заходи, щодо підвищення коефіцієнта потужності допоміжного електропривода електровозів серії ВЛ80^{Т,К}.

Виклад основного матеріалу дослідження. Найпростішим та найпопулярнішим методом моделювання асинхронного двигуна є схема заміщення. При практичних розрахунках замість реального асинхронного двигуна, його замінюють еквівалентною схемою заміщення, в якій електромагнітний зв'язок між статором і ротором замінений на електричний. При цьому параметри ланцюга ротора приводяться до параметрів ланцюга статора. Простий метод, який дозволяє без розв'язку складних диференціальних рівнянь знайти характеристики машини, величини струмів, моментів та ін. По суті, результати, які дає схема заміщення, є результатом розв'язку комплексних алгебраїчних рівнянь для електричної схеми заміщення, які придатні для опису процесів в електричній машині тільки в довготривалому режимі та при круговому полі в зазорі машини, тобто при симетричному режимі роботи та однакових параметрів усіх фаз.

Звичайно ж допоміжні машини працюють у режимі несиметрії фазних напруг та несинусоїдальності напруг та струмів живлення. Причому розчіплювач фаз є несиметричною електричною машиною, в якій різна кількість витків в обмотці статора на різних фазах.

Для таких задач підходить математична модель на основі диференційних рівнянь – узагальнений електромеханічний перетворювач. В цій моделі енергія магнітного поля машини концентрується в повітряному зазорі, а за рахунок зміщення струмів у часі та обмоток у просторі в повітряному зазорі створюється кругове поле, в результаті чого отримується чітка картина фізичних явищ, яка розкриває суть електромагнітного перетворення енергії. Математична модель на базі диференційних рівнянь більш адекватно відображає всі процеси електромеханічного перетворення, ніж схеми заміщення та векторні діаграми. Будь-які добутки струмів і напруг в математичній моделі мають фізичний сенс, оскільки ця модель адекватно виражає процеси перетворення енергії в повітряному зазорі машини. Електромагнітний момент електричної машини виражається всіма можливими комбінаціями добутків струмів, які протікають в контурах статора і ротора машини.

У найпростішому і загальному випадку узагальнена електрична машина – це дво полюсна двофазна симетрична ідеалізована машина, яка має дві пари обмоток на статорі й роторі (рис. 1).

Кругове поле в повітряному зазорі може бути не тільки двофазним, а й три-, чотири-, m -фазним узагальненої електричної машини. Якщо багатофазна машина симетрична, а напруги на її обмотках синусоїдальні, то зручно аналізувати багатофазну машину, якщо привести її до двофазної (рис. 1).

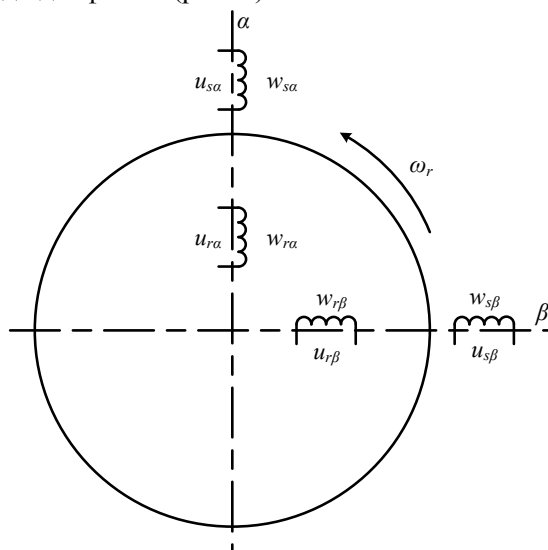


Рис. 1. Електрична машина як двополюсна двофазна симетрична ідеалізована машина, що має дві пари обмоток на статорі і роторі

Однак у нашому випадку ми маємо справу з несиметричною машиною (розчіплювач фаз), а також наявність просторових гармонік і несинусоїдальності напруги живлення, тому приводити машину до двофазної неправомерно, оскільки поля в зазорі двофазної та багатофазної у цих умовах будуть відрізнятися одне від одного. Тому в цьому випадку доцільно використати математичну модель ідеалізованої трифазної узагальненої машини в загальмованій системі координат (α, β, γ) (рис. 2).

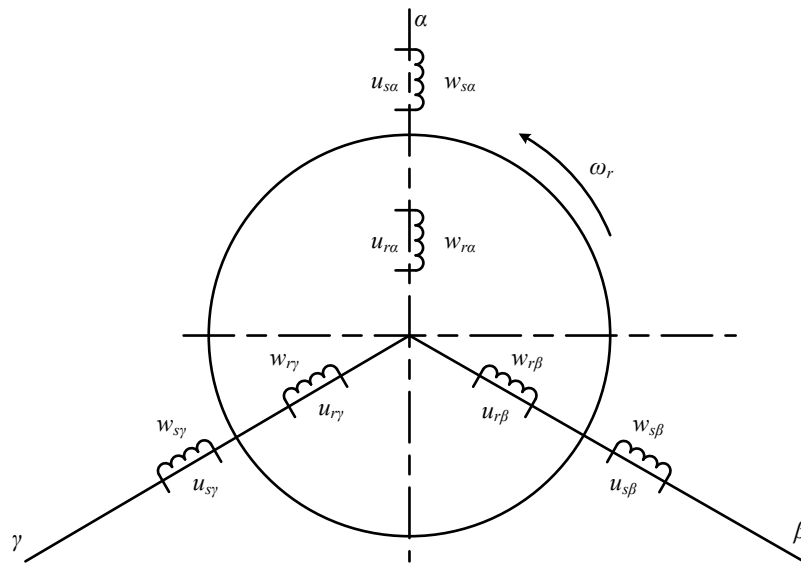


Рис. 2. Математичну модель ідеалізованої трифазної узагальненої машини в загальмованій системі координат (α, β, γ)

Ця модель описується такою системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{s\alpha} = r_{s\alpha} \cdot i_{s\alpha} + \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt}; \\ u_{s\beta} = r_{s\beta} \cdot i_{s\beta} + \frac{d\psi_{s\beta}}{dt}; \\ u_{s\gamma} = r_{s\gamma} \cdot i_{s\gamma} + \frac{d\psi_{s\gamma}}{dt}; \\ -u_{r\alpha} = r_{r\alpha} \cdot i_{r\alpha} + \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} + \frac{(\psi_{r\beta} - \psi_{r\gamma}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}; \\ -u_{r\beta} = r_{r\beta} \cdot i_{r\beta} + \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} + \frac{(\psi_{r\gamma} - \psi_{r\alpha}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}; \\ -u_{r\gamma} = r_{r\gamma} \cdot i_{r\gamma} + \frac{d\psi_{r\gamma}}{dt} + \frac{(\psi_{r\alpha} - \psi_{r\beta}) \cdot p \cdot \omega_r}{\sqrt{3}}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Прийняті звичайні для електромагнітної машини припущення: кожна з трьох обмоток створює в гладкому зазорі синусоїально розподілену МРС, коефіцієнт насичення магнітного ланцюга незмінний. У виразі (1) і далі прийняті такі позначення: u – напруга; i – струм; t – час; r – активний опір; Ψ – потокощеплення; ω_r – механічна частота обертання ротора; p – число пар полюсів. Нижні індекси α, β, γ – позначають приналежність до відповідної фази. Нижній індекс s позначає приналежність до статора, r – приналежність до ротора, а індекс μ – до ланцюга намагнічування.

Потокощеплення:

$$\begin{aligned}\psi_{s\alpha} &= L_{s\alpha} \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot (M \cdot i_{s\beta} + M \cdot i_{s\gamma}) + \frac{1}{2} \cdot M \cdot \left(i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\gamma} \right); \\ \psi_{s\beta} &= L_{s\beta} \cdot i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot (M \cdot i_{s\alpha} + M \cdot i_{s\gamma}) + \frac{1}{2} \cdot M \cdot \left(i_{r\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\gamma} \right); \\ \psi_{s\gamma} &= L_{s\gamma} \cdot i_{s\gamma} - \frac{1}{2} \cdot (M \cdot i_{s\alpha} + M \cdot i_{s\beta}) + \frac{1}{2} \cdot M \cdot \left(i_{r\gamma} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{r\beta} \right).\end{aligned}\quad (2)$$

$$\begin{aligned}\psi_{r\alpha} &= L_{r\alpha} \cdot i_{r\alpha} + \frac{1}{2} \cdot M \cdot \left(i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\gamma} \right) - \frac{1}{2} \cdot (M \cdot i_{r\beta} + M \cdot i_{r\gamma}); \\ \psi_{r\beta} &= L_{r\beta} \cdot i_{r\beta} + \frac{1}{2} \cdot M \cdot \left(i_{s\beta} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\gamma} \right) - \frac{1}{2} \cdot (M \cdot i_{r\alpha} + M \cdot i_{r\gamma}); \\ \psi_{r\gamma} &= L_{r\gamma} \cdot i_{r\gamma} + \frac{1}{2} \cdot M \cdot \left(i_{s\gamma} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\alpha} - \frac{1}{2} \cdot i_{s\beta} \right) - \frac{1}{2} \cdot (M \cdot i_{r\alpha} + M \cdot i_{r\beta}).\end{aligned}\quad (3)$$

Рівняння електромагнітного моменту АД має вигляд:

$$M_{EM} = p \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot M \cdot \left[(i_{s\alpha} \cdot i_{r\gamma} + i_{s\beta} \cdot i_{r\alpha} + i_{s\gamma} \cdot i_{r\beta}) - (i_{s\alpha} \cdot i_{r\beta} + i_{s\beta} \cdot i_{r\gamma} + i_{s\gamma} \cdot i_{r\alpha}) \right] \quad (4)$$

Рівняння руху для валу АД при одномасній механічній частині:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M_{EM} - M_C) \quad (5)$$

де J – момент інерції мас, що обертаються на валу ротора.

В загальному випадку рівняння (5) можна записати як:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M_{EM} - M_C(t, \omega, \theta_r)) = \frac{M_{дин}}{J} \quad (6)$$

$M_{дин}$ – динамічний момент на валу АД.

В рівняннях (1) – (6) використовуються такі значення:

$$r_{s\alpha} = r_{s\beta} = r_{s\gamma} = 0,055, Ом,$$

$$r_{r\alpha} = r_{r\beta} = r_{r\gamma} = 0,015, Ом,$$

$$L_{s\alpha} = L_{s\beta} = L_{s\gamma} = 0,0143, Гн,$$

$$L_{r\alpha} = L_{r\beta} = L_{r\gamma} = 0,0141, Гн$$

$L_\mu = 0,02, Гн$ – повна індуктивність фази обмотки статора від основного магнітного потоку, що враховує наявність струмів в інших фазах (індуктивність від основного магнітного потоку, яка створена самою обмоткою M , і індуктивність від частини основного потоку, що створена двома іншими обмотками статора $\frac{M}{2}$).

$$M = \frac{2}{3} \cdot L_{\mu} = \frac{2}{3} \cdot 0.02 = 0.0133, \text{ мГн} - \text{взаємна індуктивність фази обмоток ротора і}$$

статора асинхронного двигуна при співпадінні їх осей або індуктивність обмотки статора від основного магнітного потоку, розрахована при відсутності струмів в інших фазах статора і обмотках ротора (тобто, від частини основного магнітного потоку, створеного самою фазою статора).

На основі рівнянь (1) – (7) в програмному середовищі Simulink пакета MATLAB будуємо модель (рис. 3).

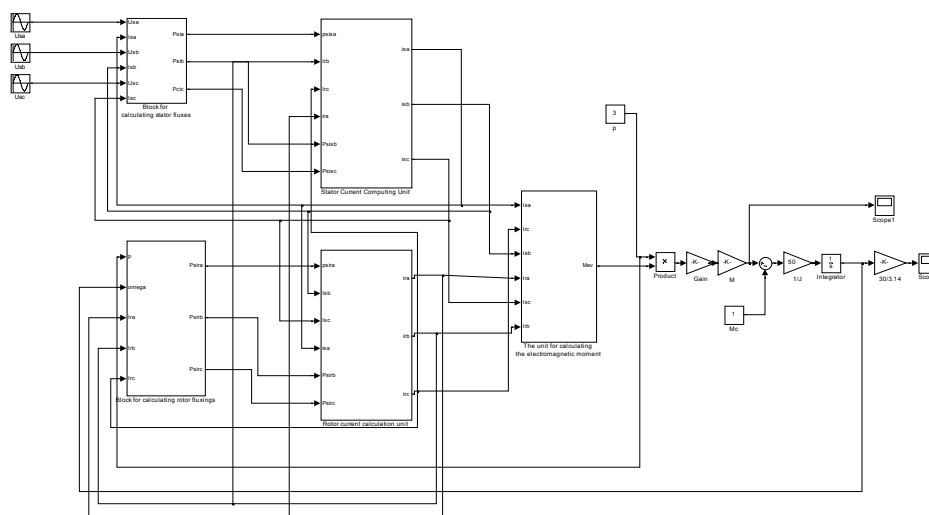


Рис. 3. Модель мотор-вентилятора, виконана в програмному середовищі Simulink пакета MATLAB

Тут Stator current calculation unit – блок обчислення статорних струмів, що реалізує перші три рівняння (1);

Rotor current calculation unit – блок обчислення роторних струмів, що реалізує четверте – шосте рівняння (1);

Block for calculating the flow of the stator – блок обчислення потокозчеплення статора, що реалізує рівняння (2);

Block for calculating the flow of the rotor – блок обчислення потокозчеплення ротора, що реалізує рівняння (3);

The unit for calculating the electromagnetic moment – блок обчислення електромагнітного моменту, що реалізує рівняння (4).

Криві перехідного процесу для електромагнітного моменту (рис. 4) та обертів вала двигуна (рис. 5) за формою співпадають з аналогічними кривими [1], [2], [3]. Це говорить про адекватність розробленої моделі.

Слід зазначити, що статичний момент на валу двигуна вибраний некоректно, оскільки не розроблено математичну модель самого вентилятора.

Дослідження роботи мотор-вентилятора в несиметричних режимах і при несинусоїдальній напрузі живлення буде зроблене після розробки математичної моделі фазорозчіплювача, мотор-компресора, мотор-насоса та підключення їх до тягового трансформатора. Модель «тягова підстанція – контактна мережа – тяговий привід електровоза серії ВЛ80^{Т, К}» розроблена в роботі [4].

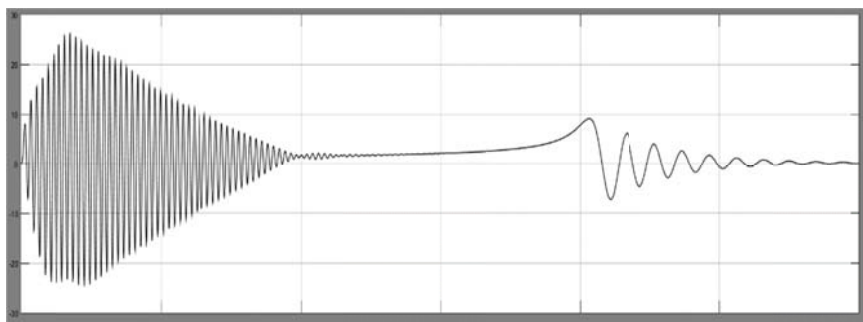


Рис. 4. Криві перехідного процесу для електромагнітного моменту

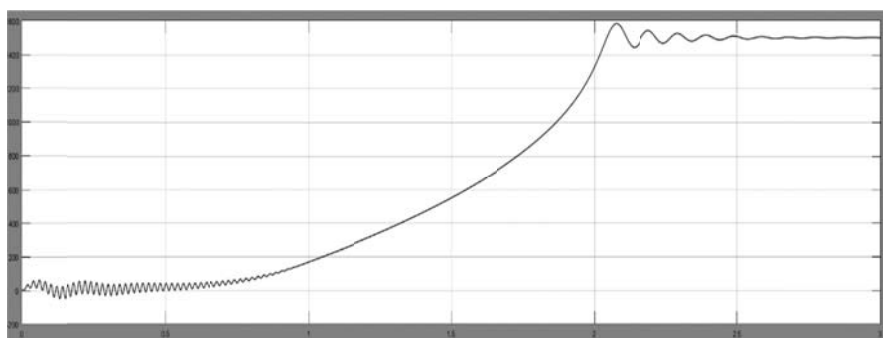


Рис. 5. Криві перехідного процесу обертів вала двигуна

Висновки та пропозиції. Розглянуто принцип побудови мотор-вентилятора, що працює в системі допоміжних машин електровозів серії ВЛ80^{Т,К}, в режимах несиметрії фазних напруг та при та несинусоїдальній напрузі живлення і перевірено її на адекватність.

1. Обґрунтовано вибір моделі мотор-вентилятора електровозів серії ВЛ80^{Т,К}, що працює в режимах несиметрії фазних напруг та при та несинусоїдальній напрузі живлення.

2. Побудовано модель в програмному середовищі Simulink пакета MATLAB.

3. Побудовані криві перехідного процесу для електромагнітного моменту та обертів вала двигуна, що за формою співпадають з аналогічними кривими асинхронних двигунів. Це говорить про адекватність розробленої моделі.

4. Запропоновано розроблену математичну модель використовувати як базову при побудові моделей фазорозчіплювача, мотор-компресора, мотор-насоса для дослідження роботи приводу допоміжних машин електровозів серії ВЛ80^{Т,К} при роботі в режимах несиметрії фазних напруг та при та несинусоїдальній напрузі живлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чиликин М.Г. и др. Основы автоматизированного электропривода. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1974. – 568 с.
2. Пусоветов М., Солтус К., Сенявский И. Компьютерное моделирование асинхронных двигателей и трансформаторов. – LAP LAMBERT. Academic Publishing, 2013. – 199 с.
3. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин; Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с: ил.

4. Гулак С. О., Єрмоленко Е. К. Модель системи «Тягова підстанція – контактна мережа – тяговий привід електровоза серії ВЛ-80 Т, К». – Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету серія «Транспортні системи і технології» випуск 28. – К., ДЕТУТ, 2016. – С. 99–109.

5. Савоськин А.Н., Кулинич Ю.М., Алексеев А.С. Математическое моделирование электромагнитных процессов в динамической системе контактная сеть – электровоз. Электричество. – 2001. – № 10.

Sergey Gulak,

(Senior lecturer in «Traction rolling stock of railways», the State Economic and Technological University of Transport)

Edward Ermolenko,

(Graduate student of «Traction rolling stock of railways», the State Economic and Technological University of Transport)

Andrew Hayur,

(Senior lecturer in «Traction rolling stock of railways», the State Economic and Technological University of Transport)

Alexander Sidorenko

(Student gr. 3-EM, State Economic and Technological University of Transport)

MODEL MOTOR FAN-ELECTRIC LOCOMOTIVES VL-80K IN ASYMMETRY WINDINGS AND NON-SINUSOIDAL VOLTAGE

The article reviewed and tested principles of constructing a model of induction motor 92-4 AE-used for electric locomotives VL-80^{K, T} as motor – fan in the windings asymmetry and non-sinusoidal voltage. The choice of the mathematical model by which described the motor – fan in these modes, designed and built the parameters of the model in the software environment Simulink software package MATLAB. Built transition curves for electricity and for the moment magnetic shaft speed induction motor, in which the tested model motor – fan on adequacy. The above simulation about the possibility of further auxiliary equipment (Phase separator, motor – compressor and motor – pump) to study these modes of asynchronous motors on overall power factor of electric drive auxiliary machinery series VL80^{T, K} and develop methods to improve power factor. As a basic model of an induction motor, a motor-fan model will be used.

Keywords: Model motor fan, α, β, γ - coordinates, asymmetry phase voltages, non-sinusoidal voltage, threading rotor, stator threading, power factor.

REFERENCES

1. MG Chylykyn i dr. Osnovy avtomatyzirovannoho elektroprivoda. Uchebnoe posobie dlya vuzov. – М.: Energy, 1974. – 568 s.

2. M. Pusovetov, K. Soltus, I. Senyavsky. Computernoie modelirovanie asynhronnyh mashin i transformatorov. – LAP LAMBERT. Academic Publishing, 2013 – 199 s.

3. Kopylov I. P. Matematicheskie modeli elektricheskyyh mashin; Ucheb. posob. – 3-e izd., Pererab i dop. – М.: Vyssh. Shkola. 2001. – 327 s: il.

4. S.O. Goolak, Yermolenko E.K. Model «Tracformatornaia podstantsia -contactnaia merezha – ttyagovyy privod electricrovoza VL-80 serii T, K». – Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo Economico – Technologichnogo Universittuy Transport «Transportni Systemy i Technologii» Vypusk 28 – К., 2016. DETUT – 99-109 s.

5. Savoskyn A.N. Kulnich Y.M, Alekseev A.S. Matematicheskie Modeli electromagnitnyh procesov v dinamicheskoy systemi kontaktnaya set-elektrovoz. Elektrichestvo. – 2001. № 10 .

УДК 621.873

О. Б. Нєженцев, к.т.н., доцент

(доцент кафедри прикладної механіки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)

Г. О. Бойко, к.т.н., доцент

(начальник науково-дослідної частини, Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля)

П. В. Збітнєв

(аспірант кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля)

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ КРАНІВ З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ ПРИВОДІВ ПЕРЕСУВАННЯ

У статті описано математичні моделі мостового крана з частотним керуванням електропривода пересування, які базуються на тримасовій та чотиримасовій розрахункових схемах. Представлено розроблене програмне забезпечення для реалізації вказаних математичних моделей. Воно дозволяє за допомогою чисельного методу Рунге-Кутта інтегрувати диференціальні рівняння, що описують рух багатомасових динамічних моделей крана, та на кожному кроці заданого інтервалу часу розраховувати переміщення, швидкості і прискорення всіх приведених мас, динамічні зусилля, які діють у приводі і металоконструкції крана, та на вантаж. При цьому визначаються максимальні значення вказаних зусиль на кожному етапі перехідного процесу і час їх виникнення. Результати розрахунків виводяться на екран у вигляді таблиці та графіків перехідних процесів мостового крана (в тому числі – з частотним керуванням).

За допомогою розробленої комп'ютерної програми та теорії планування експерименту виконано аналіз зміни кінематичних і динамічних параметрів при гальмуванні мостового крана вантажопідйомністю 20/5 т з частотним керуванням приводу пересування. Побудовано поліноміальні залежності динамічних зусиль на металоконструкцію крана та вантаж, а також часу гальмування крана від параметрів частотного керування. Наведено зручні для практичного застосування графіки рівних відгуків динамічних навантажень, що діють на металоконструкцію крана та вантаж при гальмуванні частотно-керованого мостового крана.

Ключові слова: мостовий кран, математична модель, перехідні процеси, частотне керування, динамічні навантаження.

В статье описаны математические модели мостового крана с частотным управлением электропривода передвижения, основанные на трехмассовой и четырехмассовой расчетных схемах. Представлено разработанное программное обеспечение для реализации указанных математических моделей. Оно позволяет с помощью численного метода Рунге-Кутта интегрировать дифференциальные

© Нєженцев О. Б., Бойко Г. О., Збітнєв П. В., 2017

уравнения, описывающие движение многомассовых динамических моделей крана, и на каждом шагу заданного интервала времени рассчитывать перемещения, скорости и ускорения всех приведенных масс, динамические нагрузки, которые действуют в приводе и металлоконструкции крана, а также на груз. При этом определяются максимальные значения указанных нагрузок на каждом этапе переходного процесса и время их возникновения. Результаты расчетов выводятся на экран в виде таблицы и графиков переходных процессов мостового крана (в том числе – с частотным управлением).

С помощью разработанной компьютерной программы и теории планирования эксперимента выполнен анализ изменения кинематических и динамических параметров при торможении мостового крана грузоподъемностью 20/5 т с частотным управлением привода передвижения. Построены полиномиальные зависимости динамических нагрузок на металлоконструкцию крана и груз, а также времени торможения крана от параметров частотного управления. Приведены удобные для практического применения графики равных откликов динамических нагрузок, действующих на металлоконструкцию крана и груз при торможении частотно-управляемого мостового крана.

Ключевые слова: мостовой кран, математическая модель, переходные процессы, частотное управление, динамические нагрузки.

Постановка проблеми. Основним обладнанням для виконання вантажно-розвантажувальних робіт в ремонтних депо та відкритих складах залізничних станцій є крани мостового типу. Вони працюють переважно в пуско-гальмівних режимах, які супроводжуються великими динамічними зусиллями, що діють на елементи приводів, металоконструкцію крана та вантаж. Зниження вказаних динамічних навантажень є актуальним завданням, що дозволить підвищити довговічність механізмів та металоконструкцій кранів, понизити ремонтні витрати та зменшити час на перевантажувальні операції завдяки усуненню розгойдування вантажів.

Наразі все більше вантажопідйомних кранів випускаються з частотно-керованими електроприводами, що мають безперечні переваги в порівнянні з традиційним релейно-контакторним управлінням: великий діапазон регулювання частоти обертання ротора (в тому числі – вище номінальної); плавність регулювання швидкості виконавчих механізмів; жорсткі механічні характеристики; значно менші втрати електроенергії; можливість використання дешевих і надійних короткозамкнених двигунів замість двигунів з фазним ротором [3, 9–12 та ін.]. Тому є актуальними дослідження перехідних процесів частотно-керованих кранів з метою пошуку шляхів поліпшення їх техніко-експлуатаційних характеристик на стадії проектування або модернізації. В першу чергу це стосується процесів гальмування кранів, що здійснюються за допомогою частотно-керованих приводів пересування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У розрахунках механізмів пересування кранів на міцність згідно з нормативною методикою [1] необхідно враховувати: сили тяжіння вантажу, крана та візка; вітрові навантаження робочого та неробочого стану; динамічні навантаження мас вантажу, крана та візка, що рухаються поступально; динамічні моменти обертових мас механізму; технологічні навантаження. При цьому для розрахунку динамічних навантажень, що діють на елементи крана та вантаж застосовують багатомасові моделі вантажопідйомних машин [2-8 та ін.]. Однак, для реалізації цих моделей використовують або програми загального призначення (MathCAD, Mathematica) [2, 3], які вимагають від користувача навичок програмування, або створені дослідниками програми не дозволяють досконало досліджувати перехідні режими частотно-керованих кранів (в тому числі процесів гальмування) [5]. Таким чином, є нагальна потреба в розробці програмного забезпечення, що дозволяє проводити всебі-

чні дослідження кінематичних і динамічних параметрів кранів з частотно-керованими електроприводами пересування.

Мета статті: а) презентація розробленої програми, що реалізує математичну модель мостового крана з частотним керуванням, призначеної для розрахунку динамічних навантажень та інших параметрів перехідних процесів частотно-керованих мостових кранів у пуско-гальмівних режимах; б) проаналізувати процеси гальмування мостового крана з частотно-керованим електроприводом пересування за допомогою розробленого програмного забезпечення.

Викладення основного матеріалу дослідження.

1. Математичні моделі. Для дослідження динаміки пересування мостового крана використані три- та чотиримасова розрахункові схеми (див. рис. 1), які застосовувалися в роботах багатьох вчених [2–5 та ін.].

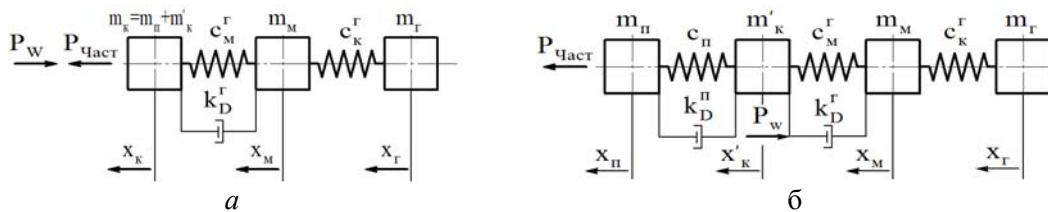


Рис. 1. Розрахункові схеми мостового крана:
а – тримасова; б – чотиримасова

Рух динамічних моделей крана, наведених на рис. 1,а та 1,б, описується системами диференціальних рівнянь (1) та (2), відповідно:

$$\begin{cases} m_k \cdot \ddot{x}_k + k_m \cdot (\dot{x}_k - \dot{x}_m) + c_m \cdot (x_k - x_m) = P_{\text{част}} - P_w \cdot \text{sign}(\dot{x}_k); \\ m_m \cdot \ddot{x}_m - k_m \cdot (\dot{x}_k - \dot{x}_m) - c_m \cdot (x_k - x_m) + c_k \cdot (x_m - x_r) = 0; \\ m_r \cdot \ddot{x}_r - c_k \cdot (x_m - x_r) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} m_n \cdot \ddot{x}_n + k_n \cdot (\dot{x}_n - \dot{x}'_k) + c_n \cdot (x_n - x'_k) = P_{\text{част}}; \\ m'_k \cdot \ddot{x}'_k - k_n \cdot (\dot{x}_n - \dot{x}'_k) - c_n \cdot (x_n - x'_k) + k_m \cdot (\dot{x}'_k - \dot{x}_m) + c_m \cdot (x'_k - x_m) + \\ + P_w \cdot \text{sign}(\dot{x}_k) = 0; \\ m_m \cdot \ddot{x}_m - k_m \cdot (\dot{x}'_k - \dot{x}_m) - c_m \cdot (x'_k - x_m) + c_k \cdot (x_m - x_r) = 0; \\ m_r \cdot \ddot{x}_r - c_k \cdot (x_m - x_r) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

На рис. 1 та в рівняннях (1), (2) прийняті позначення: m_n – приведена до ходових коліс маса обертових частин приводу, кг; m'_k – частка маси моста, яка приведена до переміщення кінцевих балок, кг; m_k – приведена до ходових коліс маса обертових частин приводу (від ротора двигуна до ходового колеса включно) і частка маси моста, що приведена до переміщення кінцевих балок, кг; m_m – приведена до середини прольоту маса середніх частин моста і порожнього візка, кг; m_r – маса вантажу, кг; c_n – приведений до ходових коліс коефіцієнт жорсткості приводу механізму пересування, Н/м; c_m – коефіцієнт жорсткості металоконструкції крана в горизонтальній площині, Н/м; c_k – горизонтальна складова натягу вантажних канатів, Н/м; k_n – коефіцієнт згасання коли-

вань (демпфірування) приводу, Н·с/м; k_m – коефіцієнт згасання коливань (демпфірування) металокопиркції крана в горизонтальній площині, Н·с/м; x_n , x_k , x'_k , x_m , x_r – шляхи, що проходять, відповідно, маси m_n , m_k , m'_k , m_m , m_r від початку координат, м; $P_{\text{част}}$ – приведена до ободу приводних ходових коліс рушійна або гальмівна сила приводу при частотному управлінні, Н; P_w – сила статичного опору пересуванню крана, Н.

Зведена до ходових коліс мостового крана сила приводу визначається за виразом

$$P_{\text{част}} = M \cdot \frac{u_m}{r} \cdot \eta^{\pm 1} = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2 \cdot a \cdot s_k} \cdot \frac{u_m}{r} \cdot \eta^{\pm 1}, \quad (3)$$

де M – момент двигуна, Н·м; u_m – передатне число приводу; r – радіус ходового колеса, м; $\eta^{\pm 1}$ – коефіцієнт корисної дії механізму пересування крана (у руховому режимі знак «+», у гальмівних – знак «-»); s і s_k – поточне і критичне ковзання двигуна; M_k – критичний момент двигуна, Н·м, при частотному управлінні

$$M_k = \frac{3}{2} \cdot \frac{U_1^2}{\omega_{0H} \cdot x_{kH} \cdot \left[f_{1*} \cdot \rho_{1k} \pm \sqrt{(f_{1*}^2 + \rho_{1k}^2) \cdot (f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2)} \right]}; \quad (4)$$

$$s_k = \pm \frac{R'_2}{f_{1*} \cdot x_{kH}} \cdot \sqrt{\frac{f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2}{f_{1*}^2 + \rho_{1k}^2}}; \quad (5)$$

a – коефіцієнт, що визначається за формулою

$$a = \frac{R_1 \cdot f_{1*}^2}{R'_2 \cdot (f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2)}; \quad (6)$$

U_1 – поточне значення фазної напруги, В; ω_{0H} – синхронна швидкість двигуна при номінальній частоті $f_{1H} = 50$ Гц, рад/с; $x_{kH} = x_1 + x'_2$ – індуктивний фазний опір короткого замикання при номінальній частоті $f_{1H} = 50$ Гц (x_1 і x'_2 – відповідно, індуктивний фазний опір обмоток статора і ротора, приведений до обмотки статора), Ом; $f_{1*} = f_1 / f_{1H}$ – відносна частота струму статора (f_1 і f_{1H} – поточне і номінальне значення частоти струму статора, відповідно, Гц); R_1 і R'_2 – активний фазний опір обмоток статора і ротора, приведений до обмотки статора, Ом; $\rho_{1k} = R_1 / x_{kH}$ і $\rho_{1\mu} = R_1 / x_{\mu H}$ – відносні величини ($x_{\mu H}$ – індуктивний опір контуру намагнічування при номінальній частоті $f_{1H} = 50$ Гц, Ом).

Для забезпечення сталості перевантажувальної здатності двигуна, значення фазної напруги слід підтримувати відповідно до закону:

$$U_1 = U_{1H} \cdot \sqrt{\frac{f_{1*} \cdot \rho_{1k} \pm \sqrt{(f_{1*}^2 + \rho_{1k}^2) \cdot (f_{1*}^2 + \rho_{1\mu}^2)}}{\rho_{1k} \pm \sqrt{(1 + \rho_{1k}^2) \cdot (1 + \rho_{1\mu}^2)}}} \cdot \frac{M_c}{M_H}, \quad (7)$$

де U_{1H} – номінальне значення фазної напруги, В; M_c – момент статичного опору на валу двигуна, Н·м; M_H – номінальний момент на валу двигуна, Н·м.

В формулах (4), (5) і (7) знак плюс перед радикалами відноситься до рухового режиму, мінус – до генераторного.

При задаванні сили приводу крана за формулою (3) з урахуванням (4)-(7) забезпечується сталість перевантажувальної здатності двигуна незалежно від характеру навантаження. Механічні характеристики асинхронного двигуна механізму пересування мостового крана при частотному управлінні показані на рис. 2.

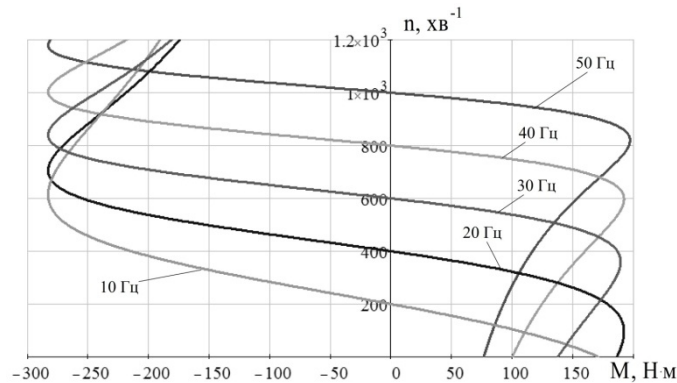


Рис. 2. Механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному керуванні

2. Програмне забезпечення. Для реалізації описаної вище математичної моделі розроблено програму для дослідження перехідних режимів (пускових і гальмівних) при роботі механізмів пересування частотно-керованих мостових кранів, представлених у вигляді багатомасових розрахункових схем. Мова розробки – об'єктно-орієнтоване середовище C # (C Sharp).

Блок-схема укрупненого алгоритму роботи програми наведена на рис. 3. В результаті роботи програми на екран виводяться до п'яти вікон містять графіки (в функції часу), що характеризують зміна: переміщень, швидкостей і прискорень приведених мас; зусиль, що виникають в пружних ланках (приводі механізму, металоконструкції і вантажних канатах). Крім того, у вікні програми міститься інформаційна панель, яка відображає максимальні значення зазначених величин і час їх виникнення для кожного з етапів перехідного процесу.



Рис. 3. Укрупнена блок-схема програми

При запуску програми на екран виводиться вікно, що містить головне меню програми. Вид головного меню наведено на рис. 4.

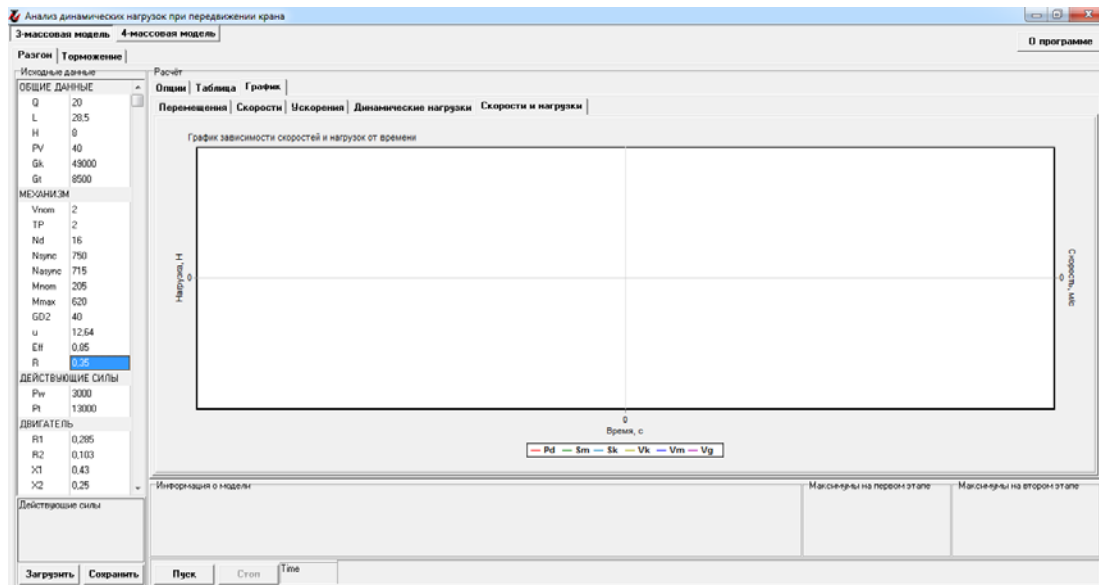


Рис. 4. Головне меню програми

Головне меню містить всі необхідні інструменти для формування користувачем запити і отримання результатів розрахунку у вигляді таблиці або графіків. Так, користувач спочатку вибирає вид динамічної моделі (три- або чотиримасова), а також режим роботи крана (розгін або гальмування). Далі в розділі «Вихідні дані» користувач може ввести вихідні дані і початкові умови для розрахунку. Розділ «Вихідні дані» розділений на кілька функціональних зон. Призначення останніх полягає в наступному: завдання даних про модель крана; завдання каталожних і обмотувальних даних двигуна; завдання зовнішніх сил; завдання параметрів частотного розгону / гальмування; завдання початкових умов досліджуваного перехідного процесу.

Після натискання кнопки «Пуск» проводиться розрахунок. На кожному кроці заданого інтервалу часу виконується розрахунок переміщень, швидкостей і прискорень всіх наведених мас, розрахунок зусиль діючих в приводі, на металоконструкцію крана і на вантажні канати. Визначаються максимальні значення зазначених діючих зусиль на кожному етапі перехідного процесу і час їх виникнення.

Результати виводяться на екран в розділі «Розрахунок». Даний розділ представлений кнопками «Опції», «Таблиця» і «Графік» (рис. 5–7).

У підрозділі «Опції» (рис. 5) користувач може вибрати з результатів розрахунку ті графіки і величини, які слід вивести на екран (здійснюється шляхом установки прапорця у відповідному пункті), вибрати товщину ліній графіків, завантажити новий файл з вихідними даними. У разі встановлення прапорця на опції «Гальмування після розгону» програма запам'ятає кінцеві параметри розгону і використовує їх в якості початкових для гальмування. Натискання кнопки «За замовчуванням» повертає вихідні дані з файла.

У розділі «Таблиця» (рис. 6) виводяться результати розрахунку на кожному кроці інтегрування у вигляді таблиці з усіма параметрами перехідного процесу.

Розділ «Графік» (рис. 7) представлено п'ятьма графіками в функції часу, що характеризують зміна переміщень мас, їх швидкостей і прискорень, зусиль виникають в пружних ланках (приводі механізму, в елементах металоконструкції і вантажних канатах). Крім перерахованих графіків, у вікні з результатами, виводиться інформаційна панель, яка містить основні відомості про крані (вантажопідйомність, проліт, швидкість відповідного механізму), інформація про те, яка обрана розрахункова схема, який

досліджується перехідний процес і яким чином задається зусилля приводу. Тут же виведені значення максимальних зусиль, що виникають в приводі механізму, в елементах металоконструкції і вантажних канатах і час їх виникнення, для кожного з етапів перехідного процесу.

Расчёт

Опции Таблица График

Файл исходных данных

Crane.ini

☒ Автоматически загружать выбранный файл

☒ Автоматически сохранять данные при выходе

Данные изменены

Загрузить новый

Сохранить новый

Удалить

По-умолчанию

Вывод данных в таблицу и графики

☒ Таблица параметров

☒ x_k - перемещение приведённой массы m_k

☒ x_m - Перемещение приведённой массы m_m

☒ x_g - Перемещение массы груза m_g

☒ V_k - Скорость приведённой массы m_k

☒ V_m - Скорость приведённой массы m_m

☒ V_g - Скорость массы груза m_g

☒ A_k - Ускорение приведённой массы m_k

☒ A_m - Ускорение приведённой массы m_m

☒ A_g - Ускорение массы груза m_g

☒ P_d - Усилие в приводе механизма передвижения

☒ S_m - Усилие в металлоконструкции крана

☒ S_k - усилие в грузовых канатах

Начальные условия

По-умолчанию

☐ Торможение после разгона

Опции графиков

Толщина линии 1

Формат чисел

Время	%3f
Перемещение	%3f
Скорость	%2f
Ускорение	%2f
Нагрузка	%7i

Рис. 5. Розділ «Опції»

Расчёт

Опции Таблица График

t	x_k	V_k	x_m	V_m	x_g	V_g	A_k	A_m	A_g	P_d	S_m	S_k
0,002	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,39	0,00	0,00	12346,19	5,52	0,00
0,004	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,38	0,00	0,00	12131,26	21,79	0,00
0,006	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,37	0,00	0,00	11921,42	48,52	0,00
0,008	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,36	0,00	0,00	11716,33	85,41	0,00
0,010	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,35	0,00	0,00	11517,52	132,15	0,00
0,012	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,34	0,01	0,00	11323,33	188,41	0,00
0,014	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,33	0,01	0,00	11135,88	253,83	0,00
0,016	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,32	0,01	0,00	10953,56	328,05	0,01
0,018	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,31	0,02	0,00	10777,08	410,70	0,01
0,020	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,30	0,02	0,00	10606,51	501,40	0,01
0,022	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,29	0,02	0,00	10441,32	599,75	0,02
0,024	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,28	0,03	0,00	10283,38	705,33	0,03
0,026	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,26	0,03	0,00	10130,32	817,74	0,04
0,028	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,25	0,04	0,00	9984,58	936,55	0,05
0,030	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,24	0,04	0,00	9844,39	1061,33	0,07
0,032	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,23	0,05	0,00	9710,34	1191,64	0,08
0,034	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,22	0,05	0,00	9582,44	1327,04	0,11
0,036	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,21	0,06	0,00	9460,68	1467,08	0,13
0,038	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,20	0,06	0,00	9345,03	1611,32	0,16
0,040	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,19	0,07	0,00	9235,46	1759,29	0,20
0,042	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,18	0,07	0,00	9131,91	1910,55	0,24
0,044	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,17	0,08	0,00	9034,33	2064,64	0,29
0,046	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,16	0,08	0,00	8942,65	2221,11	0,34
0,048	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,15	0,09	0,00	8856,80	2379,51	0,40
0,050	0,000	0,01	0,000	0,00	0,000	0,00	0,14	0,10	0,00	8776,68	2539,39	0,47

Рис. 6. Розділ «Таблица»

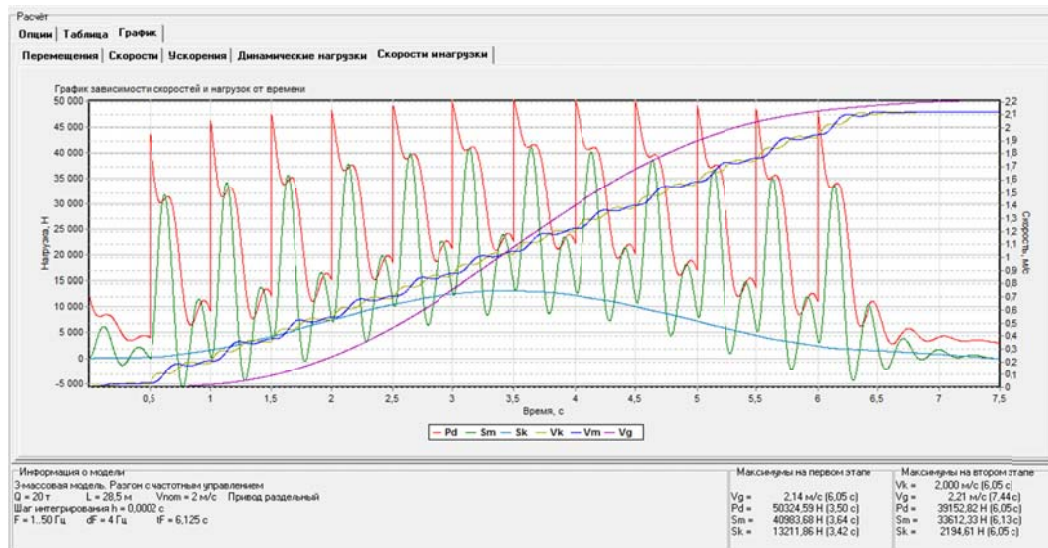


Рис. 7. Розділ «Графік»

3. Аналіз динамічних навантажень при гальмуванні мостових кранів з частотним керуванням. За допомогою розробленої комп'ютерної програми було проведено аналіз гальмівних процесів мостових кранів з частотно-керованим електроприводом пересування та побудовано поліноміальні моделі динамічних навантажень і часу гальмування при пересуванні мостового крану в/п 20/5 т з частотним керуванням.

Аналіз динамічних навантажень при гальмуванні мостового крану, представленого тримасовою динамічною моделлю (рис. 1,а), було здійснено за допомогою теорії планування експерименту.

В якості варійованих факторів були обрані: тривалість часу витримки на одній частоті (T_B), крок зміни частоти частотного перетворювача (h_q), швидкість пересування крана, за якою вимикається двигун та вмикається колодкове гальмо (V_Γ). Рівні факторів, кодування та інтервали їх варіювання для крана в/п 20 т. наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Рівні факторів, інтервали їх варіювання для крана в/п 20/5 т.

Область визначення факторів	T_B , с	h_q , Гц	V_Γ , м/с
Код (z_i)	z_1	z_2	z_3
Основний рівень (код 0)	0,2	1,5	0,6
Інтервал варіювання (Δz_i)	0,025	1,0	0,4
Верхній рівень (код +1)	0,225	2,5	1,0
Нижній рівень (код -1)	0,175	0,5	0,2
Зіркова точка (код +1)	0,225	2,5	1,0
Зіркова точка (код -1)	0,175	0,5	0,2
Додаткова зіркова точка (код +0,5)	0,2125	2,0	0,8
Додаткова зіркова точка (код -0,5)	0,1875	1,0	0,4

Для оцінок максимальних горизонтальних динамічних навантажень та часу гальмування мостового крану було обрано поліноміальну модель другого порядку:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i z_i + \sum_{i,l=1; i \neq l}^k b_{il} z_i z_l + \sum_{i=1}^k b_{ii} (z_i)^2, \quad (8)$$

де $\hat{y}$ – оцінка параметра, що апроксимується; b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} – коефіцієнти регресії; k – число факторів.

Оскільки число факторів $k = 3$, то загальне число коефіцієнтів математичної моделі (8) дорівнює

$$\lambda = \frac{(k+1) \cdot (k+2)}{2} = \frac{(3+1) \cdot (3+2)}{2} = 10, \quad (9)$$

а модель прийме вигляд:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & b_0 + b_1 \cdot z_1 + b_2 \cdot z_2 + b_3 \cdot z_3 + b_{12} \cdot z_1 \cdot z_2 + b_{13} \cdot z_1 \cdot z_3 + b_{23} \cdot z_2 \cdot z_3 + \\ & + b_{11} z_1^2 + b_{22} z_2^2 + b_{33} z_3^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Для проведення регресійного аналізу необхідно вибрати план проведення експерименту. Оскільки експеримент і регресійний аналіз проводяться на ЕОМ, то складність обробки результатів експерименту та число дослідів плану не є головним критерієм при виборі плану. Скористаємося планом, побудованим на основі квазі- D -оптимального плану типу V_k [13]. Плани V_k є планами другого порядку, які побудовані на гіперкубах k -ї розмірності, що має рівне число дослідів у вершинах куба та центрі $(k-1)$ -мірних граней. Ці плани за величиною визначника інформаційної матриці та максимальної по кубу дисперсії передбачених значень регресійної функції порівняно мало відрізняються від D -оптимальних планів, а по мінімальній та середній дисперсії навіть мають деяку перевагу.

Загальне число дослідів плану V_k визначається формулою:

$$N_B = N_1 + 2k, \quad (11)$$

де $N_1 = 2^k$ – число дослідів ядра плану, що є повним факторним експериментом при варіюванні факторів на двох рівнях; $2k$ – число дослідів в зоряних точках (зоряне плече – відстань від точки до центру плану в кодованому масштабі).

План, побудований на базі плану типу V_3 представлений в таблиці 2 (графи 2-4). У графах 5-7 показані натуральні значення кодованих факторів, а в графах 8-10 показані результати комп'ютерного експерименту, розрахункові значення та їх різниця для динамічних навантажень P_M в металокопії крана.

Після обробки результатів комп'ютерного експерименту за методом найменших квадратів були розраховані коефіцієнти регресії та отримано поліном для розрахунку та дослідження динамічних навантажень P_M в металокопії крана, з частотним управлінням приводу переміщення крана:

$$P_M = -28,2 - 5,4Z_2 + 0,6Z_3 + 1,15Z_1Z_2 + 2,3Z_2Z_3 - 8,1Z_2^2 - 0,45Z_3^2; \quad (12)$$

Оскільки нами проводився комп'ютерний експеримент, то перевірку адекватності апроксимуючого полінома (12) виконували за допомогою коефіцієнтом варіації:

$$\rho = \frac{1}{y_{cp}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2}{N - \lambda}}, \quad \text{---} \quad (13)$$

де λ – число коефіцієнтів рівняння регресії; α – рівень значущості (зазвичай приймають рівним 0,05). Рівняння регресії вважається адекватним, якщо $p < \alpha$. В нашому випадку величина коефіцієнту варіації p знаходиться в межах норми, а саме – менше ніж 5%.

За аналогічною методикою були побудовані плани та проведені комп'ютерні експерименти для динамічних навантажень P_K , що діють на вантаж, а також для часу гальмування крану t_r з частотним управлінням приводу переміщення крану. В результаті отримано відповідні поліноми:

$$P_K = -13,5 + 1,25Z_1 - 6,0Z_2 - 0,5Z_3 + 0,6Z_1Z_2 - 2,2Z_2Z_3 - 1,1Z_2^2 - 0,15Z_3^2; \quad (14)$$

$$t_r = 6,3 + 0,8Z_1 - 5,3Z_2 - 0,7Z_3 - 0,7Z_1Z_2 - 0,3Z_1Z_3 + 1,6Z_2Z_3 + 4,26Z_2^2. \quad (15)$$

Отримані рівняння регресії (13 – 15) можуть використовуватися для розрахунку P_M , P_K і t_r при будь-яких значеннях факторів T_B , $h_{\text{ц}}$, V_r в дослідженій області їх визначення. При цьому точність розрахунку динамічних навантажень майже така сама, як і при розв'язанні системи диференціальних рівнянь. Крім того, рівняння регресії дозволяють досліджувати вплив кожного фактору та їх взаємодії на величину максимальних динамічних навантажень.

Таблиця 2. Горизонтальні динамічні навантаження P_M в металоконструкції мостового крана в/п 20/5 т при гальмуванні з частотним управлінням

№ досл.	Z_1	Z_2	Z_3	T_B , с	$h_{\text{ц}}$, Гц	V_r , м/с	P_M , кН	$\bar{P}_M$, кН	ΔP_M , кН
1	1	1	1	0,225	2,5	1,0	-37,4	-38,1	0,7
2	1	1	-1	0,225	2,5	0,2	-43,8	-43,9	0,1
3	1	-1	1	0,225	0,5	1,0	-33,2	-34,2	1,0
4	1	-1	-1	0,225	0,5	0,2	-30,1	-30,8	0,7
5	-1	1	1	0,175	2,5	1,0	-40,0	-40,4	0,4
6	-1	1	-1	0,175	2,5	0,2	-46,8	-46,2	-0,6
7	-1	-1	1	0,175	0,5	1,0	-31,2	-31,9	0,7
8	-1	-1	-1	0,175	0,5	0,2	-28,6	-28,6	0,0
9	0	0	0	0,20	1,5	0,6	-27,6	-28,2	0,6
10	1	0	0	0,225	1,5	0,6	-29,5	-28,2	-1,3
11	-1	0	0	0,175	1,5	0,6	-28,5	-28,2	-0,3
12	0	1	0	0,20	2,5	0,6	-42,6	-41,7	-0,9
13	0	-1	0	0,20	0,5	0,6	-32,0	-30,9	-1,1
14	0	0	1	0,20	1,5	1,0	-27,6	-28,1	0,5
15	0	0	-1	0,20	1,5	0,2	-27,6	-29,3	1,7
16	0,5	0	0	0,213	1,5	0,6	-27,8	-28,2	0,4
17	-0,5	0	0	0,188	1,5	0,6	-28,2	-28,2	0,0
18	0	0,5	0	0,20	2,0	0,6	-35,5	-32,9	-2,6
19	0	-0,5	0	0,20	1,0	0,6	-30,8	-27,5	-3,3
20	0	0	0,5	0,20	1,5	0,8	-27,6	-28,0	0,4
21	0	0	-0,5	0,20	1,5	0,4	-27,6	-28,6	1,0

На рис. 8 – 9 наведено графіки перехідних процесів при гальмуванні мостового крана в/п 20/5 т при частотному управлінні, а на рис. 10-11 – графіки залежностей динамічних навантажень в металоконструкції крана P_M і горизонтальних динамічних навантажень P_K від зміни кроку частоти частотного перетворювача $h_{\text{ч}}$.

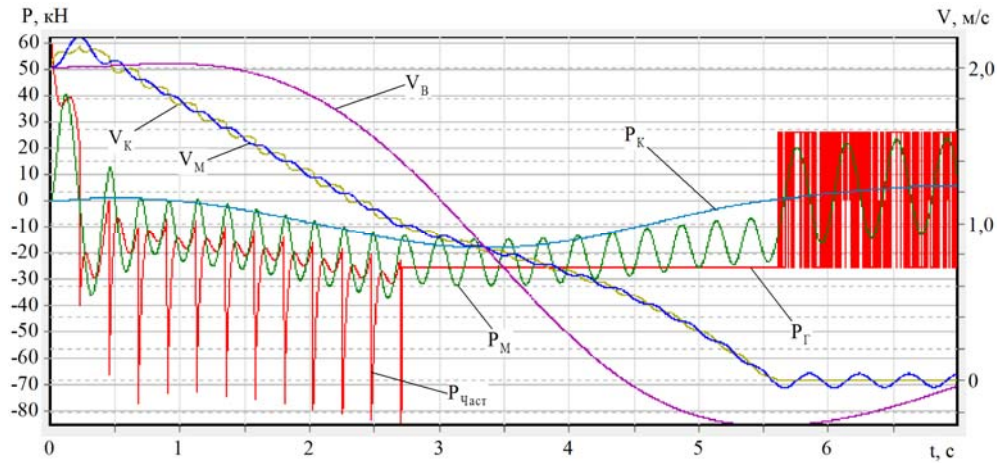


Рис. 8. Графіки процесу гальмування мостового крана в/п 20/5 т при частотному управлінні (Дослід №1: $T_B = 0,225$ с, $h_{\text{ч}} = 2,5$ Гц, $V_{\text{Г}} = 1,0$ м/с)

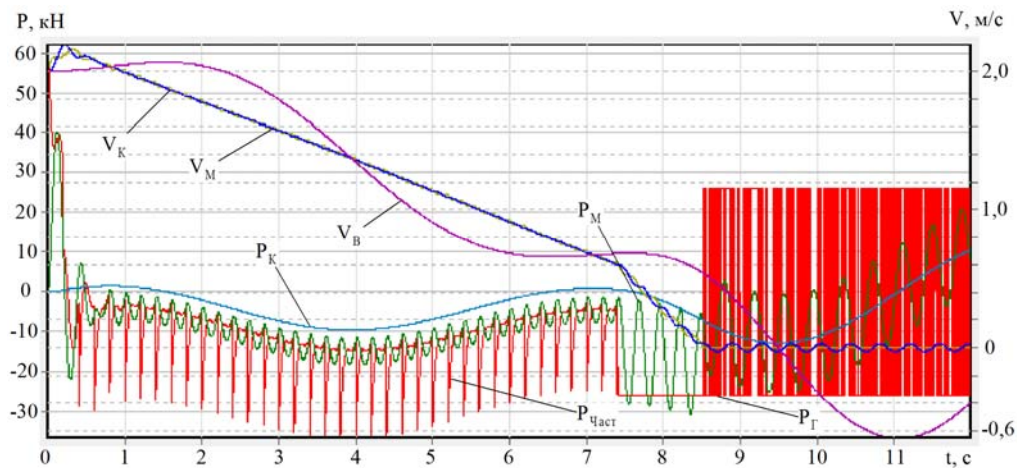


Рис. 9. Графіки процесу гальмування мостового крана в/п 20/5 т при частотному управлінні (Дослід №19: $T_B = 0,2$ с, $h_{\text{ч}} = 1,0$ Гц, $V_{\text{Г}} = 0,6$ м/с)

Для практичних розрахунків динамічних навантажень цікаві графіки ліній рівних відгуків (рис. 12) параметрів P_M і P_K , які апроксимуються рівняннями регресії (12), (14) залежно від часу роботи частотного перетворювача (z_1) і кроку зміни частоти (z_2) при фіксованому значенні z_3 , наприклад ($z_3 = 0$). Необхідно підкреслити, що розраховувати максимальні динамічні навантаження за допомогою формул (12), (14) та ліній рівних відгуків (на рис. 12) можна тільки для розглянутого мостового крана в дослідженій області визначення факторів.

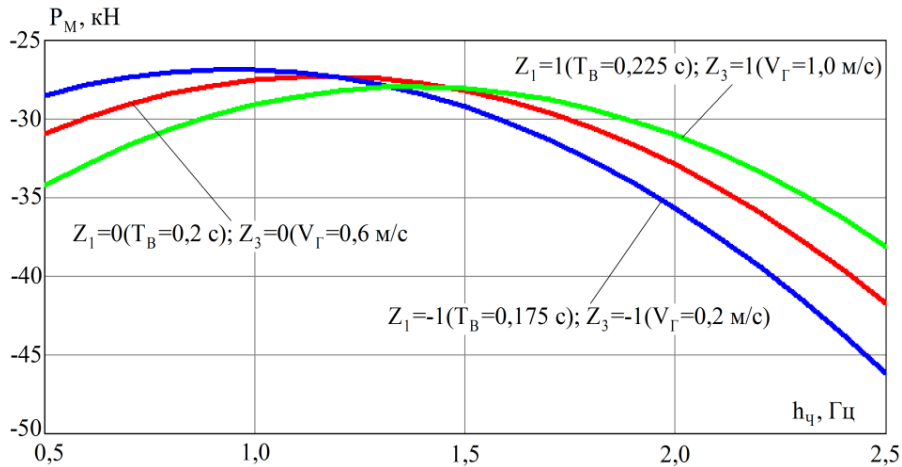


Рис. 10. Залежність динамічних навантажень металоконструкції крана P_M від зміни кроку частоти частотного перетворювача h_q

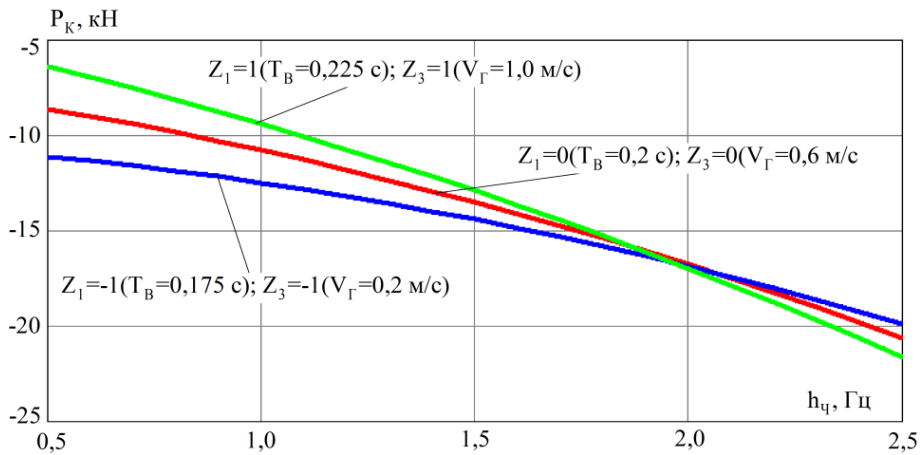


Рис. 11. Залежність горизонтальних динамічних навантажень P_K , що діють на вантаж, від зміни кроку частоти перетворювача h_q

Аналіз результатів досліджень дозволяє зробити наступні висновки:

- динамічні навантаження в металоконструкції крана і горизонтальні зусилля, що діють на вантаж, мають спільну тенденцію до зниження при зменшенні кроку зміни частоти і збільшенні часу роботи частотного перетворювача;
- зі збільшенням кроку зміни частоти h_q від 0,5 до 2,5 Гц динамічні навантаження на металоконструкцію P_M зростають приблизно на 60%, а горизонтальні динамічні навантаження, які діють на вантаж P_K – від 42 до 70%;
- час гальмування крана збільшується при зростанні часу роботи частотного перетворювача. Крок зміни частоти дуже суттєво впливає на час гальмування крана: збільшення кроку зміни частоти від 0,5 до 2,5 Гц призводить до зменшення часу гальмування крана в три рази.

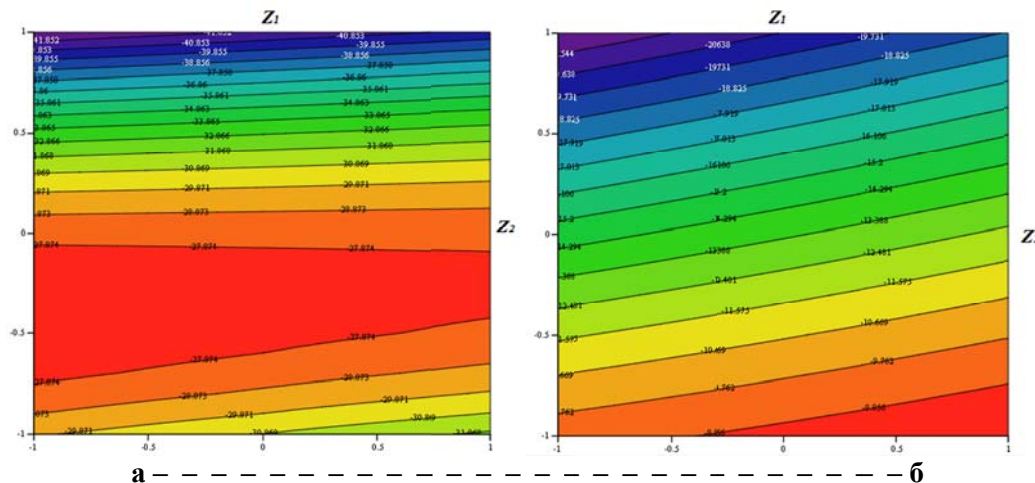


Рис. 12. Лінії рівних відгуків динамічних зусиль P_M (а) і P_K (б) при: $z_1 = -1...+1$ ($T_B = 0,175...0,225$ с), $z_2 = -1...+1$ ($h_q = 0,5...2,5$ Гц), $z_3 = 0$ ($V_T = 0,6$ м/с)

Висновки. Описано математичні моделі крана з частотним керуванням приводу пересування та представлено опис розробленої комп'ютерної програми, яка реалізує вказані математичні моделі і дозволяє проводити дослідження перехідних процесів кранів мостового типу. Також у роботі наведено результати аналізу гальмівних процесів частотно-керованого мостового крана, який проведено за допомогою розробленого програмного продукту. Наразі розроблена комп'ютерна програма також використовується у дослідженнях з пошуку оптимальних параметрів гальмування частотно-керованих мостових кранів.

ЛІТЕРАТУРА

1. РТМ 24.090.28–77. Краны грузоподъемные. Механизм передвижения. Метод расчета.
2. Ловейкін В.С. Динамічна оптимізація режиму руху кранового механізму переміщення / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич // Підйомно-транспортна техніка. – 2013. – № 3. – С. 5-21.
3. Ловейкін В.С. Аналіз динаміки механізму передвиження мостового крана з частотним управлінням приводу / В.С. Ловейкін, Ю.А. Ромасевич. // Інженерний журнал: наука і інновації. – 2013. – №3. – С. 1–10.
4. Неженцев А.Б. Оптимізація механічних характеристик приводу передвиження мостового крана в режимі двохступеневого протиповключення / А.Б. Неженцев, П.В. Збітнев // Вісник Східноукраїнського національного ун-ту ім. В.Даля, №7(224). – Северодонецьк: Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2015. – С. 36-42.
5. Аветисян С.М. Програмне забезпечення для дослідження перехідних процесів грузопідйомних кранів (частина 1: при роботі механізмів передвиження) / С.М. Аветисян, А.Б. Неженцев. // Підйомно-транспортна техніка. – 2003. – №4. – С. 33–48.
6. Кельріх М. Б. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів //Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.—Луганськ: СХУ ім. В. Даля. – 2014. – №. 2. – С. 210.
7. Фомін О. В. Теоретичні основи програмного комплексу визначення та використання математичних моделей складових вантажних вагонів //Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського.—Кременчук: КДПУ. – 2013. – С. 87-91.
8. Фомін, О.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів/ О.В Фомін, А.В. Гостра // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2015. – Вип.26-27. – С.137-147.
9. Збітнев П.В. Математична модель приведеної сили електропривода крана з частотним управлінням / П.В. Збітнев, О.Б. Неженцев // Тези доповідей всеукраїнської наук.-техн. конф. молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню». Секція «Машинобудування», підсекція «Прикладна механіка». – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 23-25.

10. Збітнев П.В. Зниження динамічних навантажень при гальмуванні мостового крана з частотним керуванням / П.В. Збітнев, О.Б. Неженцев // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей V Міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 17–18 листоп. 2016.) / Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – С. 207-208.
11. Збітнев П.В. К вопросу снижения динамических нагрузок при торможении частотно-управляемого мостового крана / П.В. Збітнев, А.Б. Неженцев // Майбутній науковець – 2016: матеріали всеукр. наук.-практ. конф. 2 груд. 2016 р., м. Сєверодонецьк. Ч.ІІ. – Сєверодонецьк: Східноукр. нац. ун-т ім. В.Даля, 2016. – С. 102-105.
12. Zbitniev P. Analysis of the dependence between loads of an overhead crane and the parameters of a frequency control / P. Zbitniev, O. Nyezhenstev // International Scientific-Practical Conference of Young Scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2016», 16-18 of November 2016 in KNUGA. – Kyiv: KNUGA, 2016. – P. 181.
13. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (Справочное издание) / [Бродский В.З., Бродский Л.И., Голикова Т.И. и др.] – М.: Металлургия, 1982. – 752 с.

Oleksiy Nyezhenstev, Ph.D., Associate Professor

(Associate Professor of the Department Applied Mechanics, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».)

Hryhoriy Boyko, Ph.D., Associate Professor

(Chief of Research Department, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University)

Pavlo Zbitniev,

(Postgraduate of the Department of Railway, Road Transport and Lifting and Transport Machines, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University)

THE MATHEMATICAL MODELS AND SOFTWARE FOR RESEARCH OF TRANSITIONAL PROCESSES OF LOAD-LIFTING CRANES WITH FREQUENCY CONTROL OF THE MOVEMENT MECHANISM

Mathematical models of a bridge crane with frequency control of an electric drive of movement, based on a three-mass and four-mass design schemes are described in the article. The developed software for realization of the specified mathematical models is presented. It allows to integrate differential equations describing the motion of multi-mass dynamic crane models using the Runge-Kutta numerical method and to calculate the displacements, speeds and accelerations of all the reduced masses, the dynamic loads on the drive and the crane's metal structures, as well as the dynamic loads on cargo at each step of the specified time interval. The maximum values of these loads at each stage of the transient process and the time of their occurrence are determining. The results of calculations are displayed on the screen in the form of a table and graphs of the transient processes of the bridge crane (including frequency controlled crane).

The analysis of changes in kinematic and dynamic parameters during braking of a bridge crane of the carrying capacity of 20/5 tons with frequency control of the drive of movement is performed using the developed computer program and theory of experiment planning. Polynomial dependencies of dynamic loads on the crane's metal structure and the dynamic loads on cargo, as well as the crane braking time from the frequency control parameters, are constructed. The graphs of equal response of the dynamic loads acting on the crane metal structure and the dynamic loads acting on the cargo when braking the frequency-controlled overhead crane are given for practical applications.

Keywords: overhead crane, mathematical model, transients, frequency regulation, dynamic loads

REFERENCES

1. RTM 24.090.28–77. *Krany gruzopodemnye. Mekhanizm peredvizheniia. Metod rascheta.* [Steering technical material 24.090.28–77. Load-lifting cranes. The mechanism of movement. Calculation method.].
2. Loveikin V.S., Romasevych Yu.O. Dynamichna optymizatsiia rezhymu rukhu kranovoho mekhanizmu peremishchennia [Dynamic optimization of movement mode of crane's movement mechanism]. *Pidiomno-transportna tekhnika – Lifting and transport equipment*, 2013, issue 3, pp. 5–21.
3. Loveikin V.S., Romasevych Yu.A. Analiz dinamiki mekhanizma peredvizheniia mostovogo kрана s chastotnym upravleniem privoda [Analysis of the dynamics of the mechanism of movement of a bridge crane with frequency control of a drive]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii – Engineering Journal: Science and Innovation*, 2013, issue 3, pp. 1–10. Available at: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hidden/731.html>
4. Nezhtentsev A.B., Zbitniev P.V. Optimizatsiia mekhanicheskikh kharakteristik privoda peredvizheniia mostovogo kрана v rezhime dvukhstupenchatogo protivokliucheniia [Optimization of mechanical characteristics of drive of bridge crane in mode of two-stage plugging braking] *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V.Dalia* [Bulletin of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University], 2015, issue 7, pp. 36–42.
5. Avetisian S.M., Nezhtentsev A.B. Programnoe obespechenie dlia issledovaniia perekhodnykh protsessov gruzopodemnykh kранov (chast 1: pri rabote mekhanizmov peredvizheniia) [Software for the investigation of transient processes of cranes (part 1: in the work of movement mechanisms)]. *Pidiomno-transportna tekhnika – Lifting and transport equipment*, 2003, issue 4, pp. 33–48.
6. Kelrikh M. B., Moroz V. I. Strukturno-funktsionalne opysannia konstrukttsii modulua kuzova suchasnykh universalnykh napivvagoniv //Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia, 2 (210). – 2014. – C. 94–103.
7. Fomin O. V. Teoretychni osnovy prohramnoho kompleksu vyznachennya ta vykorystannya matematychnykh modeley skladovykh vantazhnykh vagoniv //Naukovyy zhurnal «Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhayla Ostrohrads'koho».–Kremenchuk: KDP. – 2013. – №. 6. – C. 83.
8. Fomin, O.V. Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnykh vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] / O.V. Fomin, A.V. Gostra // Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series «Transport systems and technologies.» – Kyiv: DETUT, 2015. – Vyp.26-27. – S.137-147.
9. Zbitniev P.V., Nyezhtentsev O.B. Matematychna model pryvedenoi syly elektropyvoda kрана z chastotnym upravlinniam [Mathematical model of the reduced force of the electric drive of the crane with frequency control]. Tezy dopovidei vseukrainskoi nauk.-tekhn. konf. molodykh vchenykh ta studentiv «Innovatsii molodi – mashynobuduvanniu». Sektsiia «Mashynobuduvannia», pidseksiiia «Prykladna mekhanika» [Proc. of the all-Ukrainian scientific and technical conference of young scientists and students «Innovations of youth to machine building». Section «Mechanical Engineering», subsection «Applied Mechanics»]. Kyiv, 2016, pp. 23–25.
10. Zbitniev P.V., Nyezhtentsev O.B. Znyzhennia dynamichnykh navantazhen pry halmuvanni mostovoho kрана z chastotnym keruvanniam [Reduction of dynamic loads during braking of a bridge crane with frequency control]. *Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii: zbirnyk tez dopovidei V Mizhnarodnoi naukovo.-tekhnichnoi konferentsii Molodykh uchenykh ta studentiv, (Ternopil, 17–18 lystopada 2016.)* [Actual problems of modern technologies: Proc. of the V International Scientific and Technical Conference of Young scientists and students, (Ternopil, November 17–18, 2016)]. Ternopil, 2016, pp. 207–208.
11. Zbitniev P.V., Nezhtentsev A.B. K voprosu snizheniia dinamicheskikh nagruzok pri tormozhenii chastotno-upravliaemogo mostovogo kрана [To the issue of reducing dynamic loads during braking of a frequency-controlled overhead crane]. *Maibutnii naukovec – 2016: materialy vseukrainskoi naukovo-praktichnoi konferentsii. 2 hrudnia 2016 roku, misto Sievierodonetsk. Chastina II.* [Future Scientist – 2016: Proc. of the All-Ukrainian scientific conference. December 2, 2016, Severodonetsk. Part II]. Sievierodonetsk, 2016, pp. 102–105.
12. Zbitniev P. Analysis of the dependence between loads of an overhead crane and the parameters of a frequency control / P. Zbitniev, O. Nyezhtentsev // International Scientific-Practical Conference of Young Scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2016», 16–18 of November 2016 in KNUGA. – Kyiv: KNUGA, 2016. – P. 181.
13. Brodskii V.Z., Brodskii L.I., Golikova T.I., Nikitina Ye. P., Panchenko L.A. *Tablitsy planov eksperimenta dlia faktornykh i polinomialnykh modelei (Spravochnoe izdanie)* [Tables of experiment plans for factorial and polynomial models (Reference Edition)]. Moscow, Metallurgiiia, 1982. 752 p.

УДК 338.47:656(1-21):711.7

Г. Я. Мозолеви́ч, к.т.н.

(доцент кафедри «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

А. В. Шопот,

(магістрант кафедри «Станції та вузли» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ МІСТА

В роботі запропоновано використання вимірника сталого розвитку ТСГ. Практичне значення полягає у можливості використання цього показника при розробці стратегії розвитку ТСГ, оцінці поточного її стану.

ТСГ - це складна, динамічна, стохастична система. Її цілями є забезпечення потреб у перевезеннях вантажо- та пасажиропотоків із максимально можливою швидкістю при безумовному дотриманні безпеки руху з мінімізацією експлуатаційних витрат і впливу на навколишнє середовище.

Для вирішення поставленої мети було виконано декомпозицію ТСГ. На мікрорівні побудовано імітаційну модель роботи автомобільного перехрестя, яка дозволяє моделювати рух транспортних потоків по напрямках. Розроблені алгоритми оцінки статистичних показників простою транспортних засобів на перехрестях. На макрорівні – запропоновано методiku оцінки впливу транспорту на сталий розвиток міст. Розроблений метод дозволяє дати кількісну оцінку витрат учасників транспортного процесу та виділити найбільш проблемні його складові.

Загальні витрати, які були одержані при обчисленні запропонованого вимірника, склали приблизно 20 – 25% ВВП міста.

Ключові слова: транспортна система міста, імітаційна модель, сталий розвиток міст, автомобільне перехрестя, урбанізація.

В работе предложено использование измерителя устойчивого развития ТСГ. Практическое значение состоит в возможности использования этого показателя при разработке стратегии развития ТСГ, оценке ее текущего состояния.

ТСГ представляет собой сложную, динамическую, стохастическую систему. Ее целями является обеспечение потребностей в перевозках грузо- и пассажиропотоков с максимально возможной скоростью при безусловном соблюдении безопасности движения с минимизацией эксплуатационных затрат и воздействия на окружающую среду.

Для решения поставленной цели было выполнено декомпозицию ТСГ. На микроуровне построена имитационная модель работы автомобильного перекрестка, которая позволяет моделировать движение транспортных потоков по направлениям. Разработаны алгоритмы оценки статистических показателей простою транспортных средств на перекрестках. На макроуровне – предложена методика оценки влияния транспорта на устойчивое развитие городов.

© Мозолеви́ч Г. Я., Шопот А. В., 2017

Ключевые слова: транспортная система города, имитационная модель, устойчивое развитие городов, автомобильное перекресток, урбанизация.

Постановка проблеми. В теперішній час автомобільний транспорт є невід'ємною частиною життя суспільства. За останніми даними в Україні у 2016 р. кількість транспортних засобів перетнула позначку 9,2 млн од., з яких 6,9 млн легкові автомобілі [1]. Через це у містах з великим населенням усе частіше можна зіткнутися з проблемою виникнення заторів. Причиною цього є недосконала система управління дорожнім рухом (УДР) та надмірна завантаженість транспортних вузлів і розв'язок.

Методами вирішення цих проблем є реконструктивні та організаційні заходи. Якщо перші тягнуть за собою значні капіталовкладення, то за допомогою других можна досягнути результатів із значно меншими витратами. Найбільш проблемними, так званими «вузькими» місцями, можна назвати автомобільні перехрестя, через те що саме на них відбувається накопичення транспортних засобів та створення черг. Основним способом вирішення проблеми оптимального перетину автомобілями перехресть є автоматизація світлофорного регулювання рухом. Управління параметрами роботи світлофорів на перехрестях є складною оптимізаційною задачею, яка набуває все більшої актуальності в умовах постійної урбанізації та збільшення кількості транспортних засобів.

В дослідженні автори поставили перед собою два рівні задач:

- 1) На макрорівні – оцінка впливу автотранспорту на сталий розвиток міст;
- 2) На мікрорівні – дослідження впливу системи управління автомобільними перехрестями на загальний простий транспортних засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання імітаційного моделювання роботи транспортних потоків завжди було досить складним. Насамперед, це пов'язане з великою кількістю факторів, що необхідно враховувати при побудові моделей. Одна з складних задач, яка стоїть перед дослідником, – це задача відбору обмеженого переліку параметрів моделі. Якщо кількість факторів буде значною, то при дослідженні буде важко встановити зв'язок між ними і це ускладнить процес побудови моделі. Якщо ж брати до уваги невелику їхню кількість, то існує велика вірогідність того, що отримана модель не буде відповідати реальності.

Перша спроба моделювання автомобільних потоків, в якій рух транспорту розглядався з позицій механіки суцільного середовища, була запропонована в 1955 році Lighthill M.J та Whitham F.R.S [2]. Також необхідно відмітити роботи Ф. Хейта [3], який вперше виділив математичне дослідження транспортних потоків у самостійний розділ прикладної математики.

На даний час розроблена значна кількість спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання транспортних потоків серед яких: PTV Vision [4], НВП «Система Сервіс» [5], «Дорожній менеджер» [6].

По даній тематиці вченими були запропоновані різноманітні методи моделювання. Так, наприклад, у [7] було запропоновано впровадження геоінформаційних систем і методів редукції графів для підвищення ефективності отриманих даних і прийняття рішень. Також одним з популярних методів є представлення транспортних потоків у вигляді орієнтованого графа [8-12].

У роботі [13] запропоновано використання математичних методів розподілу для розробки моделі дискретних транспортних потоків, в роботах [14-15] використовуються поняття кліткових автоматів, механіки суцільного середовища. Моделювання з використанням Марковських ланцюгів були представлені у [16].

Всі перелічені підходи для моделювання потоків транспортних засобів мають свої переваги та недоліки. І для кожної конкретної задачі досліднику слід уважно підходити до питання вибору методу моделювання.

Метою дослідження є розробка методу оцінювання сталого розвитку транспортної системи міста на основі дослідження процесу переміщення транспортних потоків на перехрестях.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення задачі мікрорівня було досліджено роботу автомобільного перехрестя в м. Дніпро на пересіченні вулиці Лазаряна та проспекту Гагаріна, схема якого наведена на рис 1.

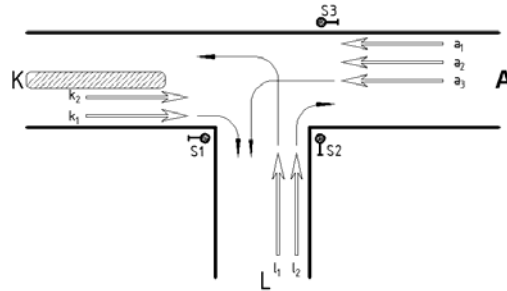


Рис. 1. Схема автомобільного перехрестя на перетині вулиці Лазаряна та проспекту Гагаріна

Транспортні потоки були поділені за напрямками руху K, A, L та окремо за смугами k_1, k_2, l_1, l_2 та a_1, a_2, a_3 .

Було виконано візуальне спостереження за рухом автомобілів по перехрестю, під час якого фіксувались моменти проходження транспортних засобів через точки спостереження. На основі отриманих моментів перетину контрольних точок перехрестя було побудовано статистичні ряди та гістограми розподілу випадкової величини інтервалів між транспортними засобами – рис. 2.

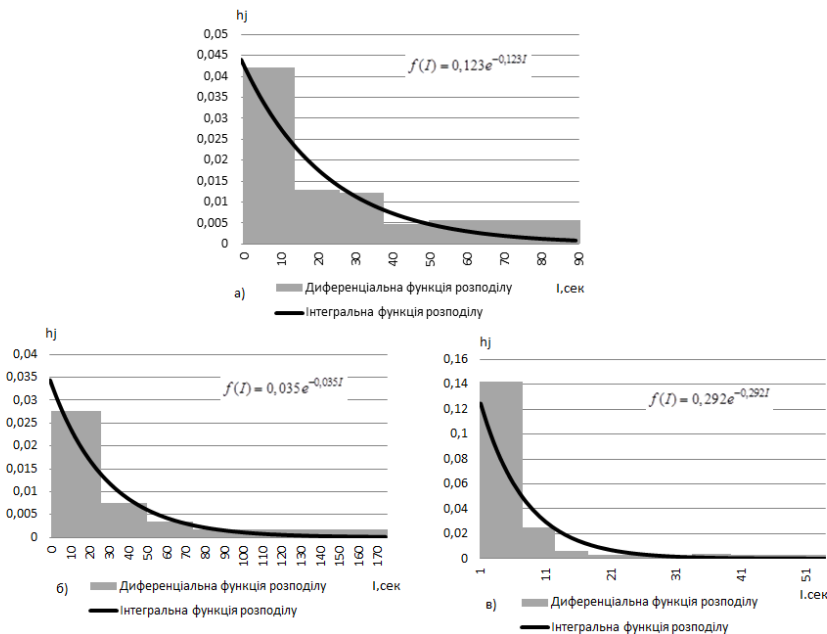


Рис. 2. Гістограма та інтегральна функція розподілу випадкової величини інтервалів між автомобілями: а) на смузі k_1 ; б) на смузі a_1 ; в) на смузі k_2 .

Після виконання статистичної обробки було висунуто гіпотезу про розподіл інтервалів між автомобілями за законом Ерланга з параметром $K=1$ [17]. Перевірка гіпотези виконана за допомогою критеріїв згоди Пірсона [17]. Виконані розрахунки підтвердили висунуту гіпотезу.

Черговість пересічення автомобілями перехрестя регулюється світлофорами, які працюють у циклічному режимі, і залежно від їх показань транспортним потокам дозволяється або забороняється рух (табл. 1).

Моделювання руху транспортних засобів виконувалось за Законом Ерланга для неперервних випадкових величин [14]:

$$I_i = -\frac{M[I]}{k} \prod_{j=1}^k \ln(r_j), c \quad (1)$$

де $M[I]$ – математичне очікування випадкової величини інтервалів між транспортними засобами;

k – параметр Ерланга;

r_j – випадкове число, що рівномірно розподілене в інтервалі $[0,1]$.

Таблиця 1. Формалізація процесу руху транспортних засобів на перехресті*

Потік \ Світлофор	S _{1зел}	S _{1черв}	S _{2зел}	S _{2черв}	S _{3зел}	S _{3черв}
k ₁	+	-	-	+	+	-
k ₂	+	-	-	+	+	-
a ₁	+	-	-	+	+	-
a ₂	+	-	-	+	+	-
a ₃	+	-	-	+	+	-
l ₁	-	+	+	-	-	+
l ₂	-	+	+	-	-	+

* Примітка: «+» – дозволяється рух транспортних засобів;

– – – – «-» – забороняється рух транспортних засобів.

Моделювання потоків виконувалось окремо для кожної смуги. Для розрахунку простоїв транспортних засобів період моделювання було поділено на цикли, величина яких складала:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{ч}} + t_{\text{з}}, c \quad (2)$$

де $t_{\text{ч}}$ – період горіння червоного світлофора, с;

$t_{\text{з}}$ – період горіння зеленого світлофора, с.

Для обробки моментів підходу транспортних засобів до перехрестя та введення їх в цикл використовувалась така формула:

$$M_{\text{ц}} = M - T_{\text{ц}} \left\lfloor \frac{M}{T_{\text{ц}}} \right\rfloor, c \quad (3)$$

де M – момент проходження транспортного засобу через перехрестя.

Розрахунок простою транспортних засобів виконувався за алгоритмом, схема якого наведена на рис. 3.

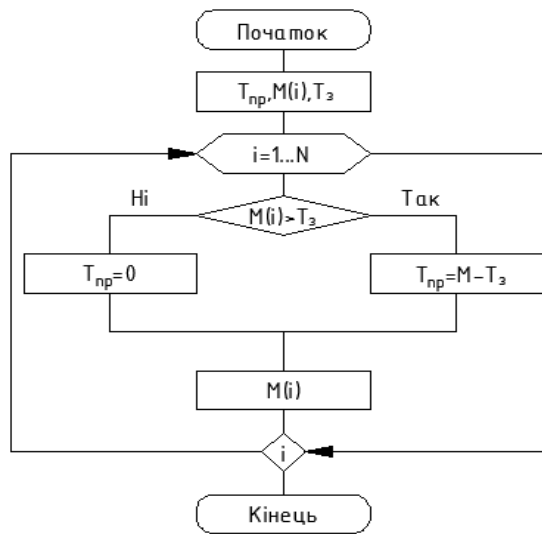


Рис. 3. Алгоритм розрахунку простою окремого потоку транспортних засобів на перехресті

Імітацію роботи автомобільного перехрестя виконано в різних режимах роботи світлофорів. В кожному з них змінювалось відношення часу горіння червоного сигналу до зеленого. Загальний простій транспортних засобів у різних режимах роботи світлофорів представлений на рис. 4.

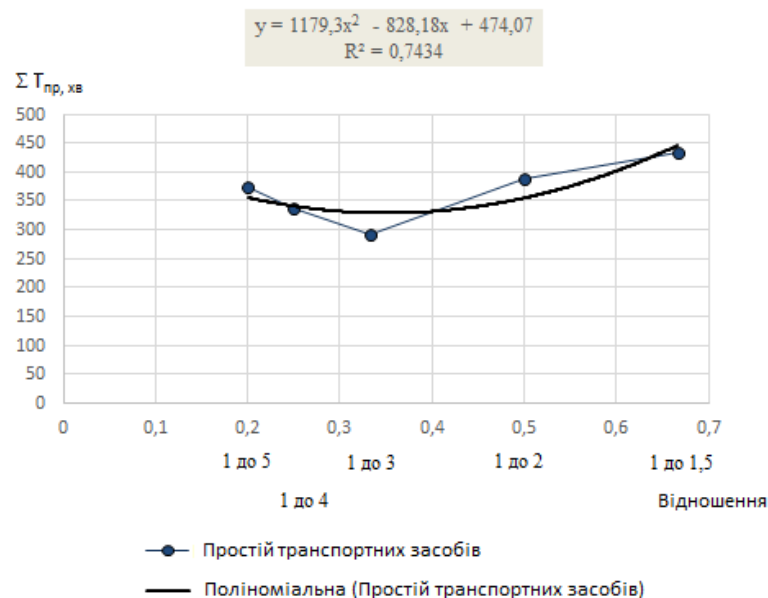


Рис. 4. Графік зміни загального простою транспортних засобів залежно від циклів роботи світлофорів

Виконане моделювання показало, що мінімальний простій транспортних засобів досягається при співвідношенні сигналів світлофорів 1 до 3.

Для виконання поставленої задачі на макрорівні необхідно виконати перехід від мікромоделі перехрестя до потокової моделі їх сукупностей. Якщо по роботі окремих перехресть в м. Дніпро результати розрахунків збігаються із реальною роботою світлофорів, то до роботи всієї системи у водіїв автотранспортних засобів виникають питання. Причиною цього є відсутність зв'язків між циклами роботи світлофорів окремих перехресть.

Вирішення задачі на макрорівні. Термін «сталий розвиток» в даний час визначається як модель розвитку економіки і суспільства, при якій досягається задоволення життєвих потреб нинішнього покоління людей без позбавлення такої можливості майбутніх поколінь [18]. Якісну оцінку роботи транспортних систем міста яка включає в себе соціальну економічну і екологічну складову можна виконати з використанням вимірника сталого розвитку транспортної системи міста:

$$C_m = E_{\text{соц.}} + E_{\text{економ.}} + E_{\text{еколог.}}, \text{ грн/рік} \quad (4)$$

де $E_{\text{соц.}}$ – оцінка соціальних інтересів учасників транспортного процесу, грн/рік;

$E_{\text{економ.}}$ – економічні витрати, пов'язані із простоєм транспортних засобів та експлуатацією засобів управління, грн/рік;

$E_{\text{еколог.}}$ – витрати викликані забрудненням навколишнього середовища транспортними засобами, грн/рік.

Для оцінки значення цього вимірника було проведено статистичний аналіз кількості транспортних засобів та їх технічні характеристики рис. 4–5.

Для оцінки соціальної складової необхідно врахувати збитки людей, що виникають через додатковий простій під час переміщень містом:

$$E_{\text{соц.}} = \alpha_p P_{\text{л}} G_{\text{нас.}} \Delta T_{\text{пр}}, \text{ грн/рік} \quad (5)$$

де α_p – продуктивна частина населення, %;

$P_{\text{л}}$ – середній дохід населення міста, грн/рік;

$G_{\text{нас.}}$ – середня населеність транспортного засобу, чол/тр.зас.;

$\Delta T_{\text{пр}}$ – додатковий простій транспортних засобів.

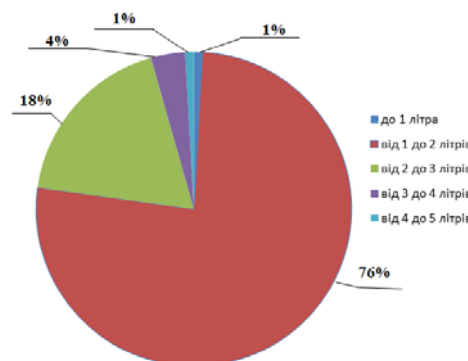


Рис. 4. Статистичні дані об'єму двигунів транспортних засобів

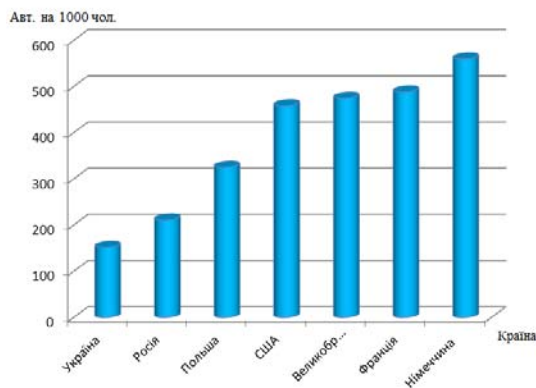


Рис. 5. Кількість транспортних засобів на душу населення в різних країнах світу

Під час розрахунку економічної складової необхідно врахувати витрати палива на розгін та уповільнення транспортних засобів і роботу двигуна у холостому режимі, а також витрати, пов'язані з необхідністю підвищення кількості маршрутних транспортних засобів через збільшення тривалості їх обертів:

$$E_{\text{економ.}} = C_{\text{xx}} + C_{\text{м.т.з.}}, \text{ грн/рік} \quad (6)$$

де C_{xx} – витрати палива на роботу двигуна у холостому режимі та на розгін і уповільнення, *грн/рік* [19];

$C_{\text{м.т.з.}}$ – витрати, пов'язані зі збільшенням обертів маршрутних транспортних засобів, *грн/рік*.

Останнім та значно шкідливим для людини є екологічний показник. У контексті сталого розвитку міст він визначається забрудненням атмосфери навколишнього середовища шкідливими викидами автомобілів.

На основі побудованої математичної моделі було розраховано концентрацію шкідливих викидів автомобілів за формулою [20]:

$$C_{\text{co}} = 1,53 N^{0,368}, \text{ млн}^{-1} \quad (7)$$

Отримані розрахунки показали, що концентрація шкідливих викидів значно перевищує допустимі норми.

Найбільш небезпечними газами, які виділяються транспортними засобами під час роботи, є: окис вуглецю (CO) та оксид азоту (NO) [20]. Перевищення їх концентрації в повітрі призводить до захворювання людей низкою складних недуг, а саме: алергічний риніт, серцево-судинні захворювання, бронхіальна астма, загальні порушення зору, захворювання центральної нервової системи [21]. Цей показник можна оцінити за допомогою виразу:

$$E_{\text{еколог.}} = N_{\text{нас.}} \beta_{\text{зах.}} S_{\text{річ.}}, \text{ грн/рік} \quad (8)$$

де $N_{\text{нас.}}$ – населення міста, *чол.*;

$\beta_{\text{зах.}}$ – частка людей, які страждають від захворювань, *чол.*;

$S_{\text{річ.}}$ – витрати однієї людини на лікування хвороби, *грн/рік*.

Проведені розрахунки дозволили визначити співвідношення складових вимірника сталого розвитку транспортної системи міста – рис. 6.

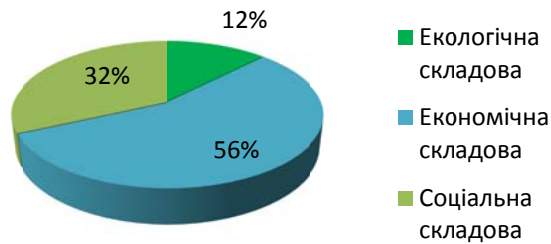


Рис. 6. Співвідношення складових вимірника сталого розвитку міста

Висновки та пропозиції. У статті розглянуто питання керування транспортними потоками міст і впливу транспортних засобів на навколишнє середовище.

На макрорівні: побудовано математичну модель руху транспортних засобів через світлофорне перехрестя, що дозволяє визначити оптимальні режими керування світлофорами та виконати оцінку простою транспортних засобів в очікуванні руху.

На мікрорівні: запропоновано використання вимірника сталого розвитку транспортної системи міста, що базується на основі соціального, економічного та екологічного показника. Значення цього вимірника складає близько 20-25% від ВВП міста.

ЛІТЕРАТУРА

1. Статистичні данні [Електронний ресурс] / *Міністерство Інфраструктури України* // – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html?PrintVersion>.
2. Lighthill M.J., Whitham F.R.S. On kinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads / M.J. Lighthill, F.R.S. Whitham // *Proc. of the Royal Society Ser.*, 1995, vol. 229, no 1178, pp. 317-345.
3. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт. – М.: Мир, 1966. – 286 с.
4. *PTV Vision* [Електронний ресурс] / Програмні продукти // – Режим доступу: <http://www.ptv-vision.ru>
5. *Система Сервіс* [Електронний ресурс] / Програмні продукти // – Режим доступу: <http://komkon.ua/ru/products/sw/>
6. *Дорожній менеджер* [Електронний ресурс] / Програмні продукти // – Режим доступу: <http://www.mallenom.ru/products/modelirovanie-i-iskusstvennyi-intelekt/dorozhnyi-menedzher/>
7. Пуртов, А. М. Интеграция технологии ГИС и метода редукции графов для анализа транспортных сетей / А. М. Пуртов // *Омский научный вестник* №1 – Д., 2011. – Вип. 97. – С. 164 – 168.
8. Михеева, Т. И. Моделирование движения в интеллектуальной транспортной системе / Т.И. Михеева // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва* – Д., 2004. – Вип. 2. – С. 118 – 126.
9. Скалозуб, В. В. Моделирование неоднородных транспортных потоков с переменными тарифами / В. В. Скалозуб, Л. А. Паник // *Транспортные системы и технологии перевозок* – Д., 2015. – Вип. 10. – С. 105 – 111.
10. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» // *Зб. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ.* – 2008. – С. 72-81.
11. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas/ M. Kelrykh / *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. 2014, No. 6 – P.64-67.
12. Мороз, В. І. «Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності». – *Зб. наук. праць.* – Харків: УкрДАЗТ (2009): – С. 121–131.
13. Козаченко, Д. М. Дослідження параметрів потоків поїздів на залізничних напрямках / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевиц // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий* – Д., 2010. – Вип. 45 – С. 17 – 21.
14. Трапезникова, М. А. Моделирование многополосного движения автотранспорта на основе теории клеточных автоматов / М.А. Трапезникова // *Математическое моделирование.* – 2011. – т. 23, № 6. – С. 133 – 146.

15. Смирнов, Н. Н. Математическое моделирование движения автотранспортных потоков методами механики сплошной среды. Двухполосный транспортный поток: модель Т-образного перекрестка, исследование влияния перестроений транспортных средств на пропускную способность участка магистрали / Н. Н. Смирнов, А. Б. Киселев, В. Ф. Никитин, А. В. Кокорева // ТРУДЫ МФТИ. – 2010. – т. 2, № 4. – С. 141 – 151.
16. Завалишин, Д. С. Исследование математической модели регулируемого перекрестка / Д. С. Завалишин, Г. А. Кокорева // Труды института математики и механики. – 2009. – т.15, № 4. – С. 108 – 119.
17. Шторм, Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества / Р. Шторм. – М. : Мир, 1970. – 368 с.
18. Кондратьев, А. Е. Роль экологически чистого транспорта в поддержке устойчивого развития городов / А. Е. Кондратьев // Теория и практика общественного развития – Д., 2012. – Вип. 4. – С. 342 – 344.
19. Селифонов, В. В. Теория Автомобиля: учебник / В. В. Селифонов, А.Ш. Хусаинов, В.В. Ломакин – М. : МГТУ МАМИ, 2007. – 102 с.
20. Беляев, Н. Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова, П. С., Кириченко – Д. : Акцент ПП, 2014. – 159 с.
21. Тарасова, В. В. Вплив забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення / В.В. Тарасова // Агросвіт – Д., 2013. – Вип. 16. – С. 24 – 28.

***Mozolevych Grygorii, Ph.D. (Associate Professor of «Stations and junctions» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan)
Andrii Shopot, (Undergraduate of «Stations and junctions» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan)***

DEVELOPMENT ASSESSMENT METHOD OF SUSTAINABLE TRANSPORT SYSTEM CITY

In the late XX and XXI centuries there is the continuous process of urbanization. This explains the steady increase of needs to move traffic within cities and corresponding increase of traffic and bandwidth transport networks.

The aim of the above research is developing a method of evaluating the sustainable development of the transport system of the city (CTS). The object of research at the micro level is the movement of traffic at intersections, at the macro level it is problems of CTS. The subject is bridge traffic flows and their impact on sustainable development indicators.

Research methods are mathematical theory of traffic flow, simulation, queuing theory, methods of probability theory and mathematical statistics.

The paper presents the use of measuring sustainable development CTS. The practical significance is the ability to use this indicator in the CTS development strategy, assessment of the current condition.

CTS is a complex, dynamic, stochastic system. Its objectives are the needs in transport Freight and passenger with maximum possible speed with absolute safety compliance minimizing operating costs and environmental impact.

CTS decomposition was fulfilled for solving this goal. Simulation model of automotive intersection was constructed at the microlevel, which allows you to simulate the movement of traffic on the directions. The assess algorithms of statistical indicators of idle vehicles at intersections were designed. At the macro level the method of assessing the impact of transport on the sustainable development of cities was offered.

The method allows to quantify the costs of the transport process and identify the most problematic of its components. Total expenses, which were obtained in the calculation of the proposed meter amounted to about 20 – 25% of the GDP of the city.

Keywords: transport system of the city, a simulation model, sustainable urban development, automotive intersection, urbanization.

REFERENCES

1. *Statystichni danni ministerstvo infrastruktury ukrainy* (Statistical data Ministry of Infrastructure of Ukraine), 2016, Available at: <http://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html?printversion>.
2. Lighthill M.J., Whitham F.R.S. On kinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads / M.J. Lighthill, F.R.S. Whitham // *Proc. of the Royal Society Ser.*, 1995, vol. 229, no 1178, pp. 317-345.
3. Heyt F. *Matematicheskaya teoriya transportnykh potokov* [Mathematical theory of transport flows]. 1966. 286 p.
4. *Ptv Vision Prohrammi Produkty* (Ptv Vision software products), Available at: <http://www.ptv-vision.ru>
5. *Systema servis prohramni produkty* (System service software products), Available at: <http://komkon.ua/ru/products/sw/>
6. *Dorozhnyi menedzher prohramni produkty* (Road manager software products), Available at: <http://www.mallenom.ru/products/modelirovanie-i-iskusstvennyi-intelekt/dorozhnyi-menedzher/>.
7. Purtov A. M. Integratsiya tehnologi GIS i metoda reduksii grafov dlya analiza transportnih setey [Integration of GIS technology and method of graph reduction for analysis of transport networks]. *Omskiy nauchniy vestnik* [Omsk Scientific Bulletin], 2011, issue 1, pp. 164 – 168
8. Miheeva T. I. Modelirovanie dvizheniya v intellektualnoy transportnoy sisteme [Motion modeling in an intelligent transport system]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika S.P. Korol'ova* [Bulletin of the Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolova], 2004, issue 2, pp. 118 – 126.
9. Skalozub V. V., Panik L. A. Modelirovanie neodnorodnykh transportnykh potokov s peremennymi tarifami [Modeling of heterogeneous transport flows with variable tariffs]. *Transportnye sistemy i tehnologii perevozok* [Transport systems and transport technologies], 2015, issue 10, pp. 105 – 111
10. Moroz, V. I. (2008). Vyznachennia perspektivnykh napriamkiv udoskonalennia konstruksii napivvagoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon» [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE «Ukrspetsvagon»]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu*, 72-81.
11. Kelrykh M. (2014) Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». No 6, p.p. 64-67
12. Moroz V.I. (2009) Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noy materia-loyemnosti [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity]. *Zbirnyk naukovykh prats* [Collection of scientific papers]. Kharkiv. Ukrainian State University of Railway Transport. No 111, p.p. 121-131.
13. Kozachenko D. M., Mozolevych H. Ya. Doslidzhennia parametriv potokiv poizdiv na zaliznychnykh napriamkakh [Research options streams trains on the rail direction]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnalпередовий tehnologii* [Eastern European Journal of Advanced Technology], 2010, issue 45, pp. 17 – 21.
14. Trapeznikova M. A. Modelirovanie mnogopolosnogo dvizheniya avtotransporta na osnove teorii kletochnykh avtomatov [Modeling of multiband traffic of vehicles based on the theory of cellular automata]. *Matematicheskoe modelirovanie – Math modeling*, 2011, vol. 23, no. 6, pp. 133 – 146.
15. Smirnov N. N., Kiselev A. B., Nikitin V. F., Kokoreva A. V. Matematicheskoe modelirovanie dvizheniya avtotransportnykh potokov metodami mehaniki sploshnoy sredy. Dvuhpolosnyi transportnyi potok: model T-obraznogo perekrestka, issledovanie vliyaniya perestroeniy transportnykh sredstv na propusknyuyu sposobnost uchastka magistrali [Mathematical modeling of traffic flows by the methods of continuum mechanics. Two-lane transport stream: model of the T-junction, study of the effect of vehicle rebuilding on the capacity of the section of the highway]. *TRUDYI MFTI – Proceedings of MIPT*, 2010, vol. 2, no. 4, pp. 141 – 151.
16. Zavalishin D. S., Timofeeva G. A. Issledovanie matematicheskoy modeli reguliruemogo pere-krestka [The study of the mathematical model of an adjustable intersection]. *Trudyi instituta matematiki i mehaniki – Proceedings of the Institute of Mathematics and Mechanics*, 2009, vol. 15, no. 4, pp. 108 – 119.
17. Shtorm R. Teoriya veroyatnostey. Matematicheskaya statistika. Statisticheskii kontrol kachestva [Probability theory. Math statistics. Statistical quality control]. 1970. 368 p.
18. Kondratev A. E. Rol ekologicheskii chistogo transporta v podderzhke ustoychivogo razvitiya gorodov [The role of environmentally friendly transport in supporting sustainable urban development]. *Teoriya i praktika obschestvennogo razvitiya* [Theory and practice of social development], 2012, issue 4, pp. 342 – 344.
19. Selifonov V. V., Husainov A. Sh., Lomakin V. V. Teoriya Avtomobilya: uchebnik [Theory of the car: textbook]. MSTU MAMI, 2007. 102 p.
20. Belyaev N. N., Rusakova T.I., Kirichenko P.S. Modelirovanie zagryazneniya atmosfernogo vozduha vyibrosami avtotransporta na ulitsah gorodov [Simulation of atmospheric air pollution by vehicle emissions on city streets]. *Aktsent PP*, 2014. 159 p.
21. Tarasova V. V. Vplyv zabrudnennia atmosfernoho povitria na stan zdorovia naselennia [The impact of air pollution on public health]. *Ahrosvit* [World agricultural industry], issue 16, pp. 24 – 28.

УДК 621.3.07

Ю. В. Черняк, к.т.н., доцент

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

В. О. Гатченко, к.т.н., доцент

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

С. В. Каращук

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

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕЛЕКТРОВОЗА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

В статті обґрунтована необхідність створення математичної моделі тягового електропривода електровоза постійного струму. Розглянуто магнітну характеристику тягового двигуна електровоза та апроксимовано її за методом найменших квадратів. Створено математичний опис електровоза постійного струму при різних схемах з'єднання тягових двигунів. Побудовані його струмові та тягові характеристики.

Ключові слова: Математична модель електропривода, магнітна характеристика, схема з'єднань тягових двигунів, тягова характеристика.

В статье обоснована необходимость создания математической модели тягового электропривода электровоза постоянного тока. Рассмотрена магнитная характеристика тягового двигателя электровоза и аппроксимирована по методу наименьших квадратов. Создано математическое описание электровоза постоянного тока при различных схемах соединения тяговых двигателей. Построены его токовые и тяговые характеристики.

Ключевые слова: Математическая модель электропривода, магнитная характеристика, схема соединений тяговых двигателей, тяговая характеристика.

Постановка проблеми. При русі на неходових позиціях, електрорухомий склад (ЕРС) постійного струму з реостатно-контакторною системою управління витрачає на реостатах частину енергії. В процесі пуску, особливо для великовагових поїздів, та важких профілів колії важливо проаналізувати ефективність і порівняти витрати електроенергії на досягнення електровозом розрахункової швидкості при застосуванні послаблення збудження на проміжних ходових позиціях та без застосування, (лише повне поле та реостатні позиції).

Аналіз основних досліджень і публікацій. В публікаціях [1-5] проаналізовано режими роботи електрорухомого складу (ЕРС) та обґрунтовано необхідність підвищення його коефіцієнту корисної дії, проаналізовано вплив джерела живлення моделі тягового електропривода з широтно-імпульсним регулюванням напруги на якість його вихідних характеристик, розглянуті та обґрунтовані системи захисту напівпровіднико-

© Черняк Ю. В., Гатченко В. О., Каращук С. В., 2017

вих ключів від негативних наслідків комутації. Проаналізовано ефективність використання електроенергії електрорухомим складом та розглянуті різні системи тягового електропривода, що застосовуються на залізничному транспорті.

Мета статті – створення математичної моделі для визначення параметрів руху поїзда на реостатних та ходових позиціях електровоза постійного струму.

Виклад основного матеріалу. Через високу інерційність поїзда можна стверджувати, що електричні процеси в тяговому колекторному двигуні постійного струму проходять значно швидше, ніж встигають змінюватись динамічні, механічні та швидкісні параметри руху. Враховуючи це, можна прийняти, що під час зміни режиму роботи тягового електродвигуна (ТЕД) швидкість залишається постійною ($V = const$).

Розглянувши баланс напруги колекторного двигуна та прийнявши за умову, що двигун постійно перебуває в сталому режимі, можна побудувати математичну модель електровоза постійного струму на основі колекторного двигуна при сталому режимі. Баланс напруги ТЕД:

$$U_{ТЕД} = E_{ТЕД} + I \cdot R, \quad (1)$$

З формули електрорушійної сили [6] випливає:

$$n = \frac{U_{ТЕД} - I \cdot R}{C_e \cdot \Phi}. \quad (2)$$

Виразивши швидкість обертання якоря ТЕД (об/хв.) через швидкість руху поїзда, км/год, визначимо магнітний потік:

$$\Phi = \frac{3.6 \cdot \pi \cdot D_k \cdot (U_{ТЕД} - I \cdot r_{ТЕД})}{60 \cdot \mu \cdot V \cdot C_e}. \quad (3)$$

де V – швидкість руху поїзда, км/год;

– μ – передаточне число редуктора;

– D_k – діаметр круга кочення бандажа колісної пари, м.

Припустимо, що у електровоза були ТЕД з однаковими характеристиками. Опір обмоток якоря згідно з ГОСТ 2582 – 81 перерахуємо до робочої температури, Ом:

$$R^{115} = R^{20} \cdot \left[1 + \alpha \cdot (t_p - t_o) \right], \quad (4)$$

де t_p – робоча температура ТЕД (за ГОСТ 2582 – 81 $t_p = 115^\circ \text{C}$);

– t_o – температура обмоток в технічній документації (для ТЛ-2К1 $t_o = 20^\circ \text{C}$).

Для вирішення рівняння балансу напруги необхідно знайти залежність магнітного потоку від струму намагнічування $\Phi = f(I)$. Для цього скористаємося характеристиками тягового електродвигуна ТЛ-2К1 електровоза ВЛ11 з правил тягових розрахунків (ПТР) [7].

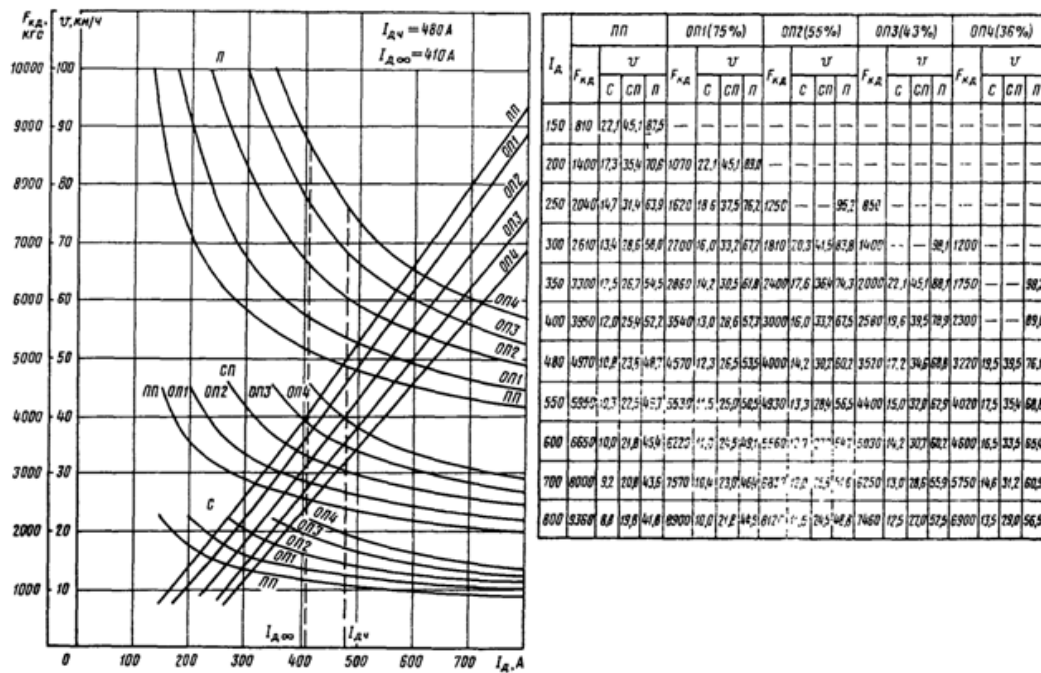


Рис. 1. Характеристики тягового электродвигуна ТЛ-2К1 електровоза ВЛ11м

Оскільки числові параметри для двигуна ТЛ-2К1 подані для різних з'єднань, то напруга на одному ТЕД:

$$U_{ТЕД} = \frac{U_{KM}}{a_{ТЕД}}, \quad (5)$$

де U_{KM} – напруга контактної мережі ($U_{ks} = 3000$ В);

— $a_{ТЕД}$ – кількість послідовно увімкнених ТЕД залежно від з'єднання (для електровоза ВЛ11м при з'єднанні «С» – $a_{ТЕД} = 8$, при з'єднанні «СП» – $a_{ТЕД} = 4$, при з'єднанні «П» – $a_{ТЕД} = 2$). Для розв'язання рівняння балансу напруги ТЕД скористаємося середовищем математичного моделювання Mathcad.

Для розрахунку побудуємо графік залежності розрахованих значень магнітного потоку тягового электродвигуна ТЛ-2К1 електровоза ВЛ11м залежно від струму (рис. 2).

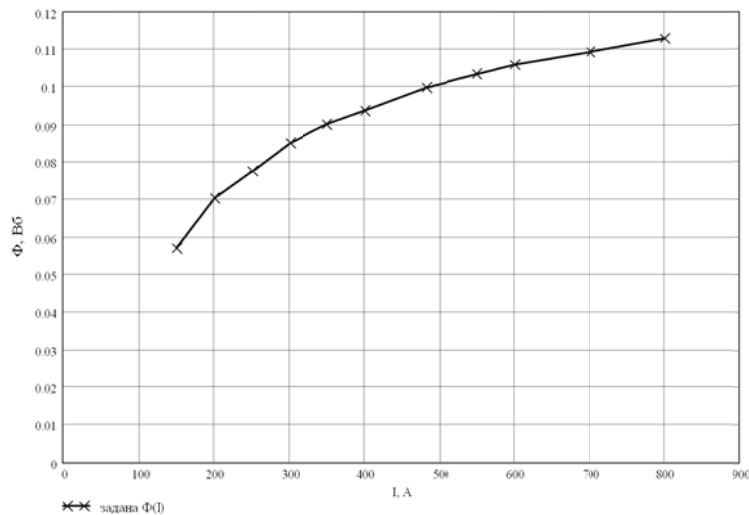


Рис. 2. Графік залежності розрахованих значень магнітного потоку тягового електродвигуна ТЛ-2К1 електровоза ВЛ1м від струму

Отримавши графік залежності апроксимуємо дані по методу найменших квадратів лінійною комбінацією довільних функцій.

За довільну функцію прийемо поліном 4-го ступеня:

$$TF(I) := \begin{pmatrix} 1 \\ I^2 \\ I^3 \\ I^4 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Рівняння залежності магнітного потоку від струму якоря приймає вигляд:

$$\Phi(I) = K_1 \cdot I + K_2 \cdot I^2 + K_3 \cdot I^3 + K_4 \cdot I^4. \quad (7)$$

Визначимо середнє відхилення від заданих величин після апроксимування. Середнє значення відхилення визначаємо як середню дисперсію (рис. 3).

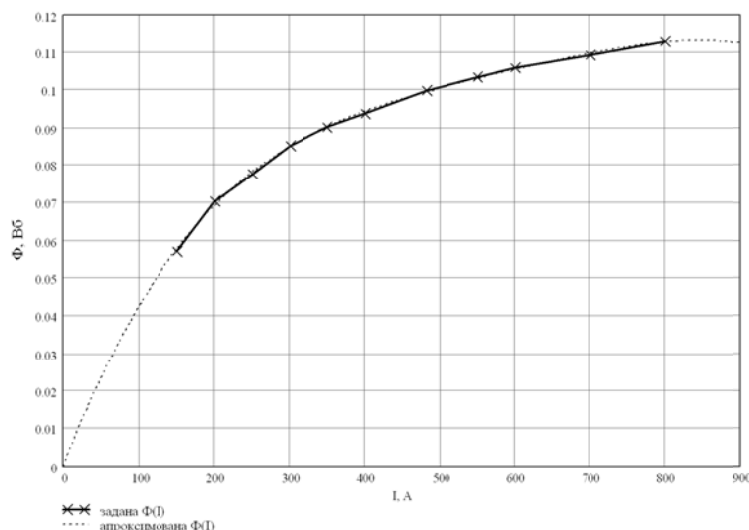


Рис. 3. Графіки апроксимованої та заданої залежності магнітного потоку від струму якоря при повному полі

Середнє значення відхилення від заданих величин становить 0.995, що підтверджує високу точність, як математичної моделі розрахунку залежності магнітного потоку від струму, так і моделі тягового електропривода в цілому.

Порівняємо отриманий графік залежності (рис. 4, а) з електромеханічними характеристиками двигуна ТЛ-2К1 [9] (рис. 4, б). Для порівняння виразимо магнітну характеристику через E/n .

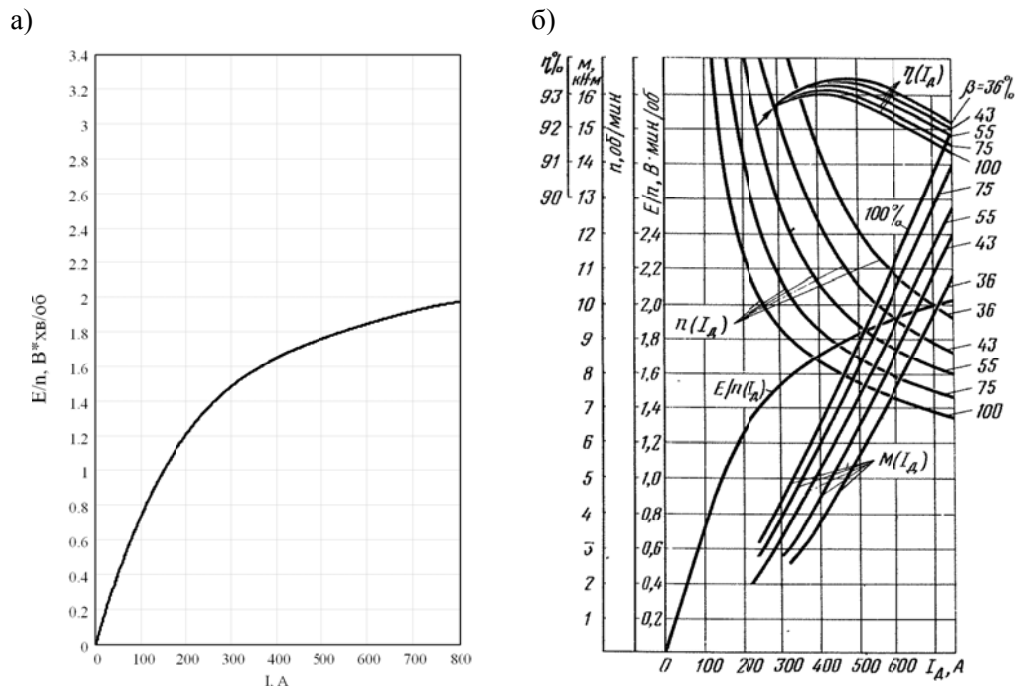


Рис. 4. Графік залежності характеристики намагнічування двигуна ТЛ-2К1 від струму двигуна

Очевидно, що середня похибка залежності намагнічування становить $\approx 4\%$. Визначимо залежність магнітного потоку від струму якоря при послабленому збудженні. Оскільки значення величини послаблення збудження відомі побудуємо графік залежності магнітного потоку від струму якоря (рис. 5).

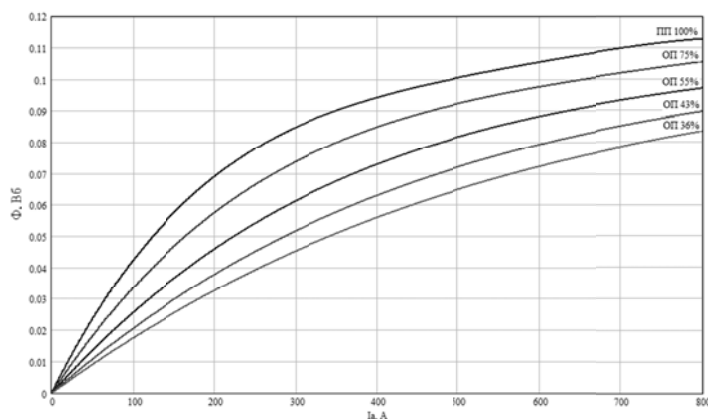


Рис. 5. Графіки апроксимованої залежності магнітного потоку від струму якоря при повному полі та послабленому збудженні тягового двигуна ТЛ-2К1

Маючи залежність магнітного потоку від струму якоря $\Phi = f(I_A)$, розв'яжемо рівняння балансу напруги відносно струму якоря. Очевидно, що на реостатних позиціях в баланс напруги також увійде падіння напруги на реостатах, тому приведемо значення опору реостату та рішення рівняння до одного ТЕД. Рівняння (2) при цьому матиме вигляд:

$$\frac{60 \cdot \mu \cdot V}{3.6 \cdot \pi \cdot D_k} = \frac{\frac{U_{KM}}{a_{TED}} - I_a \cdot \left(r_{TED} + \frac{R_{r_j} \cdot \beta_{m_j}}{a_{TED}} \right)}{C_e \cdot \Phi(I_a)}, \quad (8)$$

де R_{r_j} – опір реостату в залежності від j -ї позиції контролера машиніста, що увімкнений послідовно з ТЕД, Ом;

β_{m_j} – коефіцієнт приведення реостату до одного ТЕД ($\beta_{m_j} = 1$ при «С» та «СП» з'єднанні; $\beta_{m_j} = 2$ при «П» з'єднанні).

З рівняння (7) та (8):

$$\frac{60 \cdot \mu \cdot V}{3.6 \cdot \pi \cdot D_k} = \frac{\frac{U_{KM}}{a_{TED}} - I_a \cdot \left(r_{TED} + \frac{R_{r_j} \cdot \beta_{m_j}}{a_{TED}} \right)}{C_e \cdot (K_1 \cdot I_a + K_2 \cdot I_a^2 + K_3 \cdot I_a^3 + K_4 \cdot I_a^4)}$$

Зведемо рівняння до рівняння 4-го порядку:

$$\begin{aligned} 3.6 \cdot \pi \cdot D_k \left[\frac{U_{ks}}{a_{ted}} - I_a \cdot \left(r_{ted} + \frac{R_{r_j} \cdot \beta_{m_j}}{a_{ted}} \right) \right] &= 60 \cdot \mu \cdot V \cdot C_e (K_1 \cdot I_a + K_2 \cdot I_a^2 + K_3 \cdot I_a^3 + K_4 \cdot I_a^4) \\ -3.6 \cdot \pi \cdot D_k \frac{U_{ks}}{a_{ted}} + I_a \cdot \left[3.6 \cdot \pi \cdot D_k \cdot \left(r_{ted} + \frac{R_{r_j} \cdot \beta_{m_j}}{a_{ted}} \right) + 60 \cdot \mu \cdot V \cdot C_e \cdot K_1 \right] &+ I_a^2 \cdot 60 \cdot \mu \cdot V \cdot C_e \cdot K_2 + \\ + I_a^3 \cdot 60 \cdot \mu \cdot V \cdot C_e \cdot K_3 + I_a^4 \cdot 60 \cdot \mu \cdot V \cdot C_e \cdot K_4 &= 0 \end{aligned}$$

Отримане рівняння 4-го порядку вирішуємо чисельним методом поліномів Лаггера в середовищі програми MathCAD. Матриця Лаггера коефіцієнтів рівняння 4-го порядку:

$$I_{iv,j} := \begin{bmatrix} -3.6 \cdot \pi \cdot D_k \cdot \frac{U_{ks}}{a_{ted,j}} \\ 3.6 \cdot \pi \cdot D_k \cdot \left(r_{ted} + \frac{R_{p_j} \cdot \beta_{m_j}}{a_{ted,j}} \right) + 60 \cdot \mu \cdot V_{iv} \cdot C_e \cdot \text{Koeff_PP}_1 \\ 60 \cdot \mu \cdot V_{iv} \cdot C_e \cdot \text{Koeff_PP}_2 \\ 60 \cdot \mu \cdot V_{iv} \cdot C_e \cdot \text{Koeff_PP}_3 \\ 60 \cdot \mu \cdot V_{iv} \cdot C_e \cdot \text{Koeff_PP}_4 \end{bmatrix}$$

Рівняння поліномів 4-го порядку буде мати декілька коренів. Проте рішення рівняння задовольняє лише дійсний (некомплексний) невід'ємний корінь. Складемо алгоритм вибору дійсного додатного кореня.

$$I_{3_{iv,j}} := \begin{cases} (I_{2_{iv,j}})_1 & \text{if } (\text{Im}(I_{2_{iv,j}}))_1 = 0 \wedge (I_{2_{iv,j}})_1 > 0 \\ (I_{2_{iv,j}})_2 & \text{if } (\text{Im}(I_{2_{iv,j}}))_2 = 0 \wedge (I_{2_{iv,j}})_2 > 0 \\ (I_{2_{iv,j}})_3 & \text{if } (\text{Im}(I_{2_{iv,j}}))_3 = 0 \wedge (I_{2_{iv,j}})_3 > 0 \\ (I_{2_{iv,j}})_4 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Розрахуємо струм електровоза при різних з'єднаннях ТЕД:

$$I_{iv,j} := b_{ted,j} \cdot I_{3,iv,j}$$

де b_{ted} – кількість паралельних гілок ТЕД тягового електропривода;

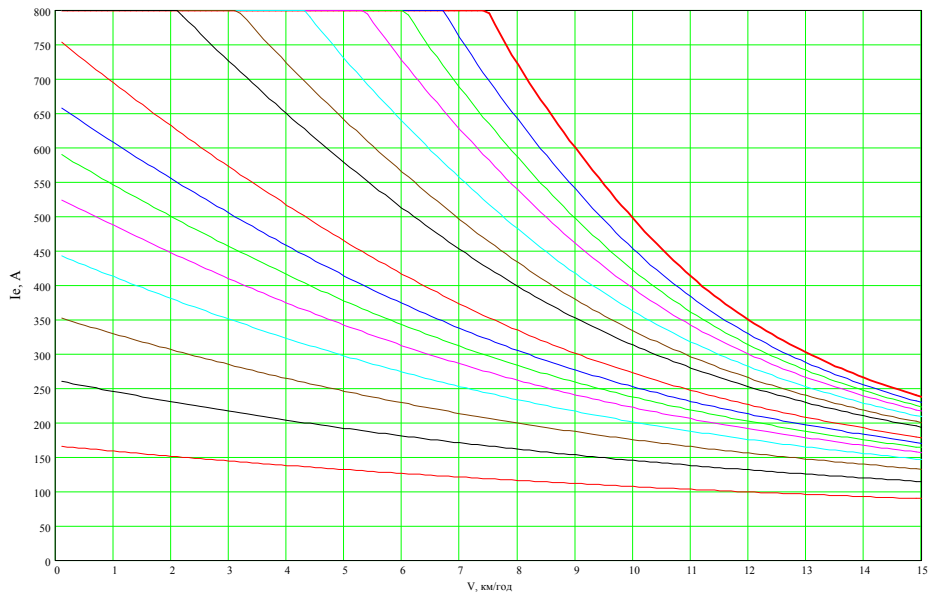


Рис. 9. Характеристики моделі тягового електропривода при послідовному з'єднанні ТЕД

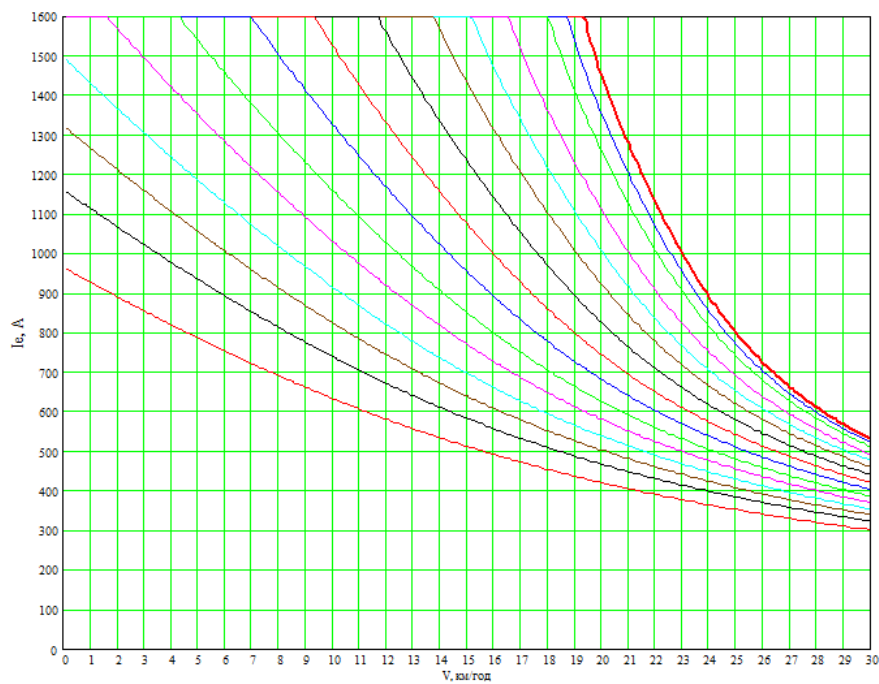


Рис. 10. Характеристики моделі тягового електропривода

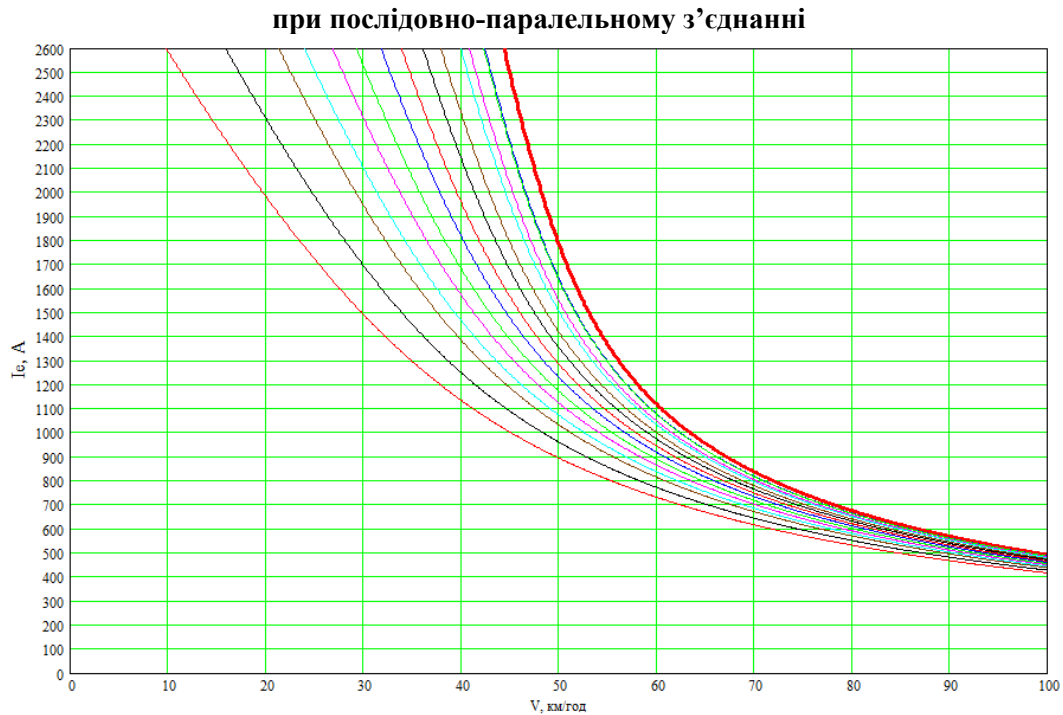


Рис. 11. Характеристики моделі тягового електропривода при паралельному з'єднанні

Аналогічно проводимо розрахунок для характеристик електропривода при ослабленому збудженні ТЕД. На послідовному та послідовно-паралельному з'єднанні обмежимо розрахунок моделі по струму та швидкості, для зменшення часу розрахунків.

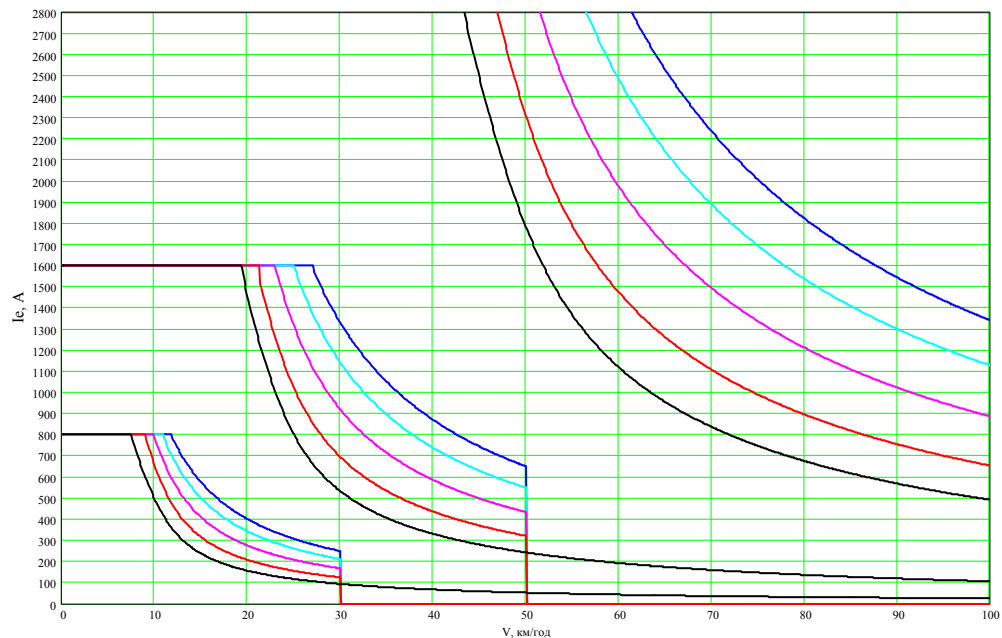


Рис. 12. Характеристики моделі тягового електропривода ходових позицій (повного та послабленого поля збудження ТЕД)

Задавшись максимальним струмом, побудуємо струмову характеристику електро-
воза. При цьому вихід на розрахункову швидкість можливий двома шляхами:

- із застосуванням послаблення збудження на проміжних ходових позиціях;
- без застосування послаблення збудження на проміжних ходових позиціях.

Тому можна побудувати дві струмові характеристики електровоза. Для порівняння також приведемо графік обмеження по струму з ПТР [7] (рис. 13).

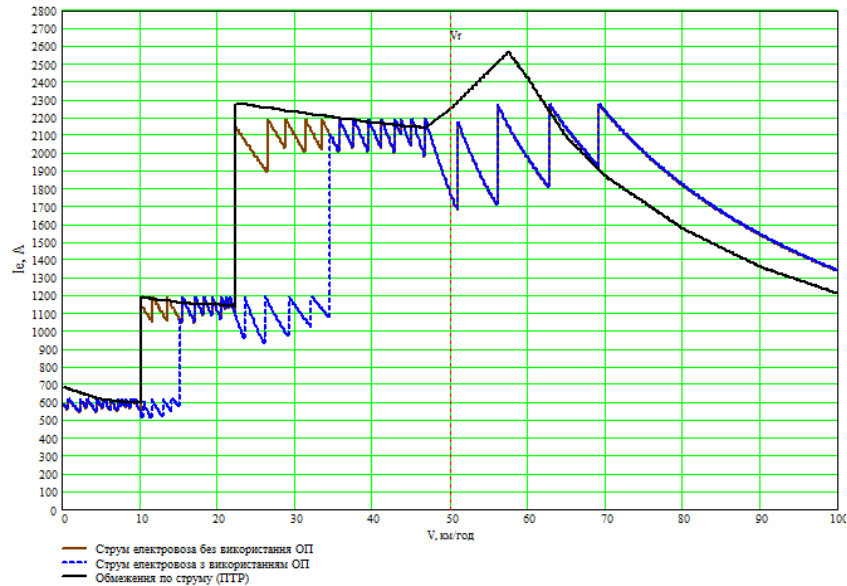


Рис. 13. Струмова характеристика моделі електропривода
електровоза постійного струму ВЛ11м

Отримавши струмову характеристику, розрахуємо електричні втрати в реостатах в залежності від швидкості руху. Як відомо потужність втрат в реостаті, кВт:

$$P_r = \frac{I_e^2 \cdot R_{rj}}{1000}, \quad (9)$$

де I_e – струм електровоза, А;

Із струмової характеристики електровоза визначимо електричні втрати в реостаті залежно від швидкості руху із застосуванням послаблення збудження та без нього (рис. 14.).

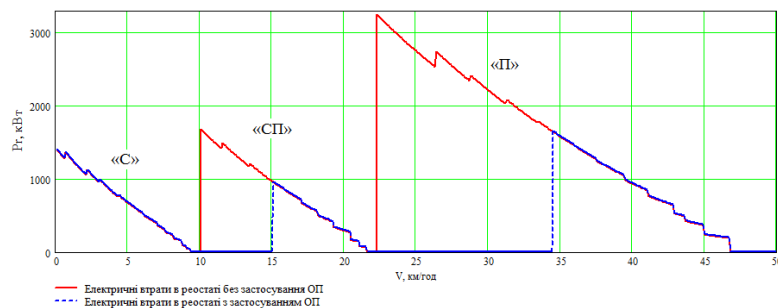


Рис. 14. Залежність електричних втрат в реостаті

від швидкості руху електровоза ВЛ11м

Сила тяги локомотива розраховується з відомих рівнянь електрорушійної сили і обертального моменту на валу якоря ТЕД [6]:

$$F_K = M \frac{2 \cdot \mu \cdot \eta_{з.п.}}{D_k}, \quad (10)$$

де M – Момент на валу ТЕД;
 $\eta_{з.п.}$ – ККД зубчатої передачі.
 Момент на валу ТЕД (Н·м) [9]:

$$M = 0.159 \left(\frac{N_a \cdot p}{a} \right) \cdot I_a \cdot \Phi, \quad (11)$$

Таким чином сила тяги однієї колісної пари:

$$F_K = \frac{3.6 \cdot I_a \cdot \eta_{з.п.} \cdot (U - I_a \cdot R)}{V},$$

Сила тяги електровоза:

$$F_K = m \cdot \frac{3.6 \cdot I_a \cdot \eta_{з.п.} \cdot (U - I_a \cdot R)}{V}, \quad (12)$$

де, m – кількість тягових колісних пар електровоза.

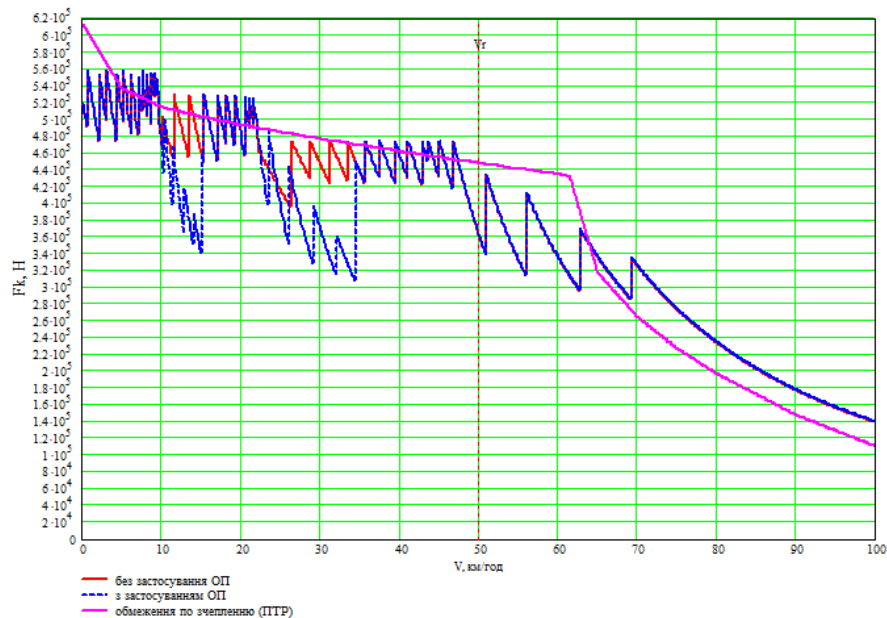


Рис. 15. Змодельована тягова характеристика електровоза ВЛ11м

при різних режимах розгону

Висновки та пропозиції. Проаналізувавши роботу тягового електропривода та задавши основними рівняннями, що описують роботу тягового електродвигуна в установленому режимі, вдалося створити математичну модель тягового електропривода електровоза постійного струму. Побудовано його струмові та тягові характеристики. Пропонуються подальші дослідження моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карацук С.В., Гаюрі А.В. Системи захисту напівпровідникових пристроїв від негативних наслідків комутації // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 23.– К.: ДЕТУТ, 2013. – С. 87–91.
2. Черняк Ю.В., Гатченко В.О., Ревчук М.О., Карацук С.В., Малюк С.В. Вплив джерела живлення моделі тягового електропривода на якість його вихідних характеристик // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 24. – К.: ДЕТУТ, 2014. – С. 140–144.
3. Черняк Ю.В., Гатченко В.О., Гаюрі А.В., Карацук С.В. Оцінка енергетичної ефективності існуючої системи рекуперативного гальмування електропоїздів // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 26-27.– К.: ДЕТУТ, 2015. – С. 83–91.
4. Черняк Ю.В., Гатченко В.О., Гаюрі А.В., Карацук С.В. Аналіз ефективності використання електроенергії системами тягового електропривода ЕРС постійного струму // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 28. – К.: ДЕТУТ, 2016. – С. 5–12.
5. Карацук С.В. Аналіз систем тягового електропривода електрорухомого складу // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Вип. 29. – К.: ДЕТУТ, 2016. – С. 96–106.
6. Безрудченко В.М. Варченко В.К. Чумак В.В. Тягові електричні машини електрорухомого складу. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.
7. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
8. Электровоз ВЛ11М: Руководство по эксплуатации. – М.: Транспорт, 1994. – 416 с.
9. Курбасов А.С. Седов В.И. Сорин Л.Н. Проектирование тяговых электродвигателей. – М.: Транспорт, 1987. – 236 с.

Yuriy Cherniak, PhD (Technical Science), Associate Professor
(Professor of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

Victoria Hatchenko, PhD (Technical Science), Associate Professor
(Associate Professor Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

Sergiy Karashchuk
(Postgraduate of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

**MATHEMATICAL MODEL OF TRACTION ELECTRIC DRIVE
OF ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH DIRECT CURRENT**

In the article mathematical model of electric locomotive traction electric DC examined. The Magnetic characteristics electric traction motor considered. Magnetic characteristics approximated by the least squares method. The mathematical de-

scription of DC electric circuits with different connection traction motors created. Current and traction characteristics built.

Keywords: Mathematical model of electric drive, magnetic characteristics, the circuit connections of traction motors, traction characteristics.

REFERENCES

1. Karashchuk S.V., Gajur A.V. *Sistemi zahistu napivprovodnikovih pristroiv vid negativnih naslidkiv komutatsiy* [Protection systems for semiconductor devices from the negative effects of switching] // Zbirnik naukovih prac' derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universitetu transportu serija transportni sistemi i tehnologii. vipusk 23, [Collected Works of Public Economics and Technology University of Transport Series transportation systems and technologies. issue 23] Kiev-2013 – p. 87-91.
2. Chernyak Y.V., Gatchenko V.O., Revchuk M.O., Karaschuk S.V., Malyuk S.V. *Vplyv dzherela zhivlennya modeli tyagovogo elektroprivodu na yakist yogo vihidnih harakteristik* [Effect of power supply for quality characteristic model traction electric drive] // Zbirnik naukovih prac' derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universitetu transportu serija transportni sistemi i tehnologii. vipusk 24 [Scientific Papers of State Technological University of Economics and Transport series transport systems and technologies. issue 24], Kiev-2014. – p. 140-144.
3. Chernyak Yu.V., Gatchenko V.O., Gayur A.V., Karaschuk S.V. *Otsinka energetichnoyi efektyvnosti isnuyuchoyi sistemi rekuperativnogo galmuvannya elektropoyizdiv* [Analysis of existing and perspective directions of energy storage in transport order to increase its energy efficiency] // Zbirnik naukovih prac' derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universitetu transportu serija transportni sistemi i tehnologii. vipusk 26-27 [Scientific Papers of State Technological University of Economics and Transport series transport systems and technologies. issue 26-27], Kiev-2015. – p. 83-91.
4. Chernyak Yu.V., Gatchenko V.O., Gayur A.V., Karaschuk S.V. *Analiz efektyvnosti vikoristannya elektroenergiyi sistemami tyagovogo elektroprivodu ERS postynogo strumu* [Assessment of the energy efficiency of the traction electric drive for electric locomotives with direct current power supply system] // Zbirnik naukovih prac' derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universitetu transportu serija transportni sistemi i tehnologii. vipusk 28 [Scientific Papers of State Technological University of Economics and Transport series transport systems and technologies. issue 28], Kiev-2016. – p. 5-12.
5. Karaschuk S.V. *Anallz sistem tyagovogo elektroprivoda elektroruhomogo skladu* [Analysis of electromotive systems for electric locomotives] // Zbirnik naukovih prac' derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo universitetu transportu serija transportni sistemi i tehnologii. vipusk 29 [Scientific Papers of State Technological University of Economics and Transport series transport systems and technologies. issue 29], Kiev-2016. – p. 96-106.
6. V.M. Bezrychenko, V.K. Vharchenko, V.V. Chumak / *Tyagovi electrichni mashinu electroruhomogo skladu*. Vud. Dniepropetr. nac. Univ. zaliz. transp. im. acad. V. Lazaryana, 2003. 252 p.
7. *Pravila tyagovyih raschetov dlya poezdnoy raboty* [Rules of traction for train work]. Moscow-1985. 287 p.
8. *Elektrovoz VL11M: Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Electric locomotive VL11M: Instruction manual]. – Moscow, 1994. 416 p.
9. Kurbasov A.S., Sedov V.I., Sorin L.N. *Proektirovanie tyagovyih elektrodvigately* [Design of traction motors]. – Moscow, 1987. 236 p.

УДК 519.683

С. М. Білан, к.т.н., професор

(професор кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту)

О. І. Левчук

(курсант с-24 взводу, С 2 курсу, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ЧИСЕЛ НА ОСНОВІ АСИНХРОННОГО КЛІТИННОГО АВТОМАТУ

В роботі розглядається генератор псевдовипадкових бітових послідовностей, який реалізований на асинхронному клітинному автоматі. Використовується околиця фон Неймана, стан якої указує напрямки передачі активного сигналу. Представлена апаратна реалізація генератора і виконано його програмне моделювання. Проведено тестовий аналіз сформованих бітових послідовностей.

Ключові слова: генератор псевдовипадкової послідовності чисел, клітинний автомат.

В работе рассматривается генератор псевдослучайных битовых последовательностей, который реализован на асинхронном клеточном автомате. Используется окрестность фон Неймана, состояние которой указывает направление передачи активного сигнала. Представлена аппаратная реализация генератора и выполнено его программное моделирование. Проведено тестовый анализ сформированных битовых последовательностей.

Ключевые слова: генератор псевдослучайной последовательности чисел, клеточный автомат.

Вступ. На сьогодні існує велика кількість генераторів псевдовипадкових чисел, які ефективно використовуються у різних галузях людської діяльності [1-8]. Реалізація генераторів має різну природу. Велика кількість розроблених генераторів псевдовипадкових чисел (ГПВЧ) обумовлена широким їх застосуванням в різних областях людської діяльності. Особливу необхідність застосування ГПВЧ мають такі області як: криптографія, захист і діагностика систем передачі даних, теорія ігор, імітаційне моделювання та у багатьох інших областях. Всі кошти і процеси, в яких використовуються ГПВЧ, можна розділити на використання отриманої послідовності випадкових чисел, як в статистиці, так і в динаміці. Використання статичної послідовності випадкових чисел є попередньою генерацією випадкових чисел і формування бази даних. Потім згенерована послідовність ефективно використовується. Існує також необхідність генерації і використання випадкових чисел в реальному масштабі часу.

Однак існуючі запити не завжди задовольняються вже існуючими генераторами. Це обумовлено труднощами досягнення оптимальних значень основних параметрів ГПВЧ. До таких основних параметрів належать:

1. Довжина періоду повторення послідовності випадкових чисел.

© Білан С. М., Левчук О. І., 2017

2. Низькі статистичні властивості сформованої послідовності.
3. Низька швидкодія.
4. Ступінь незалежності чисел послідовності.
5. Діапазон значень чисел для вибору.

Для кожної задачі можуть бути прийняті до уваги окремі характеристики, які впливають на результат рішення задачі. Вони залежать від структури ГПВЧ та алгоритму генерації бітової послідовності, а також значення має його програмна або апаратна реалізація. Наприклад, апаратна реалізація значно підвищує швидкодію, але такий підхід потребує додаткових витрат ресурсів і спеціалізованої підготовки розробника.

Аналізуючи сучасний стан розвитку ГПВЧ, а також якості їх функціонування, стає зрозумілим, що потреба у створенні та розробці нових джерел генерації псевдовипадкових послідовностей, що поєднують у собі високу швидкодію і хороші статистичні властивості формованої вихідної послідовності, досі залишається актуальною.

Постановка задачі. Завданням даної роботи є створення генератора псевдовипадкових послідовностей чисел, заснованого на клітинному автоматі, який простий у реалізації і володіє високими статистичними характеристиками і високою швидкістю.

ГПВЧ на основі КА. Для побудови ГПВЧ використовується КА. Однак існуючі генератори, побудовані на основі КА, не дають бажаних результатів [5-8]. Наприклад, ГПВЧ на основі одновимірного КА, який розробив Стівен Вольфрам [5, 6], формує цілком випадкову послідовність чисел. Однак застосування такого генератора для шифрування не дало необхідного захисту і може бути розтин шифру при відомому відкритому тексті [2, 3].

Відомі та багато досліджені ГПВЧ, які реалізують різними клітинами декілька різних локальних функцій. Такі КА називають гібридними КА (ГКА) [9]. У таких ГКА реалізуються різні варіанти еволюції КА і формуються різні псевдовипадкові послідовності. Об'єднання правил для різних клітин КА дає псевдовипадкову послідовність чисел. Однак незмінність їх функціонування і при малій загальній кількості клітин призводить до формування повторів значень. Якщо клітин, які реалізують неоднорідні локальні функції, використовується мало для реалізації правила, то бітова послідовність не виглядає як псевдовипадкова. Це доводять різноманітні тести.

Набули популярності такі підходи, які використовують інші окремі ГПВЧ, що реалізують додаткове джерело псевдовипадкової послідовності біт для КА. Фактично вони стають стартовими для роботи КА. Додаткові ГПВЧ, як правило, реалізуються на регістрі зсуву з лінійними зворотними зв'язками [10 – 13].

При всьому цьому збільшується кількість зв'язків для кожної клітини КА, що знижує надійність функціонування. Крім того, збільшення кількості клітин при аналізі спричиняє зниження швидкодії генератора. А використання додаткового генератора для перемішування реалізованого на регістрі зсуву із зворотними зв'язками зазвичай покращує його властивості. Однак це збільшує кількість зворотних зв'язків, що також знижує швидкодію. У запропонованих генераторах використовується неоднорідність, яка вимагає його жорсткої початкової настройки. Це збільшує кількість вихідних установок. Проблемою також є і те, що використання кількох КА і одного регістра зсуву в два рази ускладнює схематичну реалізацію. При цьому не показано, за яким законом здійснюється зміна станів обох КА. Фактично здійснювалося додавання за модулем 2 трьох бітів. Два біта визначаються функціями від масиву клітин, які представляли частина клітин відповідного КА, а третій біт є біт на виході генератора, реалізованого на регістрі зсуву з лінійними зворотними зв'язками. Фактично використовується три окремі генератори, вихідні біти яких є аргументами результуючої функції. Всі генератори псевдовипадкових чисел, заснованих на КА, залежать від поведінки самих КА і від особливостей їх організації.

Модель ГПВП на основі асинхронного КА. ГПВП реалізується двома складовими: самим КА та системою комутації [14]. Клітинний автомат на кожному такті змінює власний стан. Фактично у такому КА власний стан змінює тільки одна клітина, яка називається активною або збудженою. У кожний наступний момент часу активною стає та клітина, на яку указує активна клітина у поточний момент часу. Активною може стати клітина, яка входить до об'єднаної групи клітин по топологічному розташуванню. Як правило використовують клітини, що належать околиці.

Для побудови робочої моделі використовують кодування для клітин околиці (рис. 1).

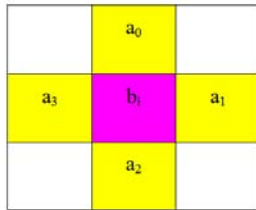


Рис. 1. Кодування клітин за околицею фон Неймана

Розглянемо поведінку системи, яка має активний стан. Кожна клітина описується такою моделлю.

$$b_i(t+1) = \begin{cases} f = b_i(t) \oplus a_0(t) \oplus b_1(t) \oplus b_2(t) \oplus b_3(t), & \text{якщо } \bigvee_{j=0}^3 C_j(t) = 1 \\ b_i(t), & \text{якщо } \bigvee_{j=0}^3 C_j(t) = 0 \end{cases},$$

де $b_i(t)$ – стан клітини у момент часу t ;

$C_j(t)$ – значення сигналу на j -му вході активації у момент часу t $j = \overline{0,3}$.

Кількість входів активації у кожної клітини визначається кількістю клітин околиці. Виникає необхідність визначення локальної функції активації, яка указує наступну активну клітину. Для досліджуваного ГПВП використовувалась околиця фон Неймана. Тобто кожна клітина мала чотири виходи активації, а отже вона виконує чотири локальних функції активації. Дані локальні функції активації описуються наступними логічними виразами

$$\begin{aligned} y_0(t+1) &= \overline{a_0(t)} \wedge \overline{a_1(t)}; \\ y_1(t+1) &= \overline{a_0(t)} \wedge a_1(t); \\ y_2(t+1) &= a_0(t) \wedge \overline{a_1(t)}; \\ y_3(t+1) &= a_0(t) \wedge a_1(t). \end{aligned}$$

У даному випадку сигнал $y_0(t)$ подається на вхід активації $C_2(t)$ верхньої клітини околиці контрольної клітини. Якщо $y_0(t+1) = C_2(t+1) = 1$, то клітина a_0 переходить у активний стан.

Таким чином, кожна клітина клітинного автомату може мати два стани: інформаційний і активний. Інформаційні стани клітин околиці вказують напрямок передачі сигналу збудження.

Програмна реалізація ГПВП на основі асинхронного КА. Згідно з побудованою моделлю розроблена програма, яка моделює процес генерації псевдовипадкової бітової послідовності на основі клітинного автомату. КА реалізований за околицею фон Неймана. Інтерфейс програми демонструє динаміку зміни станів клітинного автомату під час генерації псевдовипадкової бітової послідовності. Початковий інтерфейс програми відкривається шляхом запуску файлу Project1.exe (рис. 2).

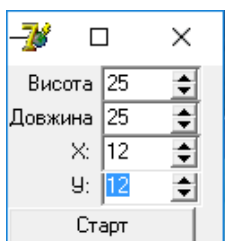


Рис. 2. Початковий інтерфейс програми «Generator_PVP_L»

За допомогою початкового інтерфейсу задаються розміри матриці та координати початкової точки. Матриця автоматично заповнюється логічними «1» та «0», які вказують початковий стан клітин. Після початкових установок ГПВЧ на екрані відображаються стани КА, поточна активна клітина та її околиця (рис. 3).

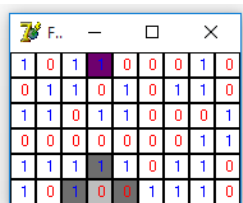


Рис. 3. Поточний інтерфейс роботи програми «Generator_PVP_L»

Програма дозволяє зберегти результати у файлі формату «txt». Приклад сформованої бітової послідовності подано на рис. 4.

```
1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1
1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0
1 1 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0
1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0
```

Рис. 4. Приклад сформованої бітової послідовності

Оцінка якості сформованих випадкових послідовностей. Є множина тестів для перевірки псевдовипадкових послідовностей, які детально описані в різних літературних джерелах [2, 3]. Усі вони поділяються на графічні і статистичні. Існує програмне забезпечення, яке розміщене на різних сайтах, які дають можливість провести оцінку потрібної послідовності чисел. До таких програм відносять: ENT, DIEHARD, RABENZIX, NIST тощо. Деякі програми оновлюються, і кількість реалізованих тестів у них збільшується. Вважається, що чим більше тестів проведено успішно, тим ближче послідовність до випадкової. Для нашого генератора були використані тести, описані програмою ENT [15]. Дана програма реалізує такі тести:

1. Обчислює ентропію. Тест описаний в роботі [16]. Згідно з цим тестом визначається розмір стиснення отриманого файлу. Послідовність вважається випадковою, якщо стиснення файлу не зменшує його розміру.

2. Chi-square Test. Даний тест дозволяє визначити величину відсотка, який вказує частоту перевищення розрахованого значення. Цей відсоток дає оцінку випадковості послідовності [17].

3. Arithmetic Mean. Простий арифметичний тест, який визначає величину, отриману в результаті розподілу суми байтів на довжину файла. Для випадкової послідовності величина має бути близькою до 0,5.

4. Monte Carlo Value for Pi. Тест визначає відсоток влучень значень в коло, вписане в квадрат. Обчислюється число Pi. Якщо це число наближається до значення 3,143580574, то послідовність визначається як випадкова.

5. Serial Correlation Coefficient. Тест визначає залежність кожного байта від попереднього. Для випадкових послідовностей ця величина прагне до 0 [17].

Для тестування було сформовано кілька послідовностей з довжиною 1000, 100000, 500000 і 1000000 біт. Усі тести для всіх послідовностей були успішними і вказали на те, що послідовності можуть вважатись випадковими. У табл. 1 представлені значення основних величин для кожного тесту для вибіркової групи послідовностей.

Таблиця 1. Результати проведених семи тестів NIST

Тест	Результат
Частотний тест	Ефективність 91%
Частотний тест по блокам	Значення $P(\text{value})=0.262$ отже послідовність випадкова
Тест Серій	Значення $P(\text{value})=0.42$ отже послідовність випадкова
Тест найдовшої серії з одиниць	Значення $\text{igamc}()=0.14$ отже послідовність випадкова
Тест на основі дискретного перетворення Фур'є	Значення $P(\text{value})=0.12$ отже послідовність випадкова
Тест рангу бінарних матриць	Значення $P(\text{value})=0.37$ отже послідовність випадкова
Спектральний тест	Значення $P(\text{value})=0.29$ отже послідовність випадкова

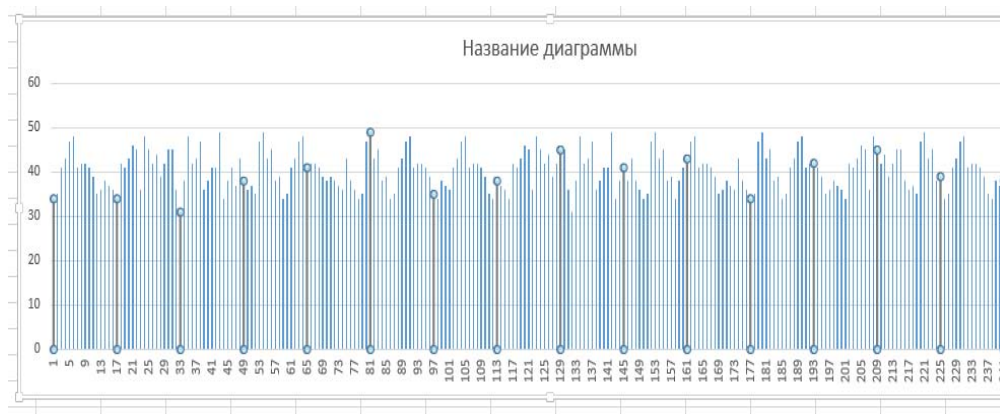


Рис. 5. Графічний тест роботи генератора

На рис. 5 показаний результат графічного тесту для 10376 чисел послідовності. Форма графіка дає можливість стверджувати, що результат є непоганим, адже нема таких чисел в діапазоні від 0 до 256, які не попадались. Загальна кількість кожного числа з цього проміжку, яке формувалося генератором, лежала в діапазоні від 34 до 49.

Висновок. У роботі представлені дослідження генератора псевдовипадкових послідовностей чисел, заснований на асинхронному КА. У даному генераторі використовується локальна функція передачі активного стану, яка дає псевдовипадкову біто-

ву послідовність з високими статистичними властивостями. Дана функція має два аргументи, які подаються станами перших двох клітин околиці. Генератор також має високу швидкодію при його апаратній реалізації. У запропонованому генераторі відсутні зворотні зв'язки, що підвищує його надійність функціонування.

Подальші дослідження. Авторами розроблено кілька модифікацій генераторів заснованих на таких КА. Ми плануємо збільшити кількість відомих тестів для якісного аналізу запропонованих генераторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Брюс Шнайер. «Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы и исходные тексты на языке С. 2-е издание». – М.: Дело, 2003. – 524 с.
2. Чугунков И.В. Методы и средства оценки качества генераторов псевдослучайных последовательностей, ориентированных на решение задач защиты информации: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2012 – 236 с.
3. Иванов М.А., Чугунков И.В. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. – 240 с.
4. von Neumann J. Various techniques used in connection with random digits // Applied Mathematics Series. Vol, 1951. – № 12. – P. 36–38.
5. L'Ecuyer P. Uniform random number generation // Annals of Operations Research. Vol, 1994. – № 53. – P. 77–120.
6. Wolfram S. Random sequence generation by cellular automata // Advances in Applied Mathematics. – 1986. – Vol. 7. – P. 123–169.
7. Lehmer D. Mathematical methods in large-scale computing units // Large-Scale Digital Calculating Machinery: Symp. proc. Harvard, 1951. – P. 141–146.
8. Thomson W. A modified congruence method of generating pseudo-random numbers // Computer Journal. Vol, 1958. – P. 83–86.
9. Cho S. J. New synthesis of one-dimensional 90/150 liner hybrid group CA / S. J. Cho, U. S. Choi, H. D. Kim, Y. H. Hwang, J. G. Kim, S. H. Heo // IEEE Transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems, 2007. – No. 25 (9). – P. 1720–1724.
10. Marsaglia G. Random number generators // Journal of Modern Applied Statistical Methods. Vol, 2003. – № 2. – P. 2–13.
11. Eichenauer J., Lehn J., Topuzoglu A. A nonlinear congruential pseudorandom number generator with power of two modulus // Mathematics of Computation. Vol, 1988. – 51. – P. 757–759.
12. Lewis T., Payne W. Generalized feedback shift register pseudorandom number algorithms // Journal of ACM. Vol, 1973. – № 21. – P. 456–468.
13. Сухинин Б. М. Высокоскоростные генераторы псевдослучайных последовательностей на основе клеточных автоматов / Б.М. Сухинин // Прикладная дискретная математика, 2010. – № 2. – С. 34 – 41.
14. S. Bilan, M. Bilan, S. Bilan. Novel pseudo-random sequence of numbers generator based cellular automata. Information Technology and Security. January-June 2015. Vol. 3. Iss. 1 (4).- P. 38–50.
15. <http://www.fourmilab.ch/random/>
16. Hamming, Richard W. Coding and Information Theory. Englewood Cliffs NJ: Prentice-Hall, 1980.
17. Knuth, Donald E. The Art of Computer Programming, Volume 2 / Seminumerical Algorithms. Reading MA: Addison-Wesley, 1969.

Stepan M. Bilan, PhD (Technical Sciences), Professor
(Professor Telecommunication Technology and Automation Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Oleg Levchuk

(Cadet of the Institute of Special Communication and Information Protection National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute»)

RESEARCH PSEUDORANDOM NUMBER GENERATOR BASED ON ASYNCHRONOUS CELLULAR AUTOMATON

The pseudorandom bit sequence generator that is implemented on asynchronous cellular automata is considered. The neighborhood von Neumann, the state of which indicates the direction of transfer of the active signal is used. The generator hardware implementation and software modeling are presented. A test analysis generated bit sequences was carried out. In the paper is presented the results test in the form of a chart that shows quite a good bit sequence generator that was formed. Designed generator is easy to use and has a high statistical characteristics and high performance. The generator has been designed with two components: by cellular automata and systems of comutation.

Keywords: generator pseudorandom sequence of numbers, cell makers.

REFERENCES

1. Bruce Schneier. «Applied cryptography. Protocols, and algorithms for language yshodnue tekstu S. 2nd edition , M. : Case 2003- 524s
2. I.V. Chuhunkov Methods and sredstva otsenki quality generators psevdosluchaynyh sequences, oriented to the decision of problems of protection of information: Uchebnoe posoby. M. : NYYAU MiFi, 2012, 236 p.
3. Ivanov M.A, Chuhunkov I.V Application and evaluation of quality generators psevdosluchaynuh posledovatelnostey, N. : KUDYTS images, 2003, 240 p.
4. von Neumann J. Various techniques used in connection with random digits [Applied Mathematics Series.] Vol, 1951, 12. P. 36-38.
5. L'Ecuyer P. Uniform random number generation [Annals of Operations Research.] Vol, 1994, 53. P. 77-120.
6. Wolfram S. Random sequence generation by cellular automata- Advances in Applied Mathematics, Vol, 1956 –7, P. 123-169.
7. Lehmer D. Mathematical methods in large-scale computing units [Large-Scale Digital Calculating Machinery: Symp. proc. Harvard] 1951, P. 141-146.
8. Thomson W. A modified congruence method of generating pseudo-random numbers [Computer Journal.] Vol, 1958, P. 83-86.
9. Cho S. J. New syntheesis of one-dimensional 90/150 liner hybrid group CA / S. J. Cho, U. S. Choi, H. D. Kim, Y. H. Hwang, J. G. Kim, S. H. Heo [IEEE Transactions on comput-aided design of integrated circuits and systems] 2007, No. 25 (9), P. 1720-1724.
10. Marsaglia G. Random number generators [Journal of Modern Applied Statistical Methods.] Vol, 2003 – 2. P. 2-13.
11. Eichenauer J., Lehn J., Topuzoglu A. A nonlinear congruential pseudorandom number generator with power of two modulus [Mathematics of Computation.] Vol, 1988 – 51. P. 757-759.
12. Lewis T., Payne W.. Generalized feedback shift register pseudorandom number algorithms [Journal of ACM.] Vol, 1973 – 21. P. 456-468.
13. Sukhinin B.M. Vusokoskorostnue generators psevdosluchaynuh sequences based kletochnuh avtomatov / BM Sukhinin [Applied discrete mathematics] 2010, No. 2, P. 34 – 41.
14. S. Bilan, M. Bilan, S. Bilan. Novel pseudo-random sequence of numbers generator based cellular automata.- Information Technology and Security. January-June 2015. Vol. 3. Iss. 1 (4).- p. 38-50.
15. <http://www.fourmilab.ch/random/>
16. Hamming, Richard W. Coding and Information Theory. Englewood Cliffs NJ: Prentice-Hall, 1980.
17. Knuth, Donald E. The Art of Computer Programming, Volume 2 [Seminumerical Algorithms. Reading MA: Addison-Wesley], 1969.

М. М. Ботвін

(аспірант Державного економіко-технологічного університету транспорту)

О. А. Герцій, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Телекомунікаційні технології та автоматика» Державного економіко-технологічного університету транспорту)

АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ МЕТОДІВ ПОКРАЩЕННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ЯКОСТІ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У статті проведено аналіз методів цифрової обробки зображень в просторовій області (просторові методи), які дозволяють підвищити якість зображень з метою полегшення їхнього візуального аналізу. Представлено лістинги моделювання даних методів у середовищі MATLAB, а також їх результати у вигляді графічних зображень та гістограм.

Ключові слова: цифрова обробка зображень, просторові методи, MATLAB.

В статті проведено аналіз методів цифрової обробки зображень в просторовій області (просторові методи), які дозволяють підвищити якість зображень з метою полегшення їхнього візуального аналізу. Представлено лістинги моделювання даних методів в середовищі MATLAB, а також їх результати у вигляді графічних зображень та гістограм.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, пространственные методы, MATLAB.

Вступ. Сьогодні в техніці немає майже жодної галузі, яку в тій чи іншій мірі не зачіпала б цифрова обробка зображень. Області використання цифрової обробки зображень настільки різносторонні, що спроба охопити їх у всій широті потребує системи викладу. Один із найпростіших способів – класифікація прикладних областей у відповідності з видами джерел, формуючих відповідні зображення (наприклад, оптичні, рентгенівські тощо). Головним джерелом енергії для формування використовуваних сьогодні зображень є електромагнітне випромінювання. Серед інших важливих енергетичних джерел, які можуть створювати зображення, згадаємо акустичні й ультразвукові (механічні) коливання, а також електронні пучки, які використовуються в електронній мікроскопії. Крім того, є цілий клас синтетичних (штучних) зображень, які синтезуються комп'ютерними програмами і використовуються для моделювання і візуалізації.

Постановка задачі. У процесі роботи з графічними зображеннями, чи це буде медицина, чи астрономія, досить часто виникає така проблема, як погана якість зображення. Високий рівень шуму, низька контрастність, розмитість контурів ускладнюють процес візуального аналізу, що, у свою чергу, може призвести, наприклад, до некоректного діагнозу лікаря під час діагностики рентген-зображення.

Отже, над даним питанням у галузі цифрової обробки зображень працюють фахівці усіх країн світу, зокрема методи покращення візуальної якості зображень широко

© Ботвін М. М., Герцій О. А., 2017

застосовуються при аналізі зображень у сфері медицини [1], астрономії [2] та інших галузях.

Мета статті. По суті, підвищення якості зображення є класичною задачею. За методами покращення зображень стоїть ідея виявлення погано помітних деталей або підкреслення характеристик, що цікавлять на вихідному зображенні. Відомим прикладом покращення є підвищення контрасту зображення, тому що в результаті «воно виглядає краще».

Просторові методи покращення якості цифрових зображень. Просторові методи – це методи, які засновані на прямому маніпулюванні пікселями зображення. У загальному випадку просторову обробку зображень можна описати рівнянням [3]:

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (1)$$

де $g(x, y)$ – зображення на виході системи обробки; $f(x, y)$ – вхідне зображення, а T – оператор над f , визначений в деякому околі точки (x, y) .

Розглянемо деякі просторові методи покращення зображень.

Градаційні перетворення. До першої групи методів поліпшення зображень відносять лінійні перетворення, наприклад, перетворення зображення в негатив, логарифмічне перетворення та ін.

При лінійному перетворенні переворот рівнів яскравості зображення створює еквівалент фотографічного негативу. Даний вид перетворення з яскравостями в діапазоні $(0, L-1)$ визначається виразом:

$$s = L - 1 - r, \quad (2)$$

де s і r – пікселі зображення до і після обробки відповідно.

За допомогою програмного середовища MATLAB проведемо моделювання даного перетворення. Для початку в середовище MATLAB, за допомогою команди `imread` [4], завантажимо зображення місцевості Z (рис. 1 а), зняте за допомогою квадрокоптера та перетворимо його із кольорового в півтонове $Z1$ (рис. 1 б), застосувавши функцію `rgb2gray`. Далі, використовуючи функцію `imadjust` перетворюємо зображення $Z1$ в негатив (рис. 1 в). На рис. 3 г) представлено результат розтягнення шкали градації між 0.5 і 0.75 на інтервал $[0, 1]$. Наприкінці, представлено зображення з більш вираженими сірими тонами з `gamma=2` (рис. 1 д).

Лістинг моделювання:

```
RGB=imread('baza.tif');
Z=rgb2gray(RGB);
Z1=imadjust(Z, [0 1], [1 0]);
imshow(Z1)
Z2=imadjust(Z, [0.5 0.75], [1 0]);
imshow(Z2)
Z3=imadjust(Z, [], [], 2);
imshow(Z3)
```



Рис. 1. Результати лінійних перетворень: а) вхідне кольорове зображення; б) півтонове зображення; в) негатив півтонового зображення; г) результат розширення інтенсивності із інтервалу $[0.5, 0.75]$; д) покращене зображення при $\gamma=2$

Логарифмічне перетворення. Логарифмічні перетворення застосовуються для розтягування діапазону значень темних пікселів на зображенні з одночасним стисненням діапазону значень яскравих пікселів. Дані перетворення описуються виразом:

$$s = c \log(1 + r), \quad (3)$$

де c – константа і $r \geq 0$.

В середовищі MATLAB для проведення такого моделювання використовується наступний вираз: $g = c \log(1 + \text{double}(f))$.

Лістинг моделювання:

```
Z1=im2uint8(mat2gray(log(1+double(Z))));  
imshow(Z1)
```



Рис. 2. Результат використання логарифмічного перетворення до півтонового зображення Z

Видозмінення гистограми. До другої групи методів покращення зображень в просторовій області відносяться такі перетворення як еквалізація гистограми.

Еквалізацією (лінеаризацією) гистограми називається перетворення виду:

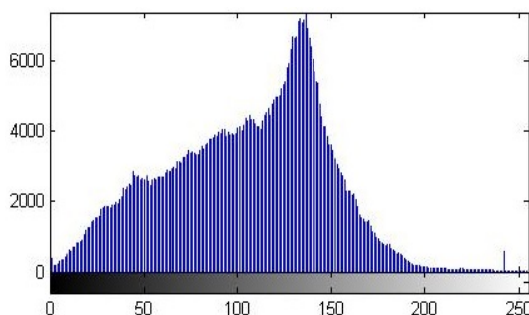
$$s_k = T(r_k) = \sum_{i=0}^k p_r(r_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}; \quad k = \overline{0, L-1}, \quad (4)$$

де n – загальне число пікселів на зображенні, n_i – число точок яскравості r_i , а L – число рівнів яскравості.

Для моделювання процесу еквалізації гистограми спочатку відобразимо гистограму півтонового зображення $Z1$ (рис. 3 а), а тоді застосуємо цей метод за допомогою функції `histeq`. Відобразимо півтонове зображення $Z1$ після еквалізації (рис. 3 б) та саму еквалізовану гистограму (рис. 3 в).

Лістинг моделювання:

```
figure, imhist(Z)
ylim('auto')
Z1=histeq(Z, 256);
figure, imshow(Z1)
figure, imhist(Z1)
```



а)



б)

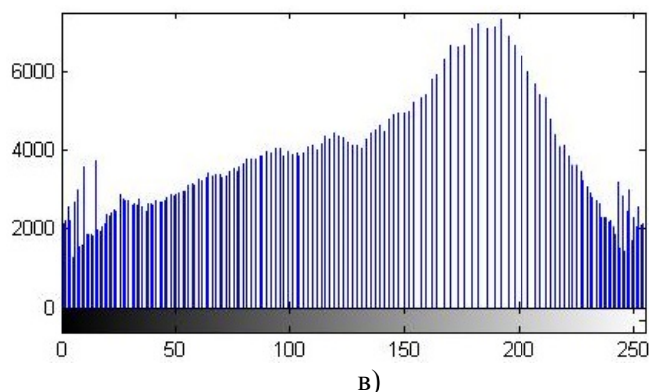


Рис. 3. Ілюстрація гістограмної еквалізації: а) гістограма півтонового зображення Z; б) зображення після еквалізації; в) еквалізована гістограма

Покращення зображення за допомогою оператора Лапласа. Даний тип поліпшення відноситься до методів лінійної просторової фільтрації та дозволяє візуально покращити зображення, шляхом підвищення різкості за наступною формулою:

$$g(x, y) = f(x, y) + c \nabla^2 f(x, y), \quad (5)$$

де $f(x, y)$ – вихідне зображення, $g(x, y)$ – покращене зображення, а параметр c дорівнює 1, якщо центральний коефіцієнт маски позитивний, і $c = -1$, якщо навпаки.

Лістинг моделювання:

```
w = fspecial('laplacian', 0);
w = [0 1 0; 1 -4 1; 0 1 0];
Z1 = imfilter(Z, w, 'replicate');
imshow(Z1, [])
Z2 = im2double(Z);
Z3 = imfilter(Z2, w, 'replicate');
imshow(Z3, [])
Z4 = Z2 - Z3;
imshow(Z4)
```



Рис. 4. Використання оператора Лапласа для покращення зображення шляхом віднімання відфільтрованого зображення Z3 із вихідного Z2

Висновки та пропозиції. Із проведеного аналізу над вищенаведеними просторовими методами покращення візуальної якості цифрових зображень можна зробити висновки, що найкращим методом у даному випадку можна вважати покращення зображення за допомогою оператора Лапласа, оскільки даний метод робить зображення більш різкішим, контури елементів стали більш чіткішими, що в свою чергу підкреслює деталі зображення. Але й не варто забувати і про інші методи, які можуть показати себе краще за рахунок їхнього використання в інших умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Du-Yih Tsai, Eri Matsuyama, Hsian-Min Chen. Improving Image Quality in Medical Images Using a Combined Method of Undecimated Wavelet Transform and Wavelet Coefficient Mapping. International Journal of Biomedical Imaging Volume 2013 (2013), Article ID 797924, 11 pages.
2. Roberto Marazzato, Amelia Carolina Sparavigna. Astronomical image processing based on fractional calculus: the AstroFracTool.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.

Maxim Botvin

(Postgraduate of State University for Transport Economy and Technologies)

Olexander Gertsy, PhD (Technical Sciences), Associate Professor

(Associate Professor «Department of Telecommunications Technologies and Automatics», State University for Transport Economy and Technologies)

ANALYSIS OF THE SPATIAL METHODS FOR IMPROVING VISUAL QUALITY OF THE DIGITAL IMAGES

In the article described the analysis of the spatial methods, which are based on direct manipulation of pixels in an image. They are used in digital imaging processing and allow to improve the quality of the digital images to facilitate visual analysis. Are considered and modeled such processing methods in the spatial domain, as the gradation conversion (linear and logarithmic transformation), histogram modification (equalization) and image enhancement by using of the Laplace operator. Also presents listings of modeling of these methods in MATLAB. Reflects the results of modeling in the form of images and histograms.

Keywords: digital image processing, spatial methods, MATLAB.

REFERENCES

1. Du-Yih Tsai, Eri Matsuyama, Hsian-Min Chen. Improving Image Quality in Medical Images Using a Combined Method of Undecimated Wavelet Transform and Wavelet Coefficient Mapping. International Journal of Biomedical Imaging Volume 2013 (2013), Article ID 797924, 11 pages.
2. Roberto Marazzato, Amelia Carolina Sparavigna. Astronomical image processing based on fractional calculus: the AstroFracTool.
3. Gonzalez R., Woods R. Digital image processing, M. : Technosphere, 2005, 1072 p.
4. Gonzalez R., Woods R., Eddins S. Digital image processing in MATLAB, M. : Technosphere, 2006, 616 p.

УДК 04.25: 004.252; 004.258

*Л. Ф. Мараховський, д.т.н., професор
(професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», Державний економіко-технологічний університет транспорту)*

Н. О. Бутрик

(магістр, Державний економіко-технологічний університет транспорту)

СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ БАГАТОРІВНЕВИХ СХЕМ ПАМ'ЯТІ ІЗ ЗАГАЛЬНИМ АВТОМАТОМ СТРАТЕГІЇ

У публікації розкрито суть теорії побудови багаторівневих схем пам'яті, як приклад промодельовано 1 клас багаторівневих схем. Здійснено порівняння та аналіз можливості роботи тригера і БФСП із загальним автоматом стратегії багаторівневих схем пам'яті. Розглянуті методи синтезу БФСП і БРСП за їхнім символьним описом, що дозволяє формалізувати їх проектування з урахуванням обмежень логічних елементів за кількістю вузлів та навантажувальної здатності. Досліджено існуючі схеми елементної бази комп'ютерів (нових багаторівневих схем пам'яті), а також нові розробки Мараховського Л.Ф. в галузі створення синтезу та аналізу багатофункціональних і багаторівневих схем пам'яті.

Ключові слова: багаторівнева схема пам'яті, нова елементна база, автомат стратегії.

В публикации раскрыта суть теории построения многоуровневых схем памяти, а также в качестве примера промоделирован 1 класс многоуровневых схем. Проведено сравнение и анализ возможности работы триггера и БФСП с общим автоматом стратегии многоуровневых схем памяти. Рассмотрены методы синтеза БФСП и БРСП по их символьным описаниям, что позволяет формализовать их проектирование с учетом ограничений логических элементов по количеству узлов и нагрузочной способности. Исследованы существующие схемы элементной базы компьютеров (новых многоуровневых схем памяти), а также новые разработки Мараховского Л.Ф. в области создания синтеза и анализа функциональных и многоуровневых схем памяти.

Ключевые слова: многоуровневая схема памяти, новая элементная база, автомат стратегии.

Постановка проблеми. Уже понад 70 років в обчислювальній техніці при побудові інтегральних і надвеликих інтегральних схем і пристроїв використовується елементна база з пам'яттю на тригерах. І сама двійкова пам'ять (тригери), і пристрої на них мають низку фундаментальних обмежень, таких як: недостатня надійність тригерів, а отже, і пристроїв на них; послідовність обробки інформації, яка обумовлена зміною станів у тригерах тільки по одній змінній $x(t)$; незмінюваність алгоритму роботи тригера, що змушує зниження швидкодії в реконфігуровних пристроях, які реалізуються

© Мараховський Л. Ф., Бутрик Н. О., 2017

на автоматному рівні; використання при аналізі роботи тригера і пристроїв на ньому автоматного дискретного часу, в якому сигнал $e(\Delta)$ збереження станів у тригерах (по-рожнє слово нульової довжини) не враховується в практиці проектування. Зараз аналіз нової елементної бази з пам'яттю на БФСП і БРСП, яка створює надійні схеми пам'яті, відповідно, пристрої на них, дослідження працездатності багаторівневих схем пам'яті, які дозволяють підвищити надійність, швидкодію, гнучкість у реконфігурованих пристроях і дають можливість паралельно запам'ятовувати і обробляти ієрархічну інформацію, є актуальною проблемою для побудови інтегральних схем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше були запропоновані новітні теорії побудови схем пам'яті професором Мараховським Л.Ф. в кінці 90-х років ХХ ст., які знімають перераховані обмеження відомої елементної бази. Це такі елементарні пристрої пам'яті, як: багатофункціональні і багаторівневі схеми пам'яті (БФСП і БРСП). Також робота пристроїв описувалась послідовними автоматами Мілі (1-го роду) і Мура (2-го роду); використовувався при послідовній обробці інформації в обчислювальних пристроях принцип програмного управління, запропонований Чарльзом Беббіджем 1833 р. при розробці аналітичної машини.

Мета статті. Перспективним і актуальним напрямом розвитку схем з пам'яттю є створення на основі БФСП багаторівневих схем пам'яті (БРСП), які є основою для вирішення актуального завдання: запам'ятовувати загальну і приватну інформацію за один машинний такт T , що принципово не можна виконати на комп'ютерних пристроях з пам'яттю на тригерах.

Виклад основного матеріалу дослідження. У комп'ютерах і нейрокомп'ютерах завжди порівнювалася структура і функція пам'яті з пам'яттю живих організмів, пам'ять яких має кращу вибірковість, більшою економічністю і корисністю.

У комп'ютерах широко використовують монофункціональні елементарні автомати Мура (тригери), що володіють повною системою переходів і виходів з двома внутрішніми станами, які зберігаються при одному вхідному сигналі.

Актуальним напрямом усунення обмеження двійкових схем пам'яті стала розробка багатофункціональних схем пам'яті.

Сучасні комп'ютерні та нейрокомп'ютерні системи, побудовані на сучасній базі, використовують послідовну інформацію у вигляді вхідних інформаційних сигналів $x(t)$ і використовують цю інформацію в автоматному дискретному часі. Насправді інформація ієрархічна і є третім елементом Всесвіту разом з матерією і рухом.

Професор Мараховський Л.Ф. створює новий напрям в галузі цифрової обчислювальної техніки, в якому розглядаються питання запам'ятовування і обробки ієрархічної інформації, вже майже сорок років. Робота за новим напрямом в галузі обчислювальних машин Мараховським Л. Ф. почалася 1977 р. Вперше розроблені автором теорії мікросинтезу і аналізу багаторівневих елементарних схем пам'яті (БРСП).

БРСП мають напівзакриту структуру. БРСП дозволяють зберігати загальну і окрему інформацію одночасно, володіють гнучкістю, вибірковістю, підвищеною надійністю, меншими витратами логічних елементів на один стан та відрізняються в позитивний бік від асинхронного RS -тригера. Методи, закладені в цю теорію, дозволяють розробнику за критеріями кількості станів або за кількістю перебудованих підмножин станів без особливих зусиль спроектувати структуру і функціональну схему пам'яті.

Створення теорії побудови базових багатофункціональних схем пам'яті (БФСП) і на їх основі теорії побудови багаторівневих схем пам'яті (БРСП) розширює сучасні основи обчислювальної техніки та надає якісно нові можливості. Вони здатні підвищити швидкість перебудови алгоритмів функціонування комп'ютерних пристроїв, розширити функціональні можливості систем, збільшити тривалість існування систем на різних рівнях обробки інформації, а також здійснити одночасну обробку загальної та часткової інформації на основі ієрархічного принципу програмного

управління, що принципово неможливо здійснити на комп'ютерних пристроях з пам'яттю на тригерах.

Вперше методику моделювання комп'ютерних схем застосував в 1962 р. молодий вчений к.т.н. Мацевітій Л.В. при розробці «Малої інтегруючої машини (МІМ)». У 1970 р. на основі цієї методики під керівництвом Мараховського Л.Ф. були розроблені програми по моделюванню цифрових схем, на основі яких моделювалися великі інтегральні схеми і схеми обчислювальної машини. В даний час використовують програму імітаційного моделювання в електроніці (Electronics Workbench).

Основні поняття. БРСП є ієрархічною та напіввідкритою структурою, що має можливість перебудовувати структуру запам'ятовування станів, а, отже, і змінювати напрям активної вихідної інформації за певними вихідними вузлами. БРСП має два набори вхідних сигналів: встановлюючих і зберігаючих. Необхідно відзначити аналогію БРСП з живою клітиною (нейроном), яка теж має два набори вхідних сигналів: збуджуючих і гальмуючих, а також безліч вихідних сигналів, які спрямовані за певними напрямками до інших нейронів.

Одноступінчаті БРСП використовують кілька з'єднаних по вертикалі БФСП, які можна синхронізувати одним сигналом. БРСП може бути одно- і двоступенева. У символному описі одно- і двоступеневі БРСП відображаються відповідно 1с і 2с. У символному описі структура БРСП зображується в такому порядку:

- 1) $(K-1)у$ або $(K-1)б$ – відображає K -рівневі структури БРСП;
- 2) A_{k-1}, A_{k-2}, A_0 – відображає символний опис кожної структури МФСП, починаючи з верхнього рівня БРСП.
- 3) τ_i ($i = 0, 1, 2$) – відображає перший (або другий) щабель синхронізуючих БРСП сигналом τ_1 (або τ_2) або асинхронну БРСП – $\emptyset$ символом;
- 4) R_c ($R = 1, 2$) – відображає одно- або двоступеневі структури БРСП.

Символьні описи БФСП і БРСП ($p > 2$) є ключовими при описі будь-якого класу БРСП.

Визначення параметрів багаторівневих схем пам'яті за символним описом. З символного опису верхньої БРСП можна визначити кількість станів всієї БРСП, запам'ятовуються за такою формулою:

$$M = m_k \cdot r_e \quad - - - (1)$$

де m_k – кількість розрядів у символному описі МФСП верхньої;

r_e – кількість наборів зберігають $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів верхньої БРСП, за формулою визначаються.

Кількість БРСП станів, які запам'ятовуються, також можна визначити за кількістю розрядів у символному описі кожної БФСП за такою формулою:

$$M = \prod_{i=1}^K m_i \quad - - (2)$$

де m_i ($i = 1, 2, \dots, K$) – кількість розрядів у символному описі БФСП всього БРСП;

M – кількість станів БРСП, які запам'ятовуються.

Інший спосіб знаходження кількості M запам'ятовуються станів БРСП можна визначити за формулою, яка складається з того, що спочатку визначається кількість розрядів у числах символного опису БРСП, а потім знаходимо їх похідну. Нижні БРСП мають у кожному розряді тільки по одному логічному елементу, то такі БРСП є напівзакритими структурами. БРСП має ще внутрішній багатofункціональний зв'язок, і запам'ятовують всі свої стани при одному наборі зберігаючих $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів,

коли на всіх вхідних вузлах сигнал дорівнює логічному нулю, тобто є неактивним. Для збереження станів керованої БФСР при створенні символьного опису автомата стратегії (БФСР нижніх) необхідне дотримання співвідношення:

$$r_e \leq M,$$

де r_e – кількість наборів зберігають $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів БФСР верхнього рівня БФСР;

M – кількість станів БФСР нижніх рівнів БФСР, які запам'ятовуються.

Процес пошуку символьних описів нижніх БФСР закінчується, коли кількість наборів зберігають $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів найнижчих СР становить одиницю. Коли знайдено символьний опис всіх БФСР в БФСР, то за формулою можна визначити кількість станів отриманої БФСР.

Розробка методу синтезу багаторівневих схем пам'яті за символьним описом.

При синтезі БФСР на базі К-входних логічних елементів І-НІ або АБО-НІ з навантажувальною здатністю Р1 і R-входних логічних елементів І чи АБО з навантажувальною здатністю Р2 необхідно враховувати обмеження використовуваних логічних елементів. Для синтезу по символьному опису БФСР необхідно спочатку перевірити допустимість синтезу БФСР, який входить в склад БФСР, з урахуванням обмежень логічних елементів, а потім виконати проектування БФСР з відповідним символьним описом. Суть синтезу БФСР на БФСР полягає в знаходженні ієрархічних зв'язків між вихідними вузлами нижніх БФСР і вхідними вузлами верхніх БФСР. Для БФСР класу з'єднання між вихідними вузлами нижніх БФСР з верхніми здійснюється з урахуванням активних наборів зберігають $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів. Вихідні вузли нижніх БФСР з'єднують з вхідними вузлами верхніх БФСР окремих груп верхніх БФСР, в яких кількість елементів більше одиниці ($q > 1$). Виконуючи з'єднання між рівнями в БФСР, отримуємо асинхронну одноступеневу БФСР, яку можна зробити синхронною і двоступеневою схемою пам'яті, як це виконується в двоступеневих RS-тригерах. У символьному описі БФСР достатньо даних для того, щоб виконати синтез БФСР, визначити кількість станів, які запам'ятовуються, побудувати функціональну схему з безпосередніми зв'язками, а далі за допомогою математичного моделювання визначити закон функціонування синтезованої БФСР.

Синтез БФСР складається з таких кроків:

1) Визначаємо символьний опис верхньої БФСР при заданій кількості станів БФСР, які запам'ятовуються.

2) проектуємо символьний опис нижніх БФСР і на їх основі проектуємо символьний опис БФСР.

3) За символьним описом БФСР, що входять в опис БФСР, проектуємо БФСР на певних логічних елементах, дотримуючись при цьому обмеження самих логічних елементів за кількістю входів і навантажувальними здібностями.

4) Визначивши активні сигнали, зберігають вхідні сигнали БФСР, здійснюємо з'єднання між вихідними вузлами нижніх БФСР і наборами, зберігають вхідні сигнали логічних елементів верхніх БФСР в асинхронній одноступінчатій БФСР.

5) Якщо за символьним описом БФСР синхронізована, то встановлюють вхідні вузли асинхронної БФСР, з'єднують з вхідними вузлами через схеми І, сприймають додатково синхроімпульс.

6) Якщо за символьним описом БФСР двоступенева, то проектуємо другу сходинку БФСР, аналогічну першому ступеню, і вихідні вузли першого ступеня БФСР з'єднуємо разом з синхроімпульсом через схеми з установчими вхідними вузлами другого ступеня БФСР.

Розглянуті методи синтезу БРСП за символьним описом, що дозволяє формалізувати їх проектування з урахуванням обмежень логічних елементів за кількістю вузлів та навантажувальної здатності. У БРСП реалізується принцип ієрархічного програмного управління, що дозволяє обробляти приватну інформацію в верхніх БФСР одночасно із загальною інформацією в нижніх БФСР, що принципово їх відрізняє від тригерів.

Принцип структурної організації елементарних БРСР. Дослідження роботи тригерів, БФСР і БРСР зводяться до розгляду методів організації перемикання цих схем пам'яті в новий стан. Принцип структурної організації елементарних багаторівневих схем пам'яті полягає в їх розбитті на керуючі і керовані багатофункціональні схеми пам'яті (БФСР). Сутність принципу запам'ятовування станів у багаторівневій схемі пам'яті з багатофункціональною системою організації полягає в тому, що наборами встановлюють $x_i(t)$ вхідних сигналів стану керованих БФСР A_i запам'ятовуються тільки в тому випадку, коли вони належать блокам ті станів, що запам'ятовуються під впливом набору зберігає $e_j(\Delta)$ вхідного сигналу, що генерується керованою БФСР A_k . Багаторівнева схема пам'яті з багатофункціональною системою організації визначає таку структуру, в якій багатофункціональний режим роботи одного пристрою визначається іншим пристроєм, так званим автоматом стратегії A_m . Автомат стратегії A_m в багаторівневих схемах пам'яті може бути моно- або багатофункціональна схема пам'яті. Структуру багаторівневих схем пам'яті з багатофункціональною системою організації можна визначити як схему, яка зберігає на різних рівнях загальну (в автоматі стратегії A_m) і приватну (в керованій БФСР) інформацію.

Метод проектування загального автомата стратегії для всієї багаторівневої схеми пам'яті. При реалізації автомата стратегії A_m на структурах багатабільних схемах пам'яті (БСП) досить знати потрібну кількість re наборів зберігаючих $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів для керованої БФСР A_y , щоб застосувати re стану в МСП, яку використовують як автомата стратегії A_m . Розглянемо БСП на 9 станів, як автомат стратегії A_m , з метою організації та генерації дев'яти $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів для керованої БФСР A_y . Набори встановлюють $x_i(t)$ вхідних сигналів для дев'ятистабільного тригера, побудованого на елементах АБО-НЕ, характеризуються тим, що на кожен вхідний вузол z_i подається логічна одиниця, крім одного вузла z_k , на який подається логічний нуль. В цьому випадку активні логічні одиниці встановлюють на виходах своїх елементів значення вихідного сигналу рівного логічному нулю, які по ланцюгу зворотного зв'язку разом з вхідним сигналом z_k ($z_k=0$) встановлюють на виході цього елемента значення логічної одиниці. Набір зберігає $e_j(\Delta)$ вхідного сигналу для БСП дорівнює нулю на всіх вхідних вузлах Z_1 ($z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = z_7 = z_8 = z_9 = 0$), при якому зберігаються всі дев'ять станів автомата стратегії. Набори встановлюють $x_i(t)$ вхідних сигналів однозначно встановлюють стану БСП, дев'ять з яких зберігаються при одному вхідному сигналі $e_j(\Delta)$. Функціонування таких БСП задається як елементарний автомат 2-го роду, який має повну систему входів і виходів. Таким чином, сутність методу проектування автомата стратегії A_m для всієї БФСР полягає у визначенні БСП з M станами, кількість яких відповідає кількості наборів зберігаючих $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів керованої БФСР A_y . Дворівнева схема пам'яті при автоматі стратегії A_m для всієї БФСР синтезується з керованою МФСП A_y відповідно до структурної схемою, зображеної на рис. 1

Дворівнева схема пам'яті БРСР складається з двох БФСР (або з однієї БФСР і одного БСП). Встановлюють вхідні шини двох БФСР можуть бути об'єднані в загальну установчу вхідну шину БРСР, а вихідні вузли керованої БФСР (автомата стратегії) A_m відповідно з'єднані з вхідною шиною керованої БФСР A_y , на яку подаються набори зберігаючих $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів. Взаємозв'язок між вихідними вузлами автомата стратегії A_m і вхідними вузлами керованої БФСР A_y здійснюється вхідний шиною керованої БФСР A_y відповідно за набором зберігаючих $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів, які визна-

чаються в процесі математичного аналізу функціонування БФСР A_y . Установчі вхідні вузли БФСР A_y і БФСР A_m можуть бути об'єднані в загальну установчу вхідну шину дворівневої схеми пам'яті. Таким чином, дворівнева схема пам'яті, що складається з керуючої БСП (автомата стратегії) A_m на дев'ять станів і керованої БФСР A_y , що має дев'ять зберігаючих вхідних сигналів, представлена на рис. 2.

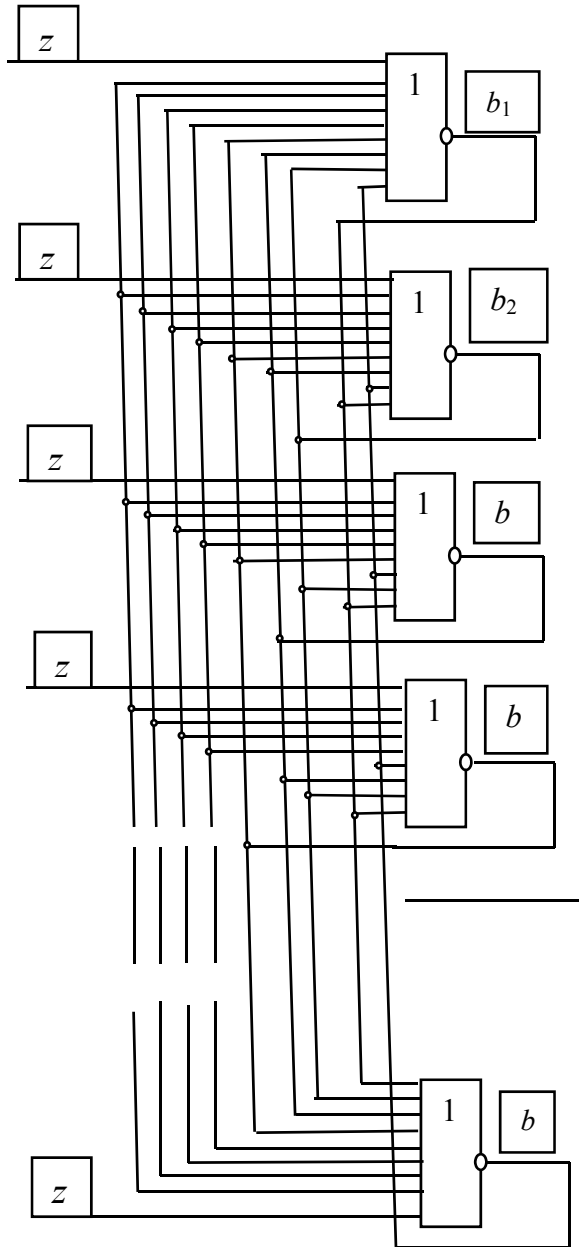


Рис. 1. Автомат стратегії на БСП

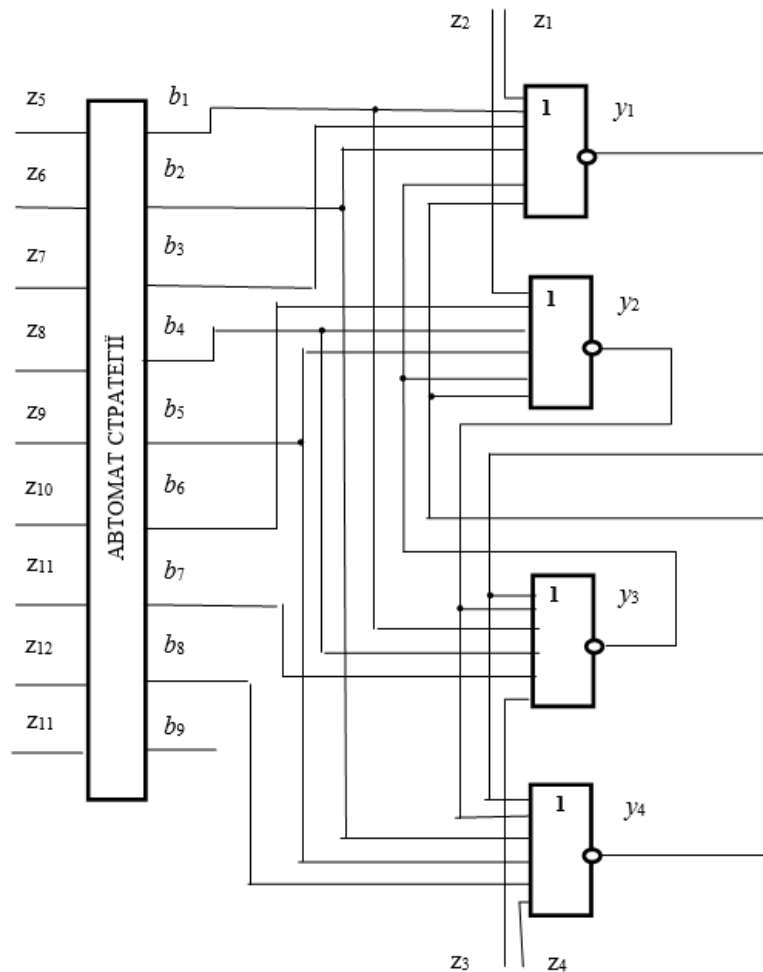


Рис. 2. Дворівнева схема пам'яті

Моделювання багаторівневої схеми пам'яті із загальним автоматом стратегії на комп'ютері. У загальному випадку дворівневу схему пам'яті (рис. 2) можна розглядати як БСП на 18 станів. Це пов'язано з тим, що пам'ять запам'ятовує всі свої статки при одному наборі зберігає $e_f(\Delta)$ вхідного сигналу. Крім того, автомат стратегії A_m запам'ятовує загальну інформацію, а керована БФС A_y – приватну, структуру запам'ятовування станів якої можна змінювати. Дворівнева схема пам'яті може здійснювати однозначні і укрупнені переходи в БФС A_y за двома змінним x і e , чого не можуть здійснювати тригери. Крім того, на 18 БСП має 18 станів і 18 вхідних вихідних вузлів, а також використовує 18 логічних елементів. У разі дворівневої схеми пам'яті використовуються 13 і 11 вхідних вхідних вузлів, а також використовується 13 логічних елементів, що значно менше, ніж в БСП. Кількість внутрішніх зв'язків між БАІ (логічних елементів) в БСП на 18 станів становить $18 \times 17 = 306$, а в дворівневої схеми пам'яті $20 + 8 \times 9 = 92$.

Таким чином, дворівнева схема пам'яті класу має значні переваги, як за апаратними, так і за функціональними характеристиками, порівнянно з БСП. Автомат стратегії A_m , у свою чергу, може бути багаторівневим, що дозволяє знизити обмеження на базові автомати за кількістю вхідних вузлів (елементів І-НІ і / або АБО-НІ).

Класифікація базових елементарних схем пам'яті. У зв'язку з розробкою великої кількості асинхронних базових схем пам'яті наведемо їхню класифікацію. Найбільш загальним випадком асинхронних базових схем пам'яті є базова схема пам'яті БРСП, яка створюється з БФСП і однофазних БСП. БФСП є, у свою чергу, більш загальним випадком по відношенню до однофазних БСП, окремим (мінімальним) випадком яких є схема асинхронного тригера *RS*-типу. У зв'язку з тим, що БРСП запам'ятовує всі свої стани при одному наборі зберігаючого $e_i(\Delta)$ вхідного сигналу, як БСП, то доцільно їх порівнювати і характеризувати одним рядом параметрів:

- кількість логічних елементів, які необхідні для побудови схем пам'яті, яка запам'ятовує M станів;
- робоча частота перемикання (F_p);
- максимальна здатність навантаження по виходах (N_O);
- кількість внутрішніх зв'язків ($S_{внутр.с}$)
- кількість зовнішніх зв'язків ($S_{неш.с}$)
- кількість елементів на один стан (L).

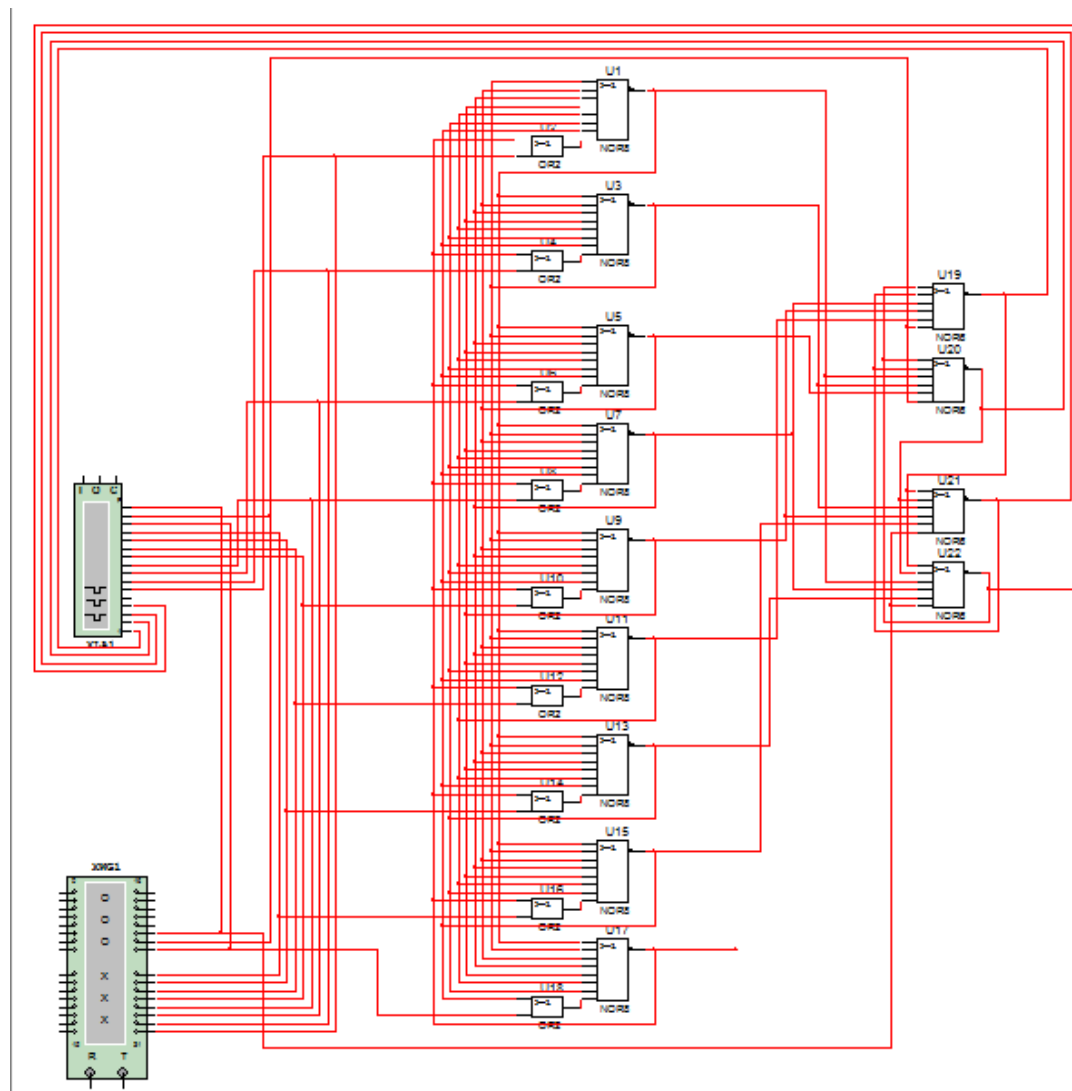


Рис.3. Багаторівнева схема пам'яті із загальним автоматом стратегії

Висновок. Впровадження теорії мікросинтезу і аналізу багатфункціональних і двох класів багаторівневих схем пам'яті (БРСП), які мають відкриту і напівзакриту структуру, дозволяють зберігати загальну і окрему інформацію одночасно, володіють гнучкістю, вибірковістю, підвищеною надійністю, меншими витратами логічних елементів на один стан, та відрізняються в позитивну сторону від асинхронного RS-тригера. Методи, закладені в цю теорію, дозволяють розробнику за критеріями кількості станів або за кількістю перебудов підмножин станів без особливих зусиль спроектувати структуру і функціональну схему пам'яті. Розглянуті методи синтезу БФСР і БРСР за їх символічним описом, що дозволяє формалізувати їх проектування з урахуванням обмежень логічних елементів за кількістю вузлів та навантажувальної здатності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. – 476 с.
2. Справочник по цифровой вычислительной технике: (процессоры и память) / Б.Н. Малиновский, Е.И. Брюхович, Е.Л. Денисенко и др. / Под ред. Б.Н. Малиновского. – К.: «Техніка», 1979. – 366 с.
3. Мараховский Л.Ф. Многоуровневые устройства автоматной памяти. I ч. – Киев: УСиМ. – № 1. – 1998. – С. 66-72.
4. Мараховский Л.Ф. Многоуровневые устройства автоматной памяти. II ч. – Киев: УСиМ. – № 2. – 1998. – С. 63-69.
5. Брюхович Е.И. Будущее вычислительной техники, каким оно представляется в естественных законах и научном предвидении. // Праці міжнародного симпозіуму з історії створення перших ЕОМ та внеску європейців в розвиток комп'ютерних технологій – К.: «Феникс» УАІНП, 1998. – С. 344-349.
6. Мараховський Л.Ф., Москвін М.В. Три научных направления в области обработки информации // «ІНТЕРНЕТ-освіта-наука-2012», восьма міжнародна науково практична конференція ІОН-2012, 1-5 жовтня, 2012: Збірник праць. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – С. 215-219.
7. Мараховський Л.Ф., Москвін В.В. Комп'ютерні інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Навчально-методичний посібник для магістрів спеціальності 8.05020203 «Автоматика та автоматизація на транспорті (залізничний транспорт)». – К.: ДЕТУТ, 2015. – 127 с.
8. Мараховський Л.Ф., Михно Н.Л. Основы новой информационной технологии. Фундаментальные основы проектирования реконфигурируемых устройств компьютерных систем и искусственного нейрона – Germany: Saarbrücken, LAP LAMBERT, 2012. – 347 с.

Leonid F. Marahovskij, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Professor Automation and Computer-Integrated Technology of Transport Chair, State
University for Transport Economy and Technologies)
Butryk N.
(Master, State University for Transport Economy and Technologies)

STRUCTURAL ORGANIZATION MULTILEVEL SCHEMES WITH MEMORY GENERAL AUTOMATA STRATEGY

The publication revealed the essence of the theory of building a multilevel memory circuits, as well as an example of simulated multi Grade 1 circuits. Comparison and analysis capabilities of the trigger and the gun BFSP with the general strategy of multilevel memory circuits. The methods of synthesis and BFSP BRSP on their character description that allows to formalize their design with the limitations of logic elements by the number of units and load capacity. The existing circuit components computers (new multilevel memory circuits), as well as new developments Marahovskoho L. in the field of synthesis and analysis and multi-tiered storage schemes.

Keywords: multi-level memory circuit, the new element base, the device strategy.

REFERENCES

1. *Glushkov V.* Synthesis of digital automata [Synthesis of digital automata] Moscow: Fizmatgiz, 1962, 476 p.
2. Reference book on digital computers: (processors and memory) [Reference book on digital computing: (processors and memory)] *B. Malinovsky, E. Bryukhovich, E. Denisenko and others. B. Malinovsky*, Kiev, «Tech», 1979, 366 p.
3. *Marakhovsky L.* Multilevel devices of automatic memory. I part, Kiev: USIM, No. 1, 1998, P. 66-72.
4. *Marakhovsky L.* Multilevel devices of automatic memory. II part, Kiev: Usim, No 2, 1998, P. 63-69.
5. *Bryukhovich E.* The future of computing, as it appears in natural laws and scientific foresight. // Proceedings of the International Symposium on the history of the first computer and the contribution of Europe to the development of computer technology, Kiev, pub. «Phoenix» UAYNP, 1998, P. 344-349.
6. *Marakhovsky L., Moskvina M.* Three scientific directions in the field of information processing // «INTERNET-Osvita-nauka-2012», the eighth international scientific practical conference IOH-2012, 1-5 жовтня, 2012: Zbirnyk prats'. – Vinnytsya: VNTU, 2012, p. 215-219.
7. *Marakhovsky L., Moskvina V.* Computer information management systems for rail transport: Textbook for masters of specialty 8.05020203 «Automation and automation of transport (rail)» , Kiev, DETUT, 2015, 127 p.
8. *Marakhovsky L., Mikhno N.* Fundamentals of the new information technology. Fundamental basics of designing reconfigurable devices of computer systems and artificial neuron- Germany: Saarbrücken, LAP LAMBERT, 2012, 347 p.

*Л. Ф. Мараховський, д.т.н., професор
(професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», Державний економіко-технологічний університет транспорту)*

*С. В. Оляновський
(магістр, Державний економіко-технологічний університет транспорту)*

*Б. О. Косминін
(магістр, Державний економіко-технологічний університет транспорту)*

СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ НОВІТНІХ СХЕМ ПАМ'ЯТІ

У статті розглянуто новітні багатофункціональні схеми пам'яті, які знімають обмеження відомої елементної бази на тригерах. Ці схеми мають менші витрати апаратури на один стан пам'яті, а також мають відкриту структуру та можливість змінювати підмножину станів, що не в змозі виконувати тригер існуючої елементної бази, а також мають матричну структуру запам'ятовування станів. Крім того, вони працюють в автоматному безперервному часі, мають відкриту структуру, зменшують апаратні витрати на один запам'ятовуючий стан на 33%; збільшують функціональні можливості (за рахунок реконфігуруємих підмножин в матричній структурі запам'ятовуючих станів), здійснюючи перебудову структури запам'ятовування станів. Крім цього, БФСП володіють підвищеною надійністю (мінімум на 50%) і живучістю, що дуже важливо для використання їх при побудові ком-п'ютерних систем для таких важливих об'єктів, як: атомні станції, повітряний і залізничний транспорт, космонавтика, що немало важливо для безпеки будь-якої країни.

Ключові слова: багатофункціональна схема пам'яті, тригер.

Впервые предложены новейшие многофункциональные схемы памяти, которые снимают ограничения известной элементной базы на триггерах. Эти схемы имеют меньшие расходы аппаратуры на одно состояние памяти, а также имеют открытую структуру и возможность изменять подмножество состояний, не в состоянии выполнять триггер существующей элементной базы, а также имеют матричную структуру запоминания состояний. Кроме того, они работают в автоматном непрерывном времени, имеют открытую структуру, уменьшают аппаратные затраты на один запоминающее состояние на 33%; увеличивают функциональные возможности (за счет реконфигуруемых подмножеств в матричной структуре запоминающих состояний), осуществляя перестройку структуры запоминания состояний. Кроме этого, БФСП обладают повышенной надежностью (минимум на 50%) и живучестью, что очень важно для использования их при построении ком-пьютерных систем для таких важных объектов, как: атомные станции, воздушный и железнодорожный транспорт, космонавтика, что немаловажно для безопасности любой страны.

Ключевые слова: Многофункциональная схема памяти, триггер.

© Мараховський Л. Ф., Оляновський С. В., Косминін Б. О., 2017

Постановка проблеми. Цифрова обчислювальна техніка на сучасному етапі розвитку суспільства є матеріальною основою діяльності будь-якого спеціаліста у всіх галузях народного господарства, а особливо для спеціаліста в області економічної інформатики і автоматизованих систем управління. Відповідно, однією з головних складових цифрової обчислювальної техніки є питання надійності двійкових схем пам'яті. В даний час, широко використовується стара елементна база з пам'яттю на тригерах, які створюють ненадійність пристроїв комп'ютерної техніки. Відповідно, актуальною проблемою є досліджувати працездатність нового покоління схем пам'яті. Такі схеми були запропоновані в кінці 90 років XX ст. професором Мараховським Л.Ф. Нова інформаційна технологія потребувала пояснення нових термінів і нових понять, які необхідно зрозуміти спеціалістам в області комп'ютерних систем. Теорія побудови, аналізу і синтезу схем автоматної пам'яті є новим, недослідженим в обчислювальній техніці науковим напрямом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час, коли ще використовується стара елементна база з пам'яттю на тригерах, яка створює ненадійність пристроїв комп'ютерної техніки, відповідно, є актуальною проблемою досліджувати працездатність нового покоління схем пам'яті, запропонованих Мараховським, які дозволяють підвищити надійність, швидкодію, гнучкість реконфігурованих пристроїв комп'ютерної техніки і дати можливість паралельно запам'ятовувати і обробляти ієрархічну інформацію ще на рівні елементній базі.

Мета статті. Новий напрям побудови елементарних багатфункціональних схем пам'яті, багаторівневих пристроїв пам'яті і пристроїв на їх основі є вагомим доповненням до існуючої класичної теорії розробки методів схемотехніки із застосуванням тригерних схем пам'яті.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасні комп'ютерні та нейрокомп'ютерні системи, побудовані на сучасній базі, використовують послідовну інформацію у вигляді вхідних інформаційних сигналів $x(t)$ і використовують цю інформацію в автоматній дискретному часі. Насправді інформація ієрархічна і є третім елементом Всесвіту разом з матерією і рухом.

У 1948 р Клод Шеннон (США) запропонував концепцію, що ґрунтується на уявленні про інформацію як про певної субстанції, яка існує в реальному світі незалежно від людини. «... Інформацію можна розглядати як щось дуже схоже з фізичною величиною, такий як маса і енергія». У тому ж році в своїй фундаментальній праці «Кібернетика, або управління і зв'язок в тварині і машині» Норберт Вінер (1894-1964) визначив інформацію як «позначення змісту, отриманого з зовнішнього світу в процесі нашого пристосування до нього і пристосування до нього наших органів почуттів». На відміну від Шеннона він не вважав, що інформація, матерія і енергія – це категорії одного порядку – «Інформація є інформація, а не матерія і не енергія». Ближче всіх до розуміння інформації підійшов академік В.М. Глушков. У його визначенні інформація – це міра неоднорідності розподілу матерії та енергії в просторі і часі. Добре видно, що поняття про інформацію було в ті роки не зовсім однозначно.

На думку професора В.К. Промоненкова, інформація – це будь-які неоднорідності матерії і процесів (форма, структура, ритми, репліки). Неоднорідність – це кількісна та якісна розрізнення стану субстанції засобами деякого спостерігача, в тому числі і засобами розуму. Як він висловився в своїй роботі, інформація є ієрархічною («інформація про інформацію») і являє собою третій елемент Всесвіту. З цим важко не погодитися в зв'язку з тим, що Мараховський Л.Ф. створює напрямок в області цифрової обчислювальної техніки, в якому розглядаються питання запам'ятовування і обробки ієрархічної інформації, вже майже сорок років.

Професор Мараховський Л. Ф. використовував замість вхідного сигналу $x(t)$, що надходить на схему пам'яті (тригер) пристрої обчислювальної техніки, вхідний слово

$p(T) = x(t), e(A)$, що складається з двох послідовних сигналів $x(t)$ і $e(A)$, яке надходить на багаторівневу пам'ять за один машинний такт T . Цієї відмінності виявилось досить, щоб з'явилася можливість обробки загальної і приватної інформації одночасно за один машинний такт T , що в пристроях з пам'яттю на тригерах і мемристорах принципово здійснити неможливо.

Основні поняття БФСП. Розширимо клас монофункціональних тригерних схем пам'яті до рівня багатофункціональних за рахунок розробки нових принципів і методів структурної організації багатофункціональних. Принцип структурної організації багатофункціональних схем пам'яті (БФСП) полягає в тому, що використовуються n логічних елементів АБО-НІ (І-НІ), які розбиваються на m ($m < n$) груп. Виходи елементів однієї групи не пов'язані з входами своєї групи логічних елементів. Вони з'єднуються з входами елементів інших груп схеми пам'яті по одному з певних законів (наприклад, з входами всіх інших логічних елементів або входами тільки елементів двох, трьох і т.д. з m груп елементів). Один з вільних входів кожного i -го елемента з'єднується з входами установчої вхідної шини, а другий з вільних входів кожного i -го елемента з'єднується з входами зберігаючої вхідної шини схем пам'яті.

Принцип запам'ятовування станів в БФСП полягає в тому, що установчі $x_i(t)$ вхідні сигнали, які надходять на вузли установчої вхідної шини, однозначно встановлюють вихідні значення хоча б одного логічного елемента i -ої групи. Вихідні значення встановленого елемента через свої вихідні структурні зв'язки утримує в інверсному стані вихідні значення інших елементів схеми пам'яті, які, в свою чергу, через зворотні структурні зв'язки підтверджують встановлені вихідні значення логічних елементів при впливі на них одного з зберігають $e_j(A)$ наборів вхідних сигналів, що подаються по зберігаючій вхідній шині. Ці встановлені значення зберігаються.

БФСП назвемо однорівневим багатофункціональним елементарним автоматом (БЕА) з повною системою переходів і повної системою виходів при реалізації кожної r_e ($r_e > 1$) функцій δ_e збереження станів.

БЕА можна функціонально представляти як r_e однорівневих елементарних автоматів, кожен з яких запам'ятовує всі свої статки тільки при одному з різних відповідних зберігають $e_j(A)$ ($j = \overline{1, r_e}$) наборах вхідних сигналів.

Метод мікроструктурного синтезу елементарних БФСП. Розглянемо метод мікроструктурного синтезу, що дозволяє побудувати асинхронну БФСП класу L із логічних елементів функціонально повної системи.

Скористаємося комбінаційною схемою АБО-НІ, що реалізує таку функцію:

$$y = \overline{f(a)} \vee \overline{f(x)} \vee \overline{f(e)} \quad \text{--- (1)}$$

де $f(a)$ – функція від довільного вхідного сигналу, що потрібний для запам'ятовування стану БФСП;

$f(x)$ – функція від довільного установчого $x_i(t)$ вхідного сигналу;

$f(e)$ – функція від довільного зберігаючого $e_j(A)$ набору вхідного сигналу.

Комбінаційну схему назвемо базовим автоматом з одним станом або простіше базовим автоматом (БА). Найпростіші БА – це логічні елементи типу І-АБО-НІ, АБО-НІ або І-НІ.

Метод мікроструктурного синтезу асинхронних БФСП класу L складається з наступного алгоритму. Беремо n БА і розбиваємо їх на m ($m < n$) груп. БА у кожній i -й ($i = 1, 2, \dots, m$) групі не має зворотних зв'язків, тому що їх вихідні вузли не приєднуються до вхідних вузлів БА цієї i -ої групи. Виходи БА i -ої групи відповідно з'єднані безпосередньо або через схему розділення АБО (І) з входами $f(a)$ усіх БА інших груп. Один із вільних входів z_i кожного i -го БА з'єднується з входами установчої вхідної

шини ШХ, а другий із вільних входів u_i кожного i -го БА з'єднується з входами зберігаючої вхідної шини ШЕ схем пам'яті. По вхідних вузлах z_i можуть поступати установчі $x(t)$ вхідні сигнали, а по вхідних вузлах u_i можуть поступати зберігаючі $e(\Delta)$ вхідні сигнали. Стійкі вихідні сигнали на вихідних вузлах y_j БА відповідають станами j БФСР.

Установчі $x_i(t)$ вхідні сигнали БФСР однозначно установлюють визначений стан $a_i(t)$ схеми пам'яті. Функцію δ_x збудження в елементарному автоматі можна описати у векторному вигляді:

$$a_i(t) = \delta_x[x(t)]. \quad \text{— —} \quad (2)$$

Значення двійкового набору на вхідних вузлах z_j БФСР при дії установчого $x_i(t)$ вхідного сигналу характеризуються тим, що тільки на вхідних вузлах BA_j однієї i -ої групи вхідний сигнал може мати значення, яке дорівнює логічному нулю хоча б на одному BA_j , а на вхідних вузлах BA_j інших груп значення вхідних сигналів повинно бути рівним логічній одиниці. Зберігаючий $e_j(\Delta)$ вхідний сигнал БФСР може запам'ятати один із станів $a_i(\Delta)$ визначеного блоку π_j станів, який попередньо визначений установчим $x_i(t)$ вхідним сигналом. Функцію δ_e зберігання стану в елементарному автоматі можна описати у векторному вигляді:

$$a(T) = \delta_e[a(T), e(\Delta)], \quad a(t) = a(\Delta). \quad \text{— — — — —} \quad (3)$$

Значення двійкового набору на вхідних вузлах u_j БФСР при дії зберігаючого $e(\Delta)$ вхідного сигналу характеризується тим, що хоча б у двох групах БФСР на вхідних вузлах БА повинні бути вхідні сигнали, значення яких дорівнюватиме логічному нулю. Число K запам'ятовуючих станів при визначеному зберігаючому $e(\Delta)$ вхідному сигналі дорівнюватиме кількості груп БФСР, на входах яких значення вхідного сигналу на вузлі u_j дорівнюватиме логічному нулю. Отже, значення числа K може змінюватися у залежності від зберігаючих $e(\Delta)$ вхідних сигналів від 2 до m . Стан a_i БФСР отожднюється зі станом значень вихідних сигналів y_j BA_j тільки однієї групи, коли хоча б один із вихідних сигналів y_j цієї групи дорівнює логічній одиниці. Одиничне значення вихідного сигналу y_j у цієї групи БФСР назвемо активним, тому що цей вихідний сигнал y_j діє на BA_j інших груп, встановлюючи на них вихідні сигнали y_j , що дорівнюють логічному нулю.

Характеристичне число K_i запам'ятовуючих станів i -ої групи обчислюється за формулою:

$$K_i = 2^R - 1, \quad (4)$$

де R – число БА в i -й групі БФСР. Число K_i запам'ятовуючих станів i -ої групи БФСР становить собою блок μ_i станів. Перехід із стану a_k у стан a_s у блоці μ_i станів можливий при зміні зберігаючого $e(\Delta)$ вхідного сигналу. Такий перехід назвемо укрупненням.

Функцію δ_y укрупненого переходу можна представити у векторному вигляді:

$$a(\Delta) = \delta_y[a(t), e(\Delta)]; \quad a(t) \neq a(\Delta); \quad a(t), a(\Delta) \in \mu_i. \quad (5)$$

Отже, число запам'ятовуючих станів БФСР можна уявити у матричному вигляді, де рядки матриці визначають блоки π_j станів, що запам'ятовуються при відповідних зберігаючих $e_j(\Delta)$ вхідних сигналах, а стовпчики матриці – блоки μ_i станів, що установлюються відповідними установчими $x_i(t)$ вхідними сигналами. Перехід із стану a_i в стан a_k блоку π_j станів (у рядку матриці) виконується під впливом установчих $x_i(t)$

вхідних сигналів, а перехід в новий стан в блоці μ_i станів – під впливом зберігаючих $e(\Delta)$ вхідних сигналів. Тригерні схеми і БСП мають тільки один блок π станів. Ця характеристика вказує, що монофункціональні схеми пам'яті (тригери і БСП) – це винятковий випадок БФСР.

Аналіз побудованої багатфункціональних схем пам'яті. Методом математичного моделювання отримуємо множину установчих $x(t)$ і множину зберігаючих $e(\Delta)$ вхідних сигналів. Результати аналізу схеми пам'яті зображені у таблицях нижче.

Спочатку визначимо множину установчих $x(t)$ вхідних сигналів, які у відповідності з функцією δx однозначно установлюють вихідні сигнали БА. Характерною особливістю цих наборів вхідних сигналів є наявність одиничних значень вхідних сигналів на вхідних вузлах БА усіх груп, крім однієї i -ї групи. Число різних наборів вхідних сигналів в i -ій групі відповідає характеристичному числу K_i цієї i -ї групи. Крім того ще є один установчий вхідний сигнал, який має значення одиниці на усіх вхідних вузлах БФСР і який однозначно установлює вихідні сигнали всіх БА у нуль, але цей стан не запам'ятовується ні при одному зберігаючому вхідному сигналі. З урахуванням цих особливостей визначимо установчі набори вхідних сигналів у таблицю.

Підставляючи набори вхідних сигналів $x(t)$ в систему ФП, знаходимо рішення системи відносно вихідних вузлів y_i . Значення усіх вхідних вузлів u_i у час такту t приймаємо рівними логічному нулю.

Таблиця 1. Установчі набори вхідних сигналів БФСР

Вхідний сигнал z_i	Набір вхідних сигналів $x(t)$						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
z_1	1	1	1	1	1	0	0
z_2	1	1	1	1	0	1	0
z_3	1	1	0	0	1	1	1
z_4	1	0	1	0	1	1	1

При вхідному сигналі x_1 система рівнянь має такий вигляд:

$$\begin{cases} 1 \left\{ \begin{array}{l} \overline{y_3 \vee y_4 \vee 1 \vee 0}; \\ y_3 \vee y_4 \vee 1 \vee 0; \end{array} \right. \\ 2 \left\{ \begin{array}{l} \overline{y_1 \vee y_2 \vee 1 \vee 0}; \\ y_1 \vee y_2 \vee 1 \vee 0; \end{array} \right. \end{cases} \text{-----} (6)$$

При визначенні значень y_i скористаємося законами багатозначної логіки, що були розглянуті при математичному моделюванні. Значення $y_1 = 0$, тому що значення диз'юнкції ($y_3 \vee y_4 \vee 1 \vee 0$) визначається по максимальному значенню одиничного сигналу, інверсія якого дорівнює логічному нулю. З урахуванням цього всі значення y_i у яких хоча б один аргумент дорівнює одиниці, будуть мати значення логічного нуля. Таким чином, розв'язок системи ФП буде однозначним $A0$ ($y_1=y_2=y_3=y_4=0$). При вхідному сигналі x_2 система рівнянь має такий вигляд:

$$1 \left\{ \begin{array}{l} \overline{y_1 = y_3 \vee y_4 \vee 1 \vee 0}; \\ y_2 = y_3 \vee y_4 \vee 1 \vee 0; \end{array} \right. \text{-----} 2 \left\{ \begin{array}{l} \overline{y_3 = y_1 \vee y_2 \vee 1 \vee 0}; \\ y_4 = y_1 \vee y_2 \vee 1 \vee 0; \end{array} \right. \text{-----} (7)$$

Розв'язавши цю систему рівнянь, отримуємо однозначний розв'язок A_i ($y_1=y_2=y_3=0, a y_4=1$). Розв'язавши систему рівнянь при наборах x_i вхідних сигналів, отримуємо однозначні рішення станів A_j .

Таблиця 2. Вихідні сигнали стійких станів БФСР класу L

Набір x_i вхідних сигналів	Вихідний сигнал БФСР класу L				Стан A_j
	y_1	y_2	y_3	y_4	
x_1	0	0	0	0	A_0
x_2	0	0	0	1	A_1
x_3	0	0	1	0	A_2
x_4	0	0	1	1	A_3
x_5	0	1	0	0	A_4
x_6	1	0	0	0	A_5
x_7	1	1	0	0	A_6

Зберігаючи $e_j(\Delta)$ вхідні сигнали характеризуються тим, що на вхідних вузлах u_i хоча б двох груп повинно поступати хоча б по одному (або декілька) вхідних сигналів, які дорівнюють логічному нулю в кожній групі, а на всі u_i вхідні вузли інших BA_j можуть поступати вхідні сигнали, що дорівнюють логічній одиниці. При цьому повинна дотримуватися умова, яка свідчить про те, що під час внутрішнього такту Δ вхідні сигнали $z_i(\Delta)$ повинні дорівнювати логічному нулю. Визначимо множину вхідних сигналів $e_j(\Delta)$ з урахуванням їх особливостей у табл. 3.

При наборі вхідних сигналів eI система ФП має такий вигляд:

$$1 \left\{ \begin{array}{l} y_1 = \overline{y_3 \vee y_4 \vee 1 \vee 0}; \\ y_2 = \overline{y_3 \vee y_4 \vee 1 \vee 0}; \end{array} \right. - - - - - 2 \left\{ \begin{array}{l} y_3 = \overline{y_1 \vee y_2 \vee 1 \vee 0}; \\ y_4 = \overline{y_1 \vee y_2 \vee 1 \vee 0}; \end{array} \right. - - - - - (8)$$

Таблиця 3. Зберігаючі набори вхідних сигналів БФСР класу L

Вхідний сигнал u_i	Набір зберігаючих $e_j(\Delta)$ – вхідних сигналів								
	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9
u_1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
u_2	0	0	0	1	1	1	0	0	0
u_3	1	0	0	1	0	0	1	0	0
u_4	0	1	0	0	1	0	0	1	0

Вихідні сигнали y_1 і y_3 будуть однозначні і рівні логічному нулю. Система ФП перетвориться на вигляд:

$$y_2 = \overline{y_4}; - - - - - \\ - - - - - y_4 = \overline{y_2}. - - - - - (9)$$

Щоб розв'язати цю систему рівнянь, потрібно до визначити змінні по черзі, присвоюючи їм значення одиниці. Слід призначити $y_4=1$ і при цьому розв'язком системи ФП повинно бути значення $y_2=0$, а призначити $y_2=1$ значення $y_4=0$. Таким чином, система рівнянь має дві розв'язки для наборів вхідних сигналів: A_1 і A_4 . Розв'язуючи систему рівнянь відносно зберігаючих $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів, які представлені у таблиці вище, визначимо конкретні значення вихідних сигналів y_i , набори яких ототожнюються з відповідними станами A_j БФСР. Представимо розв'язок системи у табл. 4.

Із цієї таблиці наочно видно, що отриманий набір A_0 вихідних сигналів під впливом установчого x_1 вхідного сигналу не зберігається при жодному наборі $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів. Установчий $x_1(t)$ вхідний сигнал при переході до будь-якого набору $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів приводить до імовірного переходу у стан, який зберігається у множині зберігаючого $e_j(\Delta)$ вхідного сигналу. Так, наприклад, під впливом вхідного слова

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

$p(T) = x_1(t), e_9(\Delta)$ БФСР переходить у стан A_3 або A_6 , але у який невідомо. Отже, установчий $x_1(t)$ вхідний сигнал БФСР, який працює у детермінованому режимі є забороненим.

Таблиця 4. Стани БФСР, що зберігаються

Набір $e_f(\Delta)$ вхідних сигналів	Стани БФСР, що зберігаються під впливом наборів $e_f(\Delta)$ вхідних сигналів
e_1	$A_1 A_4$
e_2	$A_2 A_4$
e_3	$A_3 A_4$
e_4	$A_1 A_5$
e_5	$A_2 A_5$
e_6	$A_3 A_5$
e_7	$A_1 A_6$
e_8	$A_2 A_6$
e_9	$A_3 A_6$

Висновки та пропозиції. Існуюча елементна база, в якості пам'яті якої застосовуються двійкові тригери, має фундаментальні обмеження, які розглянуті в роботі. Запропоновано аналіз схем пам'яті нової інформаційної технології.

В першій частині роботи розглянуто аналіз багатофункціональної схеми пам'яті (БФСР) у порівнянні з багатостабільними схемами пам'яті.

БФСР має матричну структуру запам'ятовування станів. Крім того, вона працює в автоматному безперервному часі, має відкриту структуру, зменшує апаратні витрати на один запам'ятовуючий стан (на 33%, табл.); збільшує функціональні можливості (за рахунок реконфігуруємих підмножин в матричній структурі запам'ятовуючих станів), здійснюючи перебудову структури запам'ятовування станів, одночасно запам'ятовують (за рахунок вхідного слова $p(T)=x(t), e(\Delta)$) та обробляють загальну інформацію, представлену у вигляді наборів зберігаючих $e(\Delta)$ вхідних сигналів, і окрему інформацію, представлену у вигляді наборів установчих $x(t)$ вхідних сигналів, за один машинний такт T автоматного безперервного часу.

Крім цього, БФСР володіють підвищеною надійністю (мінімум на 50%) і живучістю, що дуже важливо для використання їх при побудові комп'ютерних систем для таких важливих об'єктів, як: атомні станції, повітряний і залізничний транспорт, космонавтика, що немало важливо для безпеки будь-якої країни.

ЛІТЕРАТУРА

1. Букреев И.Н., Мансуров В.М., Горячев В.И. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. – М.: Сов. радио, 1975. – 368 с.
2. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. – 476 с.
3. Мараховский Л.Ф. Многофункциональные схемы памяти. – Киев: УСМ – № 6.-1996.– С. 59-69.
4. Мараховский Л.Ф. Основы теории проектирования дискретных устройств. Логическое проектирование дискретных устройств на схемах автоматной памяти: монография. – Киев: КГСУ, 1996.–128 с.
5. Мараховский Л.Ф., Михно Н.Л., Погребняк В.Д. Схема пам'яті. – Патент. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі № 34166 від 25 липня 2008 р. – (51) МПК (2006) H03K 29/00 – Бюл. 14. –12 с.
6. Мараховський Л.Ф., Воеводін С.В., Михно Н.Л., Шапаров О.Д. Комп'ютерна схемотехніка: практикум для бакалаврів спец. «Інтелектуальні системи прийняття рішень». – Київ: КНЕУ, 2009. –245 с.
7. Мараховский Л. Ф., Михно Н.Л. Основы новой информационной технологии. Фундаментальные основы проектирования реконфигурируемых устройств компьютерных систем и искусственного нейрона: монография. – Germany: Saarbrcken, LAP LAMBERT, 2013. – 369 с.

8. Справочник по цифровой вычислительной технике: (процессоры и память) / Б.Н.Малиновский, Е.И.Брюхович, Е.Л.Денисенко и др. / Под ред. Б.Н.Малиновского. – К.: «Техніка», 1979. – 366 с.

9. Стахов А.П. О возможной причине участвовавших аварий при выводе российских спутников // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.17146, 26.12.2011.

L. F. Marakhovskij, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Professor Automation and Computer-Integrated Technology of Transport Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

S. V. Olyanovsky

(Master, State University for Transport Economy and Technologies)

B. O. Kosmylin

(Master, State University for Transport Economy and Technologies)

STRUCTURAL ORGANIZATION OF MODERN MEMORY SCHEMES

The first time the new multi-memory scheme that removed restrictions on the known components triggers. These schemes have lower costs of equipment for one memory status and have an open structure and the ability to change a subset of states that are unable to perform trigger existing components and have a matrix structure storing conditions. In addition, it operates in continuous time automaton has an open structure, reduce hardware costs to a storage condition at 33%; increased functionality (due rekonfiguriruemaya subsets in a matrix structure storage conditions), making restructuring of storing conditions. In addition, BFSP have high reliability (minimum 50%) and vitality that is important for use in the construction compa p'yuternyh of such important facilities as nuclear plants, air and rail transportation, aerospace, which much important for the security of any country.

Keywords: Multi-circuit memory trigger.

REFERENCES

1. Bukreev I.N., Mansurov V.M., Goryachev V.I. Microelectronic circuits of digital devices, Moscow, Sov. Radio Pub., 1975, 368 p.
2. Glushkov V.M. Synthesis of digital automata. – Moscow: Fizmatgiz, 1962, 476 p.
3. Marakhovsky L.F. Multifunctional memory circuits, Kiev: USIM, No. 6, 1996, P. 59-69
4. Marakhovsky L.F. Fundamentals of the theory of designing discrete devices. Logical design of discrete devices on automatic memory circuits: monograph, Kiev: KGU, 1996, 128 p
5. Marakhovsky L.F., Mikhno N.L., Pogrebnyak V.D. Scheme of memory. – The patent. Registered in the Derzhavnoe reestri of patent in Ukraine on the transport model No. 34166 dated 25 June 2008, (51) IPC (2006) H03K 29/00, Vol. 14, 12 p.
6. Marakhovsky L.F., Voevodin SV, Mikhno NL, Sharapov O.D. Computer circuit: a workshop for bachelor's specialties. «Intelligent decision support systems», Kiev, 2009, 245 c.
7. Marakhovsky LF, Mikhno N.L. Fundamentals of the new information technology. Fundamentals of designing reconfigurable devices for computer systems and artificial neurons: monograph, Germany: Saarbrücken, LAP LAMBERT, 2013, 369 p.
8. Handbook of digital computers: (processors and memory) / BN Malinovsky, EI Bryukhovich, EL Denisenko and others / Ed. BN Malinovsky, Kiev, Pub. «Technique», 1979, 366 p.
9. Stakhov A.P. On the possible cause of increased accidents in the withdrawal of Russian satellites // «Academy of Trinitarianism», М., Эл No. 77-6567, publ.17146, 26.12.2011

УДК 04.25: 004.252; 004.258

*Л. Ф. Мараховський, д.т.н., професор
(професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», Державний економіко-технологічний університет транспорту)
Д. А. Янюк
(магістр, Державний економіко-технологічний університет транспорту)*

СТРУКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ БАГАТОРІВНЕВИХ СХЕМ ПАМ'ЯТІ З АВТОМАТОМ СТРАТЕГІЇ ДЛЯ КОЖНОЇ ГРУПИ БАГАТОРІВНЕВИХ СХЕМ ПАМ'ЯТІ

Розглянуто питання побудови багаторівневих схем пам'яті, їх надійність, характеристики, переваги над схемами побудованих на тригерах та способи організації, моделювання, а також їх застосування. Створення теорії побудови базових багатofункціональних схем пам'яті (БФСП) і на їх основі теорії побудови багаторівневих схем пам'яті (БРСП) розширює сучасні основи обчислювальної техніки та надає якісно нові можливості. Вони здатні підвищити швидкість перебудови алгоритмів функціонування комп'ютерних пристроїв, розширити функціональні можливості систем, збільшити тривалість існування систем на різних рівнях обробки інформації, а також здійснити одночасну обробку загальної та часткової інформації на основі ієрархічного принципу програмного управління, що принципово неможливо здійснити на комп'ютерних пристроях з пам'яттю на тригерах.

Ключові слова: багаторівневі схеми пам'яті, схема пам'яті, метод, логічний елемент, елементна база, автомат стратегії.

Рассмотрены вопросы построения многоуровневых схем памяти, их надежность, характеристики, преимущества над схемами построенных на триггерах и способы организации, моделирования, а также их применение. Создание теории построения базовых функциональных схем памяти (БФСП) и на их основе теории построения многоуровневых схем памяти (БРСП) расширяет современные основы вычислительной техники и предоставляет качественно новые возможности. Они способны повысить скорость перестройки алгоритмов функционирования компьютерных устройств, расширить функциональные возможности систем, увеличить продолжительность существования систем на разных уровнях обработки информации, а также осуществить одновременную обработку общей и частичной информации на основе иерархического принципа программного управления, принципиально невозможно осуществить на компьютерных устройствах с памятью на триггерах.

Ключевые слова: багаторівневі схеми пам'яті, схема пам'яті, метод, логічний елемент, елементна база, автомат стратегії.

Постановка проблеми. Тригери, що є складовою частиною визначення бази даних, можуть бути виключно корисними. Вони можуть виконувати безліч функцій, включаючи наступні: Контроль змін. Каскадні операції Виклик збережених процедур Підтримка цілісності Головним недоліком тригерів є їх вплив на продуктивність операцій з

© Мараховський Л. Ф., Янюк Д. А., 2017

базою даних. І якщо від бази даних потрібно дуже швидко додавання і модифікація великих обсягів даних, тригери можуть виявитися неприйнятним рішенням. БРСП дозволяють зберігати загальну і окрему інформацію одночасно, володіють гнучкістю, вибірковістю, підвищеною надійністю, меншими витратами логічних елементів на один стан та відрізняються в позитивний бік від асинхронного RS-тригера. Методи, закладені в цю теорію, дозволяють розробнику за критеріями кількості станів або за кількістю перебудованих підмножин станів без особливих зусиль спроектувати структуру і функціональну схему пам'яті.

Виклад основного матеріалу дослідження. У комп'ютерах і нейрокомп'ютерів завжди порівнювалася структура і функція пам'яті з пам'яттю живих організмів, пам'ять яких має кращу вибірковість, більшою економічністю і корисністю. У комп'ютерах в даний час широко використовують монофункціональні елементарні автомати Мура (тригери), що володіють повною системою переходів і виходів з двома внутрішніми станами, які зберігаються при одному вхідному сигналі.

Актуальним напрямом усунення обмеження двійкових схем пам'яті стала розробка багатофункціональних схем пам'яті. Сучасні комп'ютерні та нейрокомп'ютерні системи, побудовані на сучасній базі, використовують послідовну інформацію у вигляді вхідних інформаційних сигналів $x(t)$ і використовують цю інформацію в автоматної дискретному часі. Насправді інформація ієрархічна і є третім елементом Всесвіту разом з матерією і рухом. Розроблені програми по моделюванню цифрових схем, на основі яких моделювалися великі інтегральні схеми і схеми обчислювальної машини. В даний час використовують програму імітаційного моделювання в електроніці (Electronics Workbench). БРСП є ієрархічною та напіввідкритою структурою, що має можливість перебудовувати структуру запам'ятовування станів, а, отже, і змінювати напрямок активної вихідної інформації за певними вихідними вузлами. БРСП має два набори вхідних сигналів: встановлюючих і зберігаючих.

Необхідно відзначити аналогію БРСП з живою клітиною (нейроном), яка теж має два набори вхідних сигналів: збуджуючих і гальмуючих, а також безліч вихідних сигналів, які спрямовані за певними напрямками до інших нейронів. Перспективним і актуальним напрямком розвитку схем з пам'яттю є створення на основі БФСП багаторівневих схем пам'яті (БРСП), які є основою для вирішення актуального завдання: запам'ятовувати загальну і приватну інформацію за один машинний такт T , що принципово не можна виконати на комп'ютерних пристроях з пам'яттю на тригерах.

Одноступінчаті БРСП використовують кілька з'єднаних по вертикалі БФСП, які можна синхронізувати одним сигналом. Кількість рівнів БРСП в символьному його описі на одну одиницю менше ставитися з символом u для класу L_N і з символом b для

класу L_N^B . БРСП може бути одно- і двоступенева. Друга ступінь працює в режимі перезапису коду з першого ступеня в другу при синхроімпульсі τ_2 .

Нижні БРСП мають в кожному розряді тільки по одному логічному елементу, то такі БРСП є напівзакритими структурами. БРСП має ще внутрішній багатофункціональний зв'язок, і запам'ятовують всі свої стани при одному наборі зберігаючих $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів, коли на всіх вхідних вузлах сигнал дорівнює логічному нулю, тобто є неактивним.

Для синтезу по символьному опису БРСП необхідно спочатку перевірити допустимість синтезу БФСП, який входить в склад БРСП, з урахуванням обмежень логічних елементів, а потім виконати проектування БФСП з відповідним символьним описом. Суть синтезу БРСП на БФСП полягає в знаходженні ієрархічних зв'язків між вихідними вузлами нижніх БФСП і вхідними вузлами верхніх БФСП. Синтез БРСП складається з наступних кроків:

1) Визначаємо символічний опис верхньої БФСР при заданій кількості станів БРСР, які запам'ятовуються.

2) Проектуємо символічний опис нижніх БФСР і на їх основі проектуємо символічний опис БРСР.

3) За символічному опису БФСР, що входять в опис БРСР, проектуємо БФСР на певних логічних елементах, дотримуючись при цьому обмеження самих логічних елементів за кількістю входів і навантажувальні здібностям.

4) Визначивши активні сигнали зберігають вхідних сигналів БФСР, здійснюємо з'єднання між вихідними вузлами нижніх БФСР і наборами зберігають вхідних сигналів логічних елементів верхніх БФСР в асинхронної одноступінчатої БРСР.

5) Якщо по символічному опису БРСР синхронізована, то встановлюють вхідні вузли асинхронної БРСР з'єднуємо з вхідними вузлами через схеми І, сприймають додатково синхроімпульс.

6) Якщо по символічному опису БРСР двоступенева, то проектуємо другу сходинку БРСР, аналогічну першому ступені, і вихідні вузли першого ступеня БРСР з'єднуємо разом з синхроімпульсом через схеми з установчими вхідними вузлами другого ступеня БРСР.

Розглянуто методи синтезу БРСР за їхнім символічним описом, що дозволяє формалізувати їх проектування з урахуванням обмежень логічних елементів за кількістю вузлів та навантажувальної здатності. У БРСР реалізується принцип ієрархічного програмного управління, що дозволяє обробляти приватну інформацію в верхніх БФСР одночасно із загальною інформацією в нижніх БФСР, що принципово їх відрізняє від тригерів. Сутність принципу запам'ятовування станів у багаторівневої схеми пам'яті з багатофункціональною системою організації полягає в тому, що наборами встановлюють $x_i(t)$ вхідних сигналів стану керованих БФСР A_i запам'ятовуються тільки в тому випадку, коли вони належать блокам ті станів, що запам'ятовуються під впливом набору зберігає $e_j(\Delta)$ вхідного сигналу, що генерується керуючої БФСР A_k .

Багаторівнева схема пам'яті з багатофункціональною системою організації визначає таку структуру, в якій багатофункціональний режим роботи одного пристрою визначається іншим пристроєм, так званим автоматом стратегії A_m . Автомат стратегії A_m в багаторівневих схемах пам'яті може бути моно- або багатофункціональна схема пам'яті. Структуру багаторівневих схем пам'яті з багатофункціональною системою організації можна визначити як схему, яка зберігає на різних рівнях загальну (в автоматі стратегії A_m) і приватну (в керованій БФСР) інформацію. Принцип структурної організації елементарних багаторівневих схем пам'яті класу L_N^B з автоматом стратегії для кожної групи БФСР полягає в їх розподілі на керуючі і керовані багатофункціональні схеми пам'яті (БФСР), які з'єднані між собою в такий спосіб:

БА кожної i -ї групи керованої БФСР A_i , кількість q_i яких більше одиниці ($q_i > 1$), через вхідні шини, на яку подаються набори зберігаючих $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів, з'єднані відповідно з вихідними шинами однієї окремої БФСР A_k або БСП ($k = 1, 2, \dots, N$); керуючі вхідні і вихідні шини БФСР A_i ($i = 1, 2, \dots, N$) відповідно з'єднані з загальними вхідними та вихідними шинами багаторівневих схем пам'яті.

Багаторівнева схема пам'яті класу володіє наступними характерними властивостями:

- в стані змінювати структуру запам'ятовування станів схем пам'яті;
- встановлювати стійкі стани меншою кількістю вхідних сигналів, ніж багатабільні тригери, які надходять на керуючу частину вхідних вузлів схеми пам'яті;
- використовувати меншу кількість вихідних сигналів;
- використовувати меншу кількість внутрішніх зв'язків між елементами схеми;
- використовувати не менше двох рівнів багатофункціональних схем пам'яті;

- виходи елементів І-НІ (АБО-НІ), k -ї групи ($q_k > 1$) БФСР_j через додатково введені Т-входові елементи І (АБО) з навантажувальною здатністю Р2 або безпосередньо виходи елементів І-НІ (АБО-НІ) k -ї групи ($q_k = 1$) з'єднані безпосередньо з одним із входів елементів І-НІ (АБО-НІ) інших груп даного БФСР_j;

- БФСР_j, що розташовані за J рівнями, причому верхній рівень БФСР_j містить n_j БФСР_j елементів, розбитих не менше ніж на дві групи M_J ($J = 2$) по q_j елементів;

- один вхід кожного елемента І-НІ (АБО-НІ) k -ї групи ($q_{j,k} > 1$) БФСР_j j -го рівня з'єднаний з одним інформаційним входом j -ї групи схеми пам'яті $ШЗ_j$, а виходи елементів І-НІ (АБО-НІ) БФСР_j з'єднані відповідно з інформаційними виходами j -ї групи схеми пам'яті $ША_j$;

- входи елементів І-НІ (АБО-НІ) кожної k -ї групи ($q_{j,k} > 1$) БФСР_j – j -го рівня з'єднані відповідно з виходами елементів І-НІ (АБО-НІ) k -ї групи ($q_{s,k} = 1$) БФСР_s нижчих, крім останнього виходу, створюючи зв'язку між рівнями схеми пам'яті.

Відмінною структурною особливістю схеми пам'яті є багаторівнева пам'ять, де кожен структурний J -й рівень складається з стійкою БФСР_j, причому в БФСР_j з'єднані тільки входи тих елементів, які належать до k -ї групи ($q_{j,k} > 1$), з виходами схеми пам'яті нижніх рівнів БФСР_s ($s = j - 1$), які призначені для управління структурою за пам'ятовування станів у групах ($q_{j,k} > 1$) БФСР_j верхньої.

Відмінною функціональною особливістю пристрою є робота керованих схем БФСР_j верхніх рівнів у декількох різних підмножин своїх станів, що визначають сукупність станів схем БФСР_s ($s = j - 1$) нижніх рівнів. Це дозволяє змінювати відображення вхідної та вихідної інформації в керованих схемах БФСР_j, перенаправляти вихідну інформацію в певний напрям і встановлювати стан схеми пам'яті меншою кількістю вхідних сигналів, що надходять лише на частину вхідних вузлів пристрою.

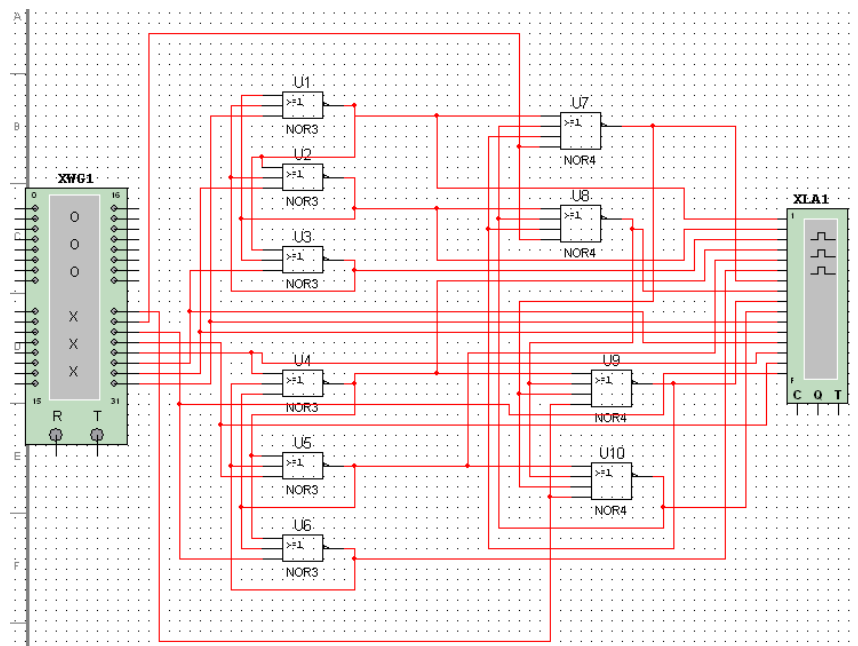


Рис. 4. Багаторівнева схеми пам'яті з автоматом стратегії для кожної групи

Схема складається з трьох БФСР_j (БФСР₁, БФСР₂, БФСР₃), які розташовані на двох рівнях ($j = 2$). На верхньому рівні знаходиться керована БФСР₃, яка має чотири елементи І-НІ ($n = 4$), і розбита на дві групи ($m = 2$) по два елементи ($q = 2$) в кожній групі. Керуючі схеми БФСР₁ і БФСР₂, які перебувають на першому (нижньому) рівні, призна-

чені для управління структурою запам'ятовування станів у групах ($q = 2$) верхньої схеми БФС_{П₃} і мають по три елементи І-НІ ($n = 3$), які розбиті на три групи ($m = 3$) між окремими елементами ($q = 1$) в кожній. БФС_{П₁} – БФС_{П₃} побудовані на логічних елементах І-НІ.

В даному випадку, функціональна схема багатоступінчастого пристрою пам'яті запам'ятовує 18 станів і має 8 вхідних і 10 вихідних вузлів, які в сумі складають 18 зовнішніх вузлів, менше ніж в БСП на 18 вузлів (у два рази), а також 24 внутрішніх зв'язків між усіма елементами І-НЕ, що менше 12,75 раза, ніж є в БСП $18 \times 17 = 306$. Функціональний режим розглядає роботу схеми пам'яті в двох режимах: однозначному і укрупненому. Встановлюють набори x_i вхідних сигналів при однозначному режимі.

Однозначний режим розглядає роботу керованого БФС_{П_j} ($j = 3$) верхнього рівня в різних підмножинах станів, які запам'ятовуються при відповідних станах БФС_{П_s} нижніх рівнів. В цьому режимі керована БФС_{П_j} функціонує в різних підмножинах своїх станів відповідно до станів БФС_{П_s}, які здатні змінювати відображення інформації. Переходи з керованої БФС_{П_j} з одного стану в інший однієї підмножини здійснюються під впливом установчих наборів x_i вхідних сигналів.

Укрупнений режим розглядає зміну станів всіх БФС_{П_j} схем при надходженні установчих наборів x_i вхідних сигналів тільки на вхідних вузлах керованих БФС_{П_s} нижніх рівнів. В цьому режимі переходи в БФС_{П_s} нижніх рівнів з одного стану в інший стан здійснюються під впливом установчих наборів x_i вхідних сигналів, а укрупнені переходи в БФС_{П_j} верхніх рівнів з одного стану в інший здійснюються під впливом внутрішніх наборів зберігаючих $e_j(\Delta)$ вхідних сигналів, які надходять з виходів БФС_{П_s} нижніх рівнів на певні елементи i -х груп, що мають більше одного БА в БФС_{П_j} верхніх рівнів.

Таким чином, запропонована схема є єдиною багаторівневою схемою пам'яті, яка має здатність змінювати відображення інформації в БФС_{П_j} верхніх рівнів без впливу установчих вхідних сигналів за рахунок внутрішніх зв'язків між рівнями схем. Вона має менше внутрішніх зв'язків між елементами і може змінювати стан всього пристрою меншою кількістю вхідних сигналів, що в тригерах здійснювати принципово неможливо.

Висновки. Багаторівневі схеми пам'яті, які розглянуті, є напівзакриті структури. Вони, як і багатофункціональні схеми пам'яті, мають велику перевагу в порівнянні з тригерами по апаратурним витратам на один запам'ятовуючий стан, по внутрішнім та зовнішнім зв'язкам, за функціональними можливостями обробки загальної та окремої інформації за один машинний такт T , а також підвищеною надійністю. БРС_П можна використовувати при побудові реконфігурованих і більш надійних комп'ютерних пристроїв і систем, ніж комп'ютерні пристрої з пам'яттю на тригерах. Таким чином, можливо зробити основний висновок, що застосування багатофункціональних та багаторівневих схем пам'яті, що представляють новітні схеми пам'яті нової інформаційної технології, дозволяють побудову конкурентоспроможних комп'ютерних і нейронних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. – М.: Физматгиз, 1962. – 476 с.
2. Малиновский Б.Н. Справочник по цифровой вычислительной технике: (процессоры и память) / Е.И. Брюхович, Е.Л. Денисенко и др. / Под ред. Б.Н. Малиновского. – К.: «Техніка», 1979. – 366 с.
3. Мараховский Л.Ф. Многоуровневые устройства автоматной памяти. I ч. – Киев: УСиМ. – № 1. – 1998. – С. 66-72.
4. Мараховский Л.Ф. Многоуровневые устройства автоматной памяти. II ч. – Киев: УСиМ. – № 2. – 1998. – С. 63-69.
5. Брюхович Е.И. Будущее вычислительной техники, каким оно представляется в естественных законах и научном предвидении. / Праці міжнародного симпозіуму з історії створення перших ЕОМ та внеску європейців в розвиток комп'ютерних технологій – К.: «Феникс» УАИНП, 1998. – С. 344-349.
6. Мараховский Л.Ф.. Три научных направления в области обработки информации / Москвин М.В «ІНТЕРНЕТ-освіта-наука-2012», восьма міжнародна науково практична конференція ІОН-2012, 1-5 жовтня, 2012: Збірник праць. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – С. 215-219.

7. *Мараховський Л.Ф.* Комп'ютерні інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Навчально-методичний посібник для магістрів спеціальності 8.05020203 «Автоматика та автоматизація на транспорті (залізничний транспорт)». – К.: ДЕТУТ, 2015. – 127 с.

8. *Мараховський Л.Ф.* Основы новой информационной технологии. Фундаментальные основы проектирования реконфигурируемых устройств компьютерных систем и искусственного нейрона / Михно Н.Л. – Germany: Saarbrücken, LAP LAMBERT, 2012. – 347 с.

**Leonid F. Marahovskij, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Professor Automation and Computer-Integrated Technology of Transport Chair, State
University for Transport Economy and Technologies)**

Dmitry Yaniuk

(Master, State University for Transport Economy and Technologies)

STRUCTURAL ORGANIZATION OF MULTILEVEL MEMORY SCHEMES WITH AUTOMATIC STRATEGIES FOR THE EACH GROUP OF MULTILEVEL MEMORY SCHEMES

The question of building a multilevel memory circuits, their reliability, features, advantages of the scheme is based on triggers and ways of organizing, modeling and their application. Creating a basic theory of building multi-circuit memory (BFSP) and, based on the theory of building a multilevel memory circuits (BRSP) extends the current fundamentals of computer technology and provides new opportunities. They can increase the speed of adjustment algorithms functioning computer devices extend the functionality of systems, extend the existence of different levels of information processing, as well as to the simultaneous processing of total and partial information on the basis of the principle of hierarchical management software that essentially can not be done on a computer ‘ Books on devices with memory triggers.

Keywords: *bahatorivnevyi memory circuits, memory scheme, method, logic elements, electronic components, machine strategy.*

REFERENCES

1. Glushkov V.M. Sintez tsifrovyykh avtomatov [Synthesis of digital automata], Moscow, Fizmatgiz, 1962, 476 p.
2. Malinovskiy B.N. Spravochnik po tsifrovoy vyichislitel'noy tekhnike: (procsessory i pamyat) [Reference book on digital computing: (processors and memory)] E.I. Bryuhovich, E.L. Denisenko i dr. / Pod red. B.N. Malinovskogo, K.iev, «Tehnika» pub., 1979, 366 p.
3. Marahovskiy L.F. Mnogourovnevnyye ustroystva avtomatnoy pamyati [Multilevel devices of automatic memory]. I ch, Kiev: USiM, #1, 1998, pp. 66-72.
4. Marahovskiy L.F. Mnogourovnevnyye ustroystva avtomatnoy pamyati [Multilevel devices of automatic memory]. II ch, Kiev: USiM, #2, 1998, pp. 63-69.
5. Bryuhovich E.I. Budushchee vyichislitel'noy tekhniki, kakim ono predstavlyayetsya v estestvennykh zakonakh i nauchnom predvidenii. [The future of computing, as it appears in natural laws and scientific foresight] Pratsi mizhnarodnoho sympoziumu z istoriyi stvorenniya pershykh EOM ta vnesku yevropeytsiv v rozvytok komp'yuternykh tekhnolohiy, Kiev, «Feniks» UAINP, 1998, pp. 344-349.
6. Marahovskiy L.F. Tri nauchnykh napravleniya v oblasti obrabotki informatsii [Three scientific directions in the field of information processing] Moskvina M.V «INTERNET-osvita-nauka-2012», vosma mlzhnarodna naukovo praktichna konferentsiya ION-2012, 1-5 zhovtnya, 2012: ZbIrnik prats, VInnitsya: VNTU, 2012, pp. 215-219.
7. Marahovskiy L.F. Kompiuterni informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti [Computer information and control systems for railways] Navchalno-metodychnyi posibnyk dlia mahistriv spetsialnosti 8.05020203 «Avtomatyka ta avtomatyzatsiia na transporti (zaliznychnyi transport)», Kiev, DETUT, 2015, 127 p.
8. Marahovskiy L.F. Osnovy novoy informatsionnoy tekhnologii. Fundamentalnyye osnovy proektirovaniya rekonfiguriruemyykh ustroystv kompyuternyykh sistem i iskusstvennogo neyrona [Fundamentals of the new information technology. The fundamental foundations of designing reconfigurable devices of computer systems and an artificial neuron] Mihno N.L., Germany: Saarbrücken, LAP LAMBERT, 2012, 347 p.

О. С. Гайденко

(аспірант кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

ОРГАНІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ АРХІТЕКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ УКРЗАЛІЗНИЦІ

Запропоновано модифіковану комп'ютерну архітектуру інтелектуального керування постачанням електроенергії залізниці, спрямовану на оптимізацію використання обладнання, шляхом децентралізації баз даних.

Ключові слова: комп'ютерна архітектура, інтелектуалізація, інформація, електропостачання, залізниця.

Предложена модифицированная компьютерная архитектура интеллектуального управления поставкой электроэнергии железной дороге, направленная на оптимизацию использования оборудования, путем децентрализации баз данных.

Ключевые слова: компьютерная архитектура, интеллектуализация, информация, электроснабжение, железная дорога.

Постановка проблеми. Зміна функціональних потреб, обумовлена розвитком та впровадженням сучасних технологічних рішень інтелектуалізації у галузі енергетики [1], змушує переглянути підходи та структуру побудови комп'ютерної системи інтелектуального керування електропостачанням залізниці. Необхідність зміни комп'ютерної архітектури полягає в її оптимізації для поліпшення ефективності експлуатації комп'ютерно-інформаційних пристроїв у сучасних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз основних положень різних підходів до інтелектуальної енергетики [2–8] дозволив виділити спільні тенденції розвитку функціональних і технологічних рішень. Насамперед розвиток технологій моніторингу та методів аналізу первинних даних у кінцевому результаті забезпечує розширення функцій управління, що, у свою чергу, збільшує навантаження на комп'ютерну мережу і потребує її оптимізації.

Мета роботи. Метою роботи є розробка комп'ютерної архітектури мережі інтелектуального електропостачання Укрзалізниці, адаптованої до сучасних потреб і технологій відповідно до останніх тенденцій у галузі інтелектуальної енергетики.

Основна частина. Пристрої реєстрації параметрів роботи об'єктів системи постачання електроенергії, такі як Phasor Measurement Units (PMUs) складають основу системи моніторингу перехідних режимів (Wide Area Measurement System (WAMS)). Пристрої WAMS, орієнтовані на впровадження в Україні, можуть працювати як з GPS, так і з ГЛОНАСС. У той час, як продукція провідних виробників обладнання з країн заходу працює тільки з GPS сигналами. Оскільки обидві системи супутникової орієнтації спочатку створювалися для військових потреб та зважаючи на зовнішньо-

© Гайденко О. С., 2017

політичну ситуацію, яка склалася на сьогодні в Україні, при закупівлі нового обладнання для WAMS важливих стратегічних об'єктів таких, як система електропостачання залізниці та енергосистема країни загалом, слід орієнтуватися на роботу саме з GPS.

Система моніторингу та реєстрації первинних даних є базою комп'ютерної архітектури інтелектуального керування, а PMU її найменшою одиницею. Впровадження технологій моніторингу, таких як PMU, дозволяє застосувати нові можливості для аналізу на основі вимірювань. У зв'язку з переходом до інтелектуальної енергетики, зокрема й у тягових підстанціях, зростає кількість пристроїв моніторингу, які, у свою чергу, накопичують більше доступних даних. Проте більша кількість даних не обов'язково означає більше інформації. Лише обробка перетворює дані на корисну інформацію. Методи інтелектуального аналізу даних описано у роботі [9]. Інформація з датчиків на тягових підстанціях і лініях електропередач, замість безпосереднього відправлення диспетчерам, може пройти процедуру інтелектуальної обробки даних для втілення функцій інтелектуального керування в енергетиці, які детальніше розглянуто в роботах [10, 11]. При цьому система моніторингу повинна надавати інформацію в режимі реального часу так, щоб не перевантажувати диспетчера повідомленнями, що може заважати виконанню роботи. Втілення передових функцій інтелектуального керування потребує забезпечення обчислювальною потужністю, здатною опрацьовувати первинні дані за алгоритмами інтелектуального аналізу в режимі наближеному до реального часу.

На підставі проаналізованих тенденцій інтелектуалізації електропостачання та орієнтуючись на особливості й функціональні потреби галузі електропостачання залізничного транспорту, запропоновано модифіковану схему організації комп'ютерної архітектури керування електропостачанням Укрзалізниці (рис. 1), яка підходить для реалізації передових технологічних і функціональних рішень на її основі. Вона забезпечує розосереджену інформаційну обробку для перенесення навантаження на нижні рівні ієрархії. Такий розподіл, дозволить на основі серверів дистанцій електропостачання реалізувати локальне автоматизоване керування та діагностику. Запропонована архітектура інформаційно-обчислювальної мережі буде раціональною, зважаючи на те, що нижні рівні архітектури є не лише основними джерелами інформації, а у кінцевому результаті і її основними споживачами. На них зосереджено найбільш інтенсивний обмін даними. Таким чином значна частина інформаційних потоків буде розміщеною у відповідних підсистемах, що дозволить заощаджувати трафік та обчислювальні потужності на верхніх рівнях ієрархії [12].

Розглянемо детальніше узагальнену ієрархію запропонованої комп'ютерної архітектури. Інформаційна мережа повинна реалізовуватися таким чином, щоб забезпечувати відповідні ієрархії рівні доступу до даних, що необхідно з точки зору захисту інформації (рис. 1).

Нижнім рівнем організації комп'ютерної архітектури інтелектуального керування електропостачанням Укрзалізниці (рис. 1) є тягова підстанція (ТП). На нижньому рівні знаходяться засоби реєстрації первинних даних, які служать базою інтелектуалізації електропостачання. За допомогою комп'ютерних компонентів на цьому рівні автоматично вирішується завдання комерційного обліку електроенергії та безперервної діагностики обладнання. З даного рівня інформація передається на всі рівні керування.

Наступний рівень ієрархії управління електромережами Укрзалізниці є рівень дистанції електропостачання ЕЧ. Дистанцій електропостачання в кожній із залізниць декілька. На цьому рівні реалізуються функції моніторингу, здійснюється збір отриманих первинних даних з мікропроцесорних реєстраторів ТП. Зібрана первинна інформація архівується. На основі серверів рівня ЕЧ реалізуються розподілені БД аварійної та комерційної інформації та формується інформація для передачі на вищий рівень. При цьому БД повинні побудовані на окремих серверах (рис. 1). Вихід з ладу облад-

нання збору аварійної інформації не перешкоджатиме збору та використанню комерційної і навпаки. Крім того модифікована комп'ютерна архітектура дозволить легше розмежувати доступ до окремих даних. Таке рішення забезпечить підвищення надійності та інформаційної безпеки.

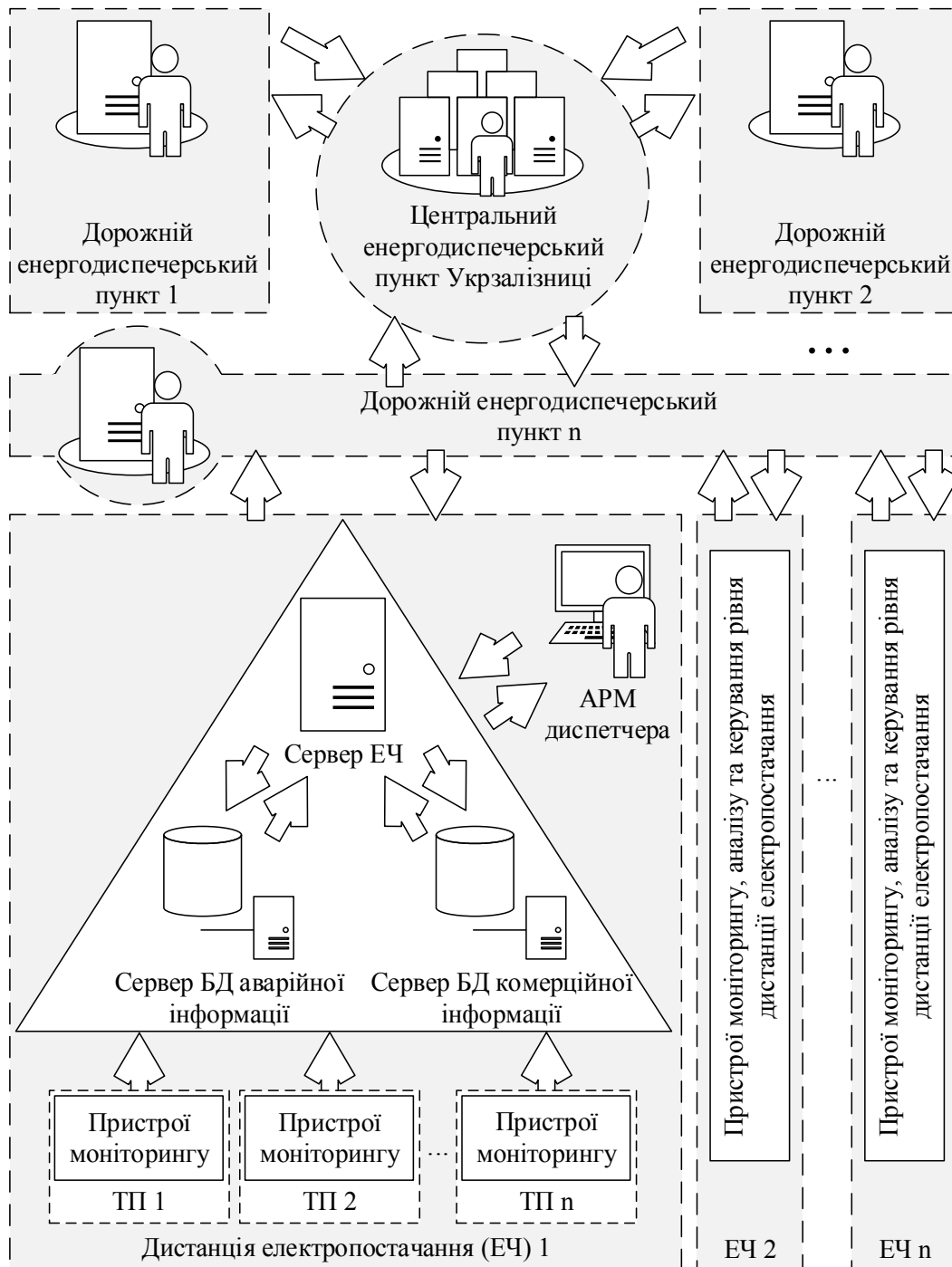


Рис. 1. Модифікована схема організації децентралізованої комп'ютерної архітектури інтелектуального електропостачання Укрзалізниці

Інформація з дистанцій електропостачання надходить на диспетчерський центр залізниці, де відбувається її обробка сучасними методами. На даному рівні втілюються алгоритми, що забезпечують функції управління відповідно до концепції Smart Grid – здійснюється оцінка стану обладнання, формування управлінських рішень, моделювання і прогнозування надійності функціонування передачі та споживання електричної енергії. Проводиться організаційно-економічне керування, формується звітна інформація.

Найвищим рівнем управління є центральний енергодиспетчерський пункт Укрзалізниці, куди надходить вся інформація від шести регіональних залізниці. На цьому рівні координуються управлінські дії, включаючи операції купівлі-продажу електричної енергії, вартість закупівлі якої можна мінімізувати за допомогою сучасних алгоритмів та методів моделювання.

Висновки. На основі аналізу потреб і стану розвитку пристроїв, що забезпечують інтелектуалізацію енергетики, запропоновано модифіковану комп'ютерну архітектуру системи інтелектуального електропостачання Укрзалізниці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стогній Б. С. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Стогній Б. С., Кириленко О. В., Праховник А. В., Денисюк С. П.; Технічна Електродинаміка. 2012. № 5. – С. 52-59.
2. A Vision for The Smart Grid // National Energy Technology Laboratory – 2009. – 11 с.
3. Erfan Ibrahim EPRI Smart Grid R&D Overview // EPRI – 2008. – 16 с.
4. SmartGrids SRA 2035 Strategic Research Agenda Update of the SmartGrids SRA 2007 for the needs by the year 2035 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.smartgrids.eu/documents/sra2035.pdf>
5. European Technology Platform SmartGrids – Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future // Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities – 2006. – 44 с.
6. Vincenzo Giordano Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments / Vincenzo Giordano, Flavia Gangale, Gianluca Fulli, Manuel Sanchez Jimenez and other; 2011.
7. Grid 2030: A national vision for electricity's second 100 years // U.S. Dept. Energy – 2003.
8. Marcy Lowe. U.S. Smart Grid. Finding new ways to cut carbon and create jobs / Marcy Lowe, Hua Fan, Gary Gereffi / CGGC. Duke University – 2011.
9. Гайдєнко О.С. Інтелектуальна обробка баз знань господарства електропостачання залізниці / Збірник наукових праць «Транспортні системи і технології». – № 28. – К.: ДЕТУТ, 2016. – С. 147-153.
10. Гайдєнко О.С. Методологічні концепції розвитку інформаційних технологій оперативного керування тяговими електромережами / Збірник наукових праць «Транспортні системи і технології». – № 25. – К.: ДЕТУТ, 2014. – С. 153-160.
11. Гайдєнко О.С. Особливості комп'ютерного моніторингу, аналізу та управління технологічними процесами енергопостачання залізниці / зб.наук.праць «Моделювання та інформаційні технології», вип. 76, ISSN 2309-7647, Київ, ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2017.
12. T. Boucher Design of industrial information systems / T. Boucher, A. Yalcin. – [1 ed.]. – Academic Press, 2006. – 496 p.

Oles Haidenko
*(Graduate Student of Automation and Computer-Integrated Technologies of
Transport Department, State University for Transport Economy and Technologies)*

ORGANIZATION OF UKRZALIZNYTSIA'S INTELLECTUAL MANAGEMENT POWER SUPPLY COMPUTER ARCHITECTURE

A modified computer architecture of intelligent management railroad electricity supply, designed to optimization the use of equipment by decentralization databases is proposed.

Keywords: computer architecture, intelligent, information, electricity, railways.

REFERENCES

1. *Stogniy B. S.* Evolyutsiya intelektualnih elektrichnih mrezezh ta ihni perspektyvy v Ukraini [The evolution of smart grids and their prospects in Ukraine] / *Stogniy B. S., Kirilenko O. V., Prakhovnik A. V., Denysiuk S. P.*; *Tekhnichna Elektrodinamika* [Technical Electrodynamics]. 2012. No. 5, P. 52-59.
2. A Vision for The Smart Grid // National Energy Technology Laboratory, 2009, 11 p.
3. Erfan Ibrahim EPRI Smart Grid R&D Overview // EPRI, 2008, 16 p.
4. SmartGrids SRA 2035 Strategic Research Agenda Update of the SmartGrids SRA 2007 for the needs by the year 2035 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.smartgrids.eu/documents/sra2035.pdf>
5. European Technology Platform SmartGrids – Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future // Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006, 44 p.
6. *Vincenzo Giordano* Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments / *Vincenzo Giordano, Flavia Gangale, Gianluca Fulli, Manuel Sanchez Jimenez and other*; 2011.
7. Grid 2030: A national version for electricity's second 100 years // U.S. Dept. Energy, 2003.
8. *Marcy Lowe*. U.S. Smart Grid. Finding new ways to cut carbon and create jobs / *Marcy Lowe, Hua Fan, Gary Gereffi* / CGGC. Duke University, 2011.
9. *O. Haidenko* Intelektualna obrobka baz znan hospodarstva elektropostachannya zaliznyc [Intelligent processing knowledge bases of railway power facilities] // *Zbirnyk naukovykh prac' DETUT: Seriya «Transportni systemy i tehnologii»*, No. 28, K.: 2016, pp. 147-153.
10. *O. Haidenko* Metodologichni koncepcii rozvytku informaciynykh tehnologiy operatyvnogo keruvannya tyagovymy elektromeremamy [Methodological concepts of information technology operational control traction electric power supply] / *Zbirnyk naukovykh prac' DETUT: Seriya «Transportni systemy i tehnologii»*, No. 25., K.: 2014, pp. 153-160.
11. *O. Haidenko* Osoblyvosti komp'yuternoho monitorynhu, analizu ta upravlinnja tehnolohichnymy procesamy enerhopostachannja zaliznyc' [Specialization of computer monitoring, analysis and management of technological processes energy power supply for railroads] / *zbirnyk naukovykh prac' «Modeljuvannja ta informacijni tehnologii»*, vol. 76, ISSN 2309-7647, Kyiv, IPME im. H.E. Puhova NAN Ukrainy, 2017.
12. *T. Boucher* Design of industrial information systems / *T. Boucher, A. Yalcin*. – [1 ed.]. – Academic Press, 2006, 496 p.

УДК 656.22

В. І. Мацюк, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВНОЇ ТА СИСТЕМАТИЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВІДМОВ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

У роботі досліджено повну технологічну відмову, яка спостерігається при моделюванні типового технологічного процесу приймально-відправних парків технічних станцій і є наслідком систематичної відмови. Розроблено метод знаходження мінімального резерву пропускної спроможності, який, на відміну від існуючих, дозволяє забезпечити потрібну імовірність вчасного приймання поїздів та обгрунтований час їх затримки на приймально-відправних коліях технічних станцій.

Ключові слова: технологічна надійність залізничних транспортних систем, повна технологічна відмова, систематична технологічна відмова, резерв пропускної спроможності.

В работе исследовано полный технологический отказ, который наблюдается при моделировании типового технологического процесса приемо-отправочных парков технических станций и является следствием систематического отказа. Разработан метод нахождения минимального резерва пропускной способности, который, в отличие от существующих, позволяет обеспечить необходимую вероятность своевременного приема поездов и обоснованного времени их задержки на приемо-отправочных путях технических станций.

Ключевые слова: технологическая надежность железнодорожных транспортных систем, полный технологический отказ, систематический технологический отказ, резерв пропускной способности.

Вступ та актуальність проблеми. Виконання строків доставки вантажів (за умови їх шкоронності) при раціональному використанні наявних виробничих ресурсів можна вважати головною операційною задачею залізниць. У зв'язку з цим технічне нормування, планування виробничої діяльності та загальна організація залізничних транспортних систем повинні забезпечувати належний рівень надійності.

Крім суто технічних та управлінських з точки зору ефективності прийняття рішень персоналом складових, сам технологічний процес, як комплекс постійно взаємодіючих різних (за своїм технологічним оснащенням, набору каналів та множин приборів обслуговування) систем масового обслуговування, із постійно діючими зовнішніми та внутрішніми факторами формування відмов, повинен бути достатньо надійним.

Тому дослідження технологічної надійності, а саме, вивчення закономірностей впливу множин існуючих факторів і параметрів на імовірності відмови та середні тривалості безвідмовного функціонування експлуатаційних процесів залізничних транспортних систем є актуальною науково-прикладною проблемою.

© **Мацюк В. І., 2017**

Мета роботи. Метою роботи є дослідження повної та систематичної технологічних відмов парків залізничних станцій, встановлення закономірностей формування цих відмов. Для реалізації мети передбачається вирішення наступних задач:

1. Дослідити закономірності формування систематичної та повної технологічних відмов приймальн-відправних парків залізничних станцій.
2. Розробити практичні рекомендації щодо забезпечення належного рівня безвідмовного функціонування залізничних транспортних систем на рівні залізничних станцій та дільниць.

Аналіз стану теорії і практики забезпечення технологічної надійності залізничних транспортних систем. Суттєвий вклад у розвиток теорії надійності внесли вчені Гнеденко Б.В., Коваленко В.Г., Ушаков І.А. [1, 2]. У більшості робіт розглядалась надійність технічних об'єктів, устаткування та систем.

Дослідженням експлуатаційної надійності залізничних транспортних систем присвячені наукові праці Є. В. Архангельського, Т. В. Бутько, П.С. Грантова, Ф.Б. Кочнева, Є. В. Нагорного, А. В. Прохорченко, І.Б. Сотнікова, М. Abril, F. Haight, M. G. H. Bell, R. Batley та ін [3 – 6]. У більшості досліджень основними критеріями експлуатаційної (технологічної) надійності вважаються пунктуальність (точність виконання графіків руху поїздів на дільницях) та безвідмовність приймання поїздів на колії приймально-відправних парків (залізничних станцій), тоді як надійність напрямку перевезення в цілому не розглядалась. Закономірності виникнення та умови формування повної та систематичної технологічних відмов вчасного приймання поїздів у приймально-відправні парки залізничних станцій у зазначених роботах не досліджувались.

При дослідженні чутливості вихідних параметрів імітаційної моделі технологічної лінії з обробки транзитних вантажних поїздів (зі зміною локомотивів) [8] встановлено, що на рівень технологічної відмови та безвідмовний час роботи приймально-відправних парків найбільш впливають: кількість одночасно діючих бригад ПТО, експлуатаційний парк поїзних локомотивів, добова нерівномірність кількості прибуваючих поїздів, мінімально встановлені інтервали попутного прибуття та відправлення поїздів [9, 10].

Однак на рівень технологічної надійності зазначені параметри мають різний ступінь та характер впливу. При збільшенні мінімального інтервалу попутного відправлення імовірність відмови ξ_n поступово зростає і після межі 70–80 % від середньодобового інтервалу прибуття поїздів зростання набуває ступеневого характеру.

Це доводить про неможливість вчасного відправлення поїздів при дотриманні рівних інтенсивностей їх прибуття та відправлення (однакової кількості ниток графіка руху). Для забезпечення належного рівня відмови вчасного приймання поїздів (меншим за 0,05) кількість ниток графіка поїздів по відправленню повинна бути мінімум на 30 % більшою кількості ниток для прибуття поїздів.

Таким чином, у випадку із зміною інтервалів попутного відправлення ($I_{пв}$) спостерігається найбільший вплив на рівень відмови та загальну технологічну надійність функціонування приймально-відправних парків.

Даний факт вимагає додаткових досліджень та встановлення чітких та більш точних меж формування системних відмов, що, вочевидь, мають місце у типових технологічних нормах залізничних станцій.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Під систематичною відмовою для залізничних станцій можна розуміти відмову залізничних транспортних систем, яка може бути усунена тільки після комплексної модифікації типових технологічних норм експлуатаційного процесу залізничних станцій та її підсистем.

Типові норми розробки графіків руху поїздів передбачають включення до ГРП «наскрізних» на всьому маршруті прямування ниток транзитних поїздів. Тобто, середній

номінальний інтервал прибуття транзитних поїздів до станції дорівнюватиме середньому інтервалу відправлення поїздів:

$$\overline{I_{\text{приб.норм}}} = \overline{I_{\text{відпр.норм}}} = \frac{1440}{N_{\text{доб.}}} \quad (1)$$

Відповідно до вихідних умов моделювання [9, 10], відправлення поїздів здійснюється за раціональним графіком із рівномірним (протягом кожної доби) розподіленням ниток ГРП. Тоді, враховуючи те, що момент закінчення опрацювання поїздів є випадковим, середній час очікування відправлення (при відсутності черги з поїздів, що чекають відправлення) складатиме:

$$\overline{t_{\text{оч. відпр.норм.}}} = \frac{1440}{2N_{\text{доб.}}}, \quad (2)$$

Результати досліджень [9, 10] вказують на те, що при значенні:

$$\overline{I_{\text{відпр.}}} > \beta \overline{I_{\text{приб.}}}, \quad (3)$$

де γ – при сімох каналах СМО-2 приблизно дорівнює 0,7;

та при його подальшому збільшенні спостерігається стрімке зростання середнього часу очікування відправлення поїздів, що викликає ланцюгову реакцію і призводить до затримок при прийманні поїздів: також починає зростати середній час очікування в прийманні поїздів та імовірність відмови у вчасному прийманні поїздів. На те, що саме невчасне відправлення поїздів призводить до затримок у вчасному прийманні наступних поїздів, вказує той факт, що стрімке зростання показника середнього очікування приймання поїздів та імовірності вчасного приймання спостерігаються при більших, ніж $0,7 \overline{I_{\text{приб.норм}}}$ значеннях. Для іншої кількості каналів СМО-2 спостерігається схожа ситуація ([8 – 10] та рис. 1).

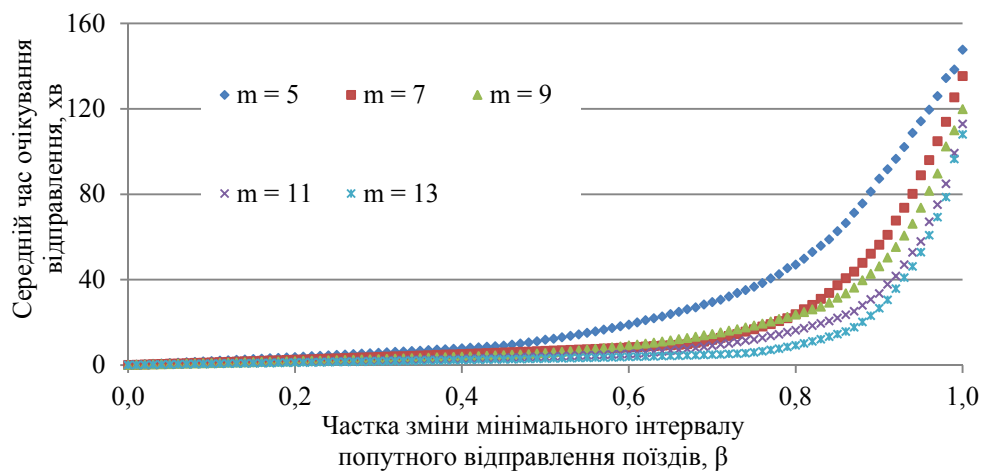


Рис. 1. Залежність $\overline{t_{\text{оч. відпр.норм.}}} = f(\beta \overline{I_{\text{відпр.}}})$, де β – частка від середнього номінального значення інтервалу відправлення $\overline{I_{\text{відпр.}}}$, $\beta \in [0; 1]$ із кроком 0,02, для різної кількості каналів СМО-2 (m)

Для іншої канальності СМО-2 значення $\beta_{\text{пн}}$ (умовно назвемо зазначені точки «порог надійності»), при якому візуально спостерігається різке зростання очікування по відправленню, дорівнюватиме:

$$\text{для } m = \{5; 7; 9; 11; 13\} \beta_{\text{пн}} = \{0,46; 0,65; 0,51; 0,65; 0,73\} \quad (4)$$

Для зазначених множин (4) спостерігається пряма кореляційна залежність із коефіцієнтом кореляції $\text{kor}(m, \beta_{\text{пн}}) = 0.76675$ (рис. 2) (розрахунок проведено у прикладному пакеті *Statistica 10*):

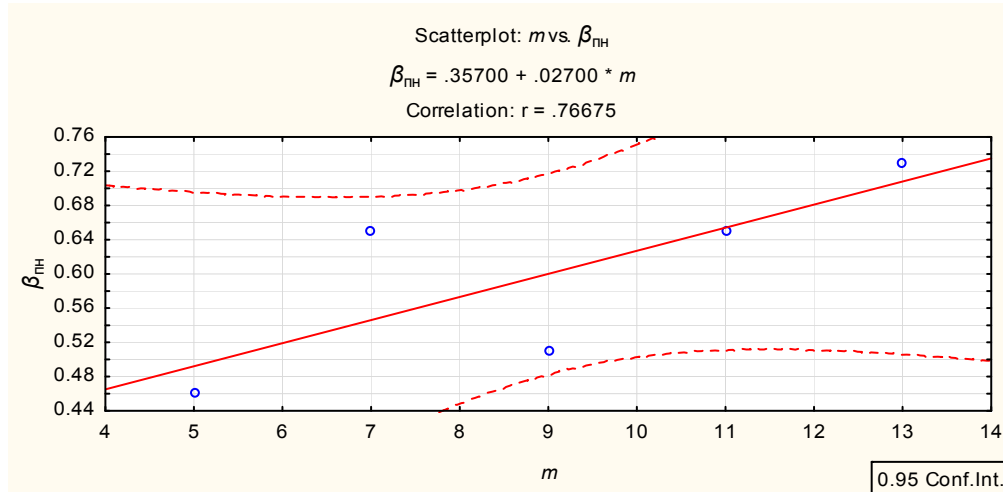


Рис. 2. Пряма кореляційна залежність між кількістю каналів обслуговування m та $\beta_{\text{пн}}$.

Кореляція є значною (коефіцієнт кореляції 0,76675), хоча далекою від абсолютного значення, що пояснюється неточністю замірів та дискретними значеннями деяких вихідних параметрів імітаційної моделі. Отримана кореляційна залежність:

$$\beta_{\text{пн}} = 0,027m + 0,357. \quad (5)$$

Пряма кореляційна залежність (5) визначає зростання «порогу надійності» при збільшенні кількості каналів обслуговування. Збільшення кількості каналів обслуговування (m) відповідає збільшенню добового поїздопоту та, відповідно, зменшенню середніх міжпоїзних інтервалів прибуття та відправлення. Так, при великих m , будуть менші $\overline{I_{\text{приб.}}}$ та $\overline{I_{\text{відпр.}}}$.

Таким чином, при наближенні середніх інтервалів відправлення поїздів до середніх інтервалів прибуття поїздів (виконання умови 1) спостерігається зростання імовірності відмови та її перевищення рівню $\xi_n = 0,03 - 0,05$.

При наближенні β до одиниці, тобто при наближенні $\overline{I_{\text{відпр.}}}$ до $\overline{I_{\text{приб.}}}$, імовірність вчасного приймання поїздів також наближається до одиниці, що може вказувати на наявність систематичної відмови у типовому технологічному процесі. Тобто, при використанні типових підходів може виникнути ситуація, коли приймально-відправний парк взагалі не зможе обробляти поїзди. Зазначене явище може ідентифікуватись сталим зростанням кількості заявок (поїздів), що знаходяться у черзі на обслуговування.

Для дослідження даного типу відмов проведемо експеримент із заміром середньодобової (на початок кожної доби та за весь модельний період) черги заявок (поїздів), що чекають обробки у СМО-2 (на коліях приймально-відправного парку). Вихідні умови моделювання використовувались аналогічно експериментам [9, 10].

При проведенні моделювання при різних співвідношеннях $\overline{I}_{\text{приб.}}$ та $\overline{I}_{\text{відпр.}}$ (значеннях β) встановлено, що при наближенні параметру β до 1, черга із заявок, що чекають обслуговування перед входом у СМО-2 (приймально-відправний парк) постійно зростає (рис. 3, 4).

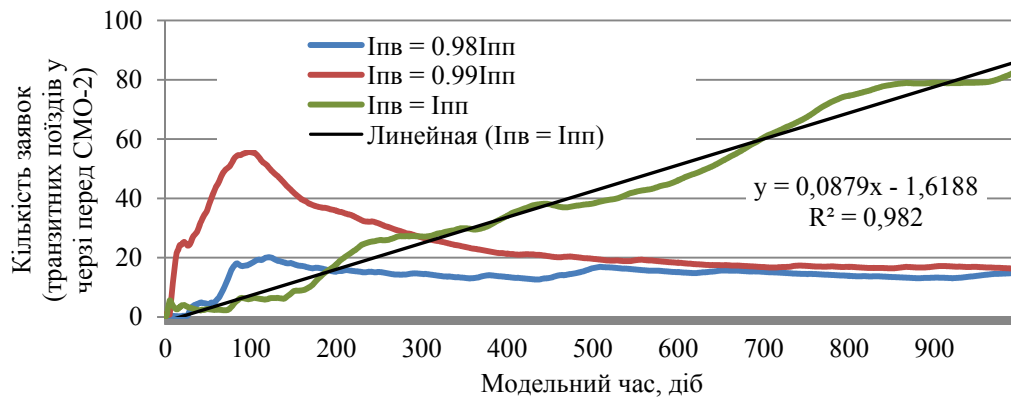


Рис. 3. Середньодобова кількість поїздів, що перебувають у черзі для обслуговування в приймально-відправному парку

Добре видно (рис. 4), що на початок кожної доби із збільшенням часу модельного часу кількість заявок в черзі не зменшується, а постійно збільшується. Крім того, при умові $\overline{I}_{\text{приб.}} = \overline{I}_{\text{відпр.}}$ середньодобова кількість поїздів постійно зростає близьким до лінійного характером: із кожною добою черга збільшується у середньому на 0,0879 поїздів, що за рік становитиме зростання приблизно на 32 поїзда.

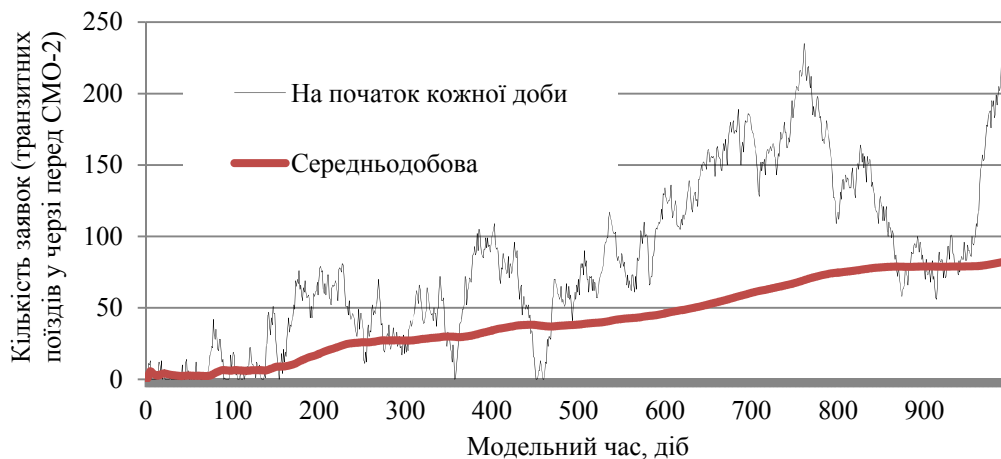


Рис. 4. Формування повної відмови при наближенні $\overline{I}_{\text{відпр.}}$ до $\overline{I}_{\text{приб.}}$

Такої ситуації не спостерігається при умові $\overline{I_{\text{відпр.}}} = 0,99 \overline{I_{\text{приб.}}}$ (рис. 5). На початку моделювання спостерігається різке зростання черги з заявок перед СМО-2, що пояснюється нерівномірністю завантаження приладів обслуговування та каналів моделі на початку моделювання. Однак, приблизно через 150 діб, модельного часу черга зменшується й вже не зростає. Головне, що у подальшому ході моделювання кожне зростання черги змінюється її зниженням до нуля, що свідчить про стабільність процесу, на відміну від ситуації (рис. 4), де після коливань через приблизно 400 – 500 діб черга починає зростати і вже не зменшується до нуля протягом всього періоду моделювання (20 років).

Таким чином при моделюванні типового технологічного процесу із типовими нормами спостерігається систематична відмова, що може бути усунена тільки переглядом та вдосконаленням норм. Для можливості забезпечення задовільної стабільності середній час очікування відправлення поїздів повинен становити не більше:

$$\overline{t_{\text{очікув. відпр.}}} < \frac{0,9 \overline{I_{\text{приб.}}}}{2}; \quad - - - - \quad (6)$$

За умови (6) інтенсивність відмов є критичною, однак технологічний процес є самодостатнім і самостійно може забезпечити власну стійкість: черга із заявок може наростати, але протягом певного періоду часу $t_{\text{крит. черга}}$ технологічний процес здатний дану чергу зменшити та обслужити повністю.

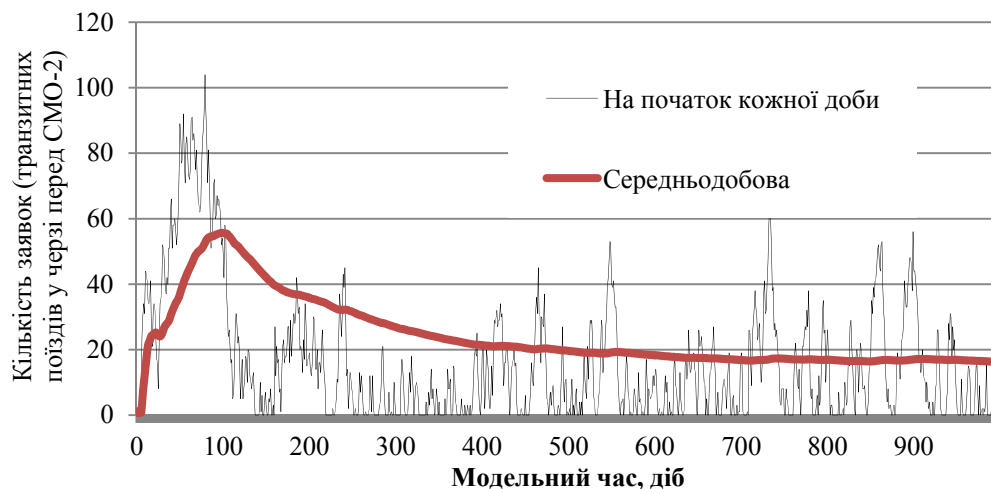


Рис. 5. Відсутність повної відмови при умові $\overline{I_{\text{відпр.}}} = 0,99 \overline{I_{\text{приб.}}}$

Комплексна оцінка технологічного процесу парків залізничних станцій дозволяє визначити набір параметрів, що забезпечить на практиці належний рівень технологічної надійності: імовірності вчасного приймання та відправлення поїздів та середній час наробітку технологічного процесу до відмови.

Звичайно, технологічний процес кожної окремої станції має свої особливості, принципи, унікальні місцеві умови та технічне й технологічне оснащення. Однак запропонований у даних дослідженнях підхід відпрацьовано на типових положеннях, інструкціях та нормах, а отже, може використовуватись для будь-якої прикладної реалізації.

Дослідженнями встановлено, що належна імовірність вчасного приймання поїздів може бути забезпечена тільки при дотриманні умови (6), а середній час обслуговування поїздів на коліях парків значно перевищує час, регламентований типовими нормами [11]. Тому технологічна надійність на рівні $\xi_n \geq 0,93$ може бути забезпечена тільки при дотриманні кореляційної залежності (рис. 2) для значень β_{nn} не більше «порогу надійності» відповідно до (6).

Для практичного використання зазначеного положення доцільним є визначення максимальних середніх значень часу очікування поїздів ниток графіка. Враховуючи кореляційну залежність (5) та умови (1) та (2) отримуємо:

$$\overline{t_{\text{очікув. відпр.}}} < \frac{(0,027m + 0,357)1440}{2N_{\text{доб.}}} = \frac{720(0,027m + 0,357)}{N_{\text{доб.}}}; \quad (7)$$

Умови (2) та (7) дозволяють визначити середній інтервал відправлення, що повинен забезпечуватись для дотриманням умови $\xi_n \geq 0,93$:

$$\overline{I_{\text{відпр.}}} < \frac{1440(0,027m + 0,357)}{N_{\text{доб.}}}; \quad (8)$$

а тому, для граничної мінімальної кількості ниток вантажних поїздів ($N_{\min}$) повинна виконуватись умова:

$$N_{\min} \geq \frac{1440}{\overline{I_{\text{відпр.}}}} \rightarrow N_{\min} \geq \left\lceil \frac{1440N_{\text{доб.}}}{1440(0,027m + 0,357)} \right\rceil; \quad (9)$$

Значення m у формулах (7) – (9) слід розуміти як нормативне, а не фактичне значення кількості приймально-відправних колій у транзитних парках. Кожному такому нормативному значенню $m_{\text{норм}}$ відповідно до [12] відповідає середньодобовий поїздопотік, тобто, формально $m_{\text{норм}} = f(N_{\text{доб.}})$. Зазначена залежність із щільністю $R^2 = 1,0$ апроксимується лінійною функцією:

$$m_{\text{норм}} = 0,0833N_{\text{доб.}} + 2, \quad (10)$$

тому вираз (9) матиме такий вигляд:

$$N_{\min} \geq \left\lceil \frac{N_{\text{доб.}}}{(0,027 \cdot (0,0833 \cdot N_{\text{доб.}} + 2) + 0,357)} \right\rceil, \quad (11)$$

що після перетворень матиме кінцевий вигляд:

$$N_{\min} \geq \left\lceil \frac{N_{\text{доб.}}}{(0,0022491 \cdot N_{\text{доб.}} + 0,411)} \right\rceil, \quad (12)$$

Відповідно до виразу (12) зрозуміло, що при будь-яких (відповідно до [12, табл. 17 – 19]) значеннях $N_{\text{доб.}} \in [1; 180]$ чисельник буде більшим за знаменник:

$$N_{\text{доб.}} > (0,0022491 \cdot N_{\text{доб.}} + 0,411) \text{ для всіх } N_{\text{доб.}} \in [1; 180], \quad (13)$$

отже для всіх, практично застосовуваних значеннях $N_{\text{доб.}}$ буде виконуватись умова:

$$N_{\text{min}} > N_{\text{доб.}}; \quad (14)$$

що не співпадає із діючими вимогами до порядку розробки графіків руху поїздів.

Однак на практиці вже давно застосовуються варіативні графіки руху, при яких закладається більша кількість ниток, ніж того вимагають заплановані розміри руху поїздів. Варіативний графік передбачає тільки можливість організації руху відповідних поїздів і не визначає обов'язкове відправлення поїздів за наявними (варіативними) нитками графіка. Зазначений підхід дозволяє відправляти поїзди за готовністю із забезпеченням необхідних мінімальних середніх очікувань відправлень.

Для зручності, всі кінцеві значення технологічних параметрів прийнятно-відправних парків та прогнозні результати надійності, що можуть бути досягненні при дотриманні числових рекомендацій параметрів, подані у табл. 1 і 2 та на рис. 6.

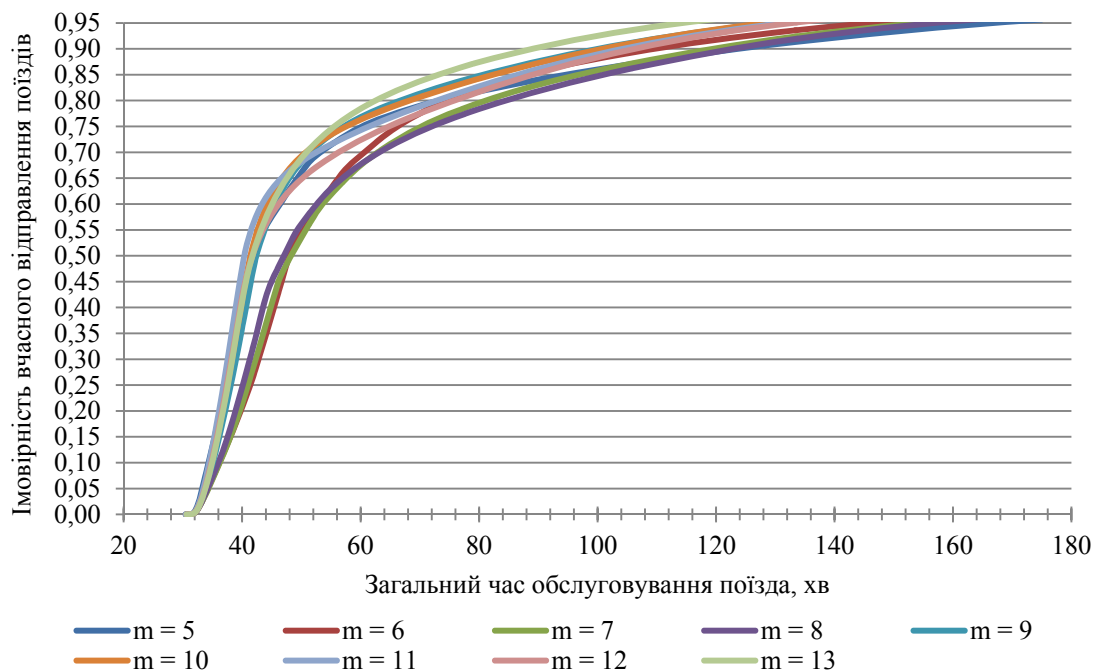


Рис. 6. Графіки функцій розподілу часу обслуговування поїздів для транзитних парків із різними технологічними параметрами

Висновки. Досліджено повну технологічну відмову, яка спостерігається при моделюванні типового технологічного процесу прийнятно-відправних парків технічних станцій і є наслідком систематичної відмови, що вказує на неможливість вчасного відправлення поїздів при дотриманні однакових інтенсивностей їх прибуття та відправлення (рівної кількості ниток графіка руху та запланованих розмірів руху поїздів).

Розроблено метод обґрунтування мінімального резерву пропускної спроможності, який, на відміну від існуючих, враховує колійний розвиток технічних станцій, що обмежують залізничний напрямок (або дільниці) та дозволяє забезпечити потрібну імовірність вчасного приймання поїздів та обґрунтований час їх затримки на приймально-відправних коліях технічних станцій.

Таблиця 1. Рекомендовані технологічні параметри лінії з обробки транзитних поїздів технічних станцій

Розрахункова (середня) кількість вантажних поїздів за добу	Кількість колій у парку для прийман- ня та відправлення поїздів	Кількість бригад ТО (кількість груп у кожній бригаді), не менш	Розрахункова кіль- кість локомотивів із резервом 15%*, не менш	Середній інтервал відправлення поїз- дів, не більш, хв.	Мінімальна кіль- кість ниток варіати- вного ГРП, не менш	Середній час очіку- вання нитки графі- ка, не більш, хв.
до 36	5	1	17	19.7	74	9.8
37-48	5-6	1	22	15.6	93	7.8
49-60	6-7	2	26	13.1	110	6.6
61-72	7-8	2	31	11.5	126	5.7
73-84	8-9	2	35	10.3	140	5.1
85-96	9-10	2	39	9.4	154	4.7
97-108	10-11	2	43	8.7	166	4.4
109-120	11-12	2	47	8.2	177	4.1
121-132	12-13	2	52	7.7	187	3.9

*Примітка: потрібна кількість поїзних локомотивів визначається діючими типовими нормами для кожного окремого випадку. Для даного розрахунку кількість поїзних локомотивів визначалась для маршруту Дарниця-Козятин із часом обороту 485 хв.

Таблиця 2. Очікувані результати технологічної надійності лінії з обробки транзитних поїздів при дотриманні рекомендованих норм

Розрахункова (середня) кількість вантаж- них поїздів за добу	Імовірність вчасно- го приймання поїз- дів ($\xi_{н.в.пр.}$), не менше	Максимальний час обслуговування поїзда (хв.) при забезпеченні імовір- ності вчасного відправлення поїздів ($\xi_{н.в.пр.}$), не менше, хв.				Параметри часу безвідмовного функціонування	
		0.25	0.50	0.75	0.95	M(x), годин	v(x)
до 36	0.925	37	42	60	167	202	1.6
37-48	0.944	41	48	66	146	191	1.6
49-60	0.931	41	48	70	154	143	1.7
61-72	0.925	40	47	72	157	119	1.8
73-84	0.952	38	42	57	130	168	1.7
85-96	0.952	38	41	58	128	154	1.7
97-108	0.946	37	40	61	132	150	1.7
109-120	0.943	37	42	65	133	150	1.8
121-132	0.963	38	42	56	114	262	1.8

ЛІТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б. В. Современная теория надежности: состояние, проблемы перспективы / Гнеденко Б. В., Ушаков И. А. – НКК. – 1989. – № 1.
2. Курс теорий надежности систем / И. А. Ушаков. – М. : Дрофа, 2008. – 239 с. : ил.
3. Определение мощности путевого развития и времени нахождения вагонов на станциях: Учеб. пособие Е. В. Архангельский, М. М. Алаев, А. Н. Сухопяткин; МПС России. Рос. гос. открытый техн. ун-т путей сообщения, М., 1999. 78с.
4. Butko, T. An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic [Text] / T. Butko, A. Prokhorchenko, M. Muzykin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Control processes. – 2016. – Vol. 5. – P. 47–55.
5. Bell, M. G. H. Reliability of Transport Network (Traffic Engineering Series). 1 edition / M. G. H. Bell. – Research Studies Pre. – 2001. – 350 p.
6. Самсонкін В. М. Розробка моделей оцінки впливу людського чинника на інноваційний розвиток підприємств залізничного транспорту / В. М. Самсонкін, М. М. Аджавенко // Проблеми економіки. – 2014. – № 1. – С. 77-82. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2014_1_11.
7. Katsman, M. D. Mathematical models of ecologically hazardous rail traffic accidents [Text] / M. D. Katsman, V. K. Myronenko, V. I. Matsiuk // Reliability: theory & applications. – USA, San Diego, 2015. – Vol.10, No.1 (36). – P. 28 – 39. – Mode of access: http://www.gnedenko-forum.org/Journal/2015/012015/RTA_1_2015-03.pdf
8. Мацюк, В. І. Дослідження технологічної надійності парків технічних станцій дискретно-подієвим моделюванням [Текст] / В. І. Мацюк// Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології. – 2015, № 26 – 27. – С. 268 – 272.
9. Matsiuk, V. A study of the technological reliability of railway stations by an example of transit trains processing [Text] / V. Matsiuk// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Control processes. – 2017. – Vol. 1. P. 12-17.
10. Мацюк, В. І. Принципи забезпечення технологічної надійності залізничних транспортних систем [Текст] / В. І. Мацюк// Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології. – 2016, № 28. – С. 262 – 271.
11. Практичні рекомендації щодо складання технологічного процесу роботи сортувальної станції, затверджені Наказом Укрзалізниці від 22.12.2009 р. № 715-Ц (ЦД-0081). – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2010. – 230 с.
12. ДБН-В.2.3-19-2008 Державні будівельні норми. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. – Введений 2008-01-26. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 126 с.

***Viacheslav I. Matsiuk, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)***

RESEARCHES OF COMPLETE AND SYSTEMATIC TECHNOLOGICAL FAILURES OF RAILWAY STATIONS

The paper dependences of the influence of train arrival intervals to full and systematic technological failures of station parks have been researched. For practical implementation the method of justification minimum reserve capacity has been created, which, unlike existing ensures appropriate probability of timely acceptance of trains and their reasonable time delay on station's tracks.

Keywords: *technological reliability of rail transport systems, complete technological failures, systematic technological failures.*

REFERENCES

1. Hnedenko B. V. Sovremennaiia teoriia nadezhnosti: sostoianye, problemy perspektivy / Hnedenko B. V., Ushakov Y. A., NyKK, 1989.
2. Kurs teorii nadezhnosti system / Y. A. Ushakov, M. : Drofa, 2008, 239 p. : yl.
3. Opredeleniye moshchnosti putevogo razvityia y vremeny nakhozhdeniya vagonov na stantsiyakh: Ucheb. posobyie E. V. Arkhanhelskiy, M. M. Alaev, A. N. Sukhopiatkin; MPS Rossyy. Ros. hos. otkrytyi tekhn. un-t putei soobshcheniya, M., 1999, 78 p.
4. Butko, T. An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic [Text] / T. Butko, A. Prokhorchenko, M. Muzykin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Control processes, 2016, No. 5, P. 47–55.
5. Bell, M. G. H. Reliability of Transport Network (Traffic Engineering Series). 1 edition / M. G. H. Bell, Research Studies Pre., 2001, 350 p.
6. Samsonkin V. M. Rozrobka modelei otsinky vplyvu liudskoho chynnyka na innovatsiyni rozvytok pidpriemstv zaliznychnoho transportu / V. M. Samsonkin, M. M. Adzhavenko // Problemy ekonomiky. – 2014. – № 1. – S. 77-82. – Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2014_1_11.
7. Katsman, M. D. Mathematical models of ecologically hazardous rail traffic accidents / M. D. Katsman, V. K. Myronenko, V. I. Matsiuk // Reliability: theory & applications, USA, San Diego, 2015, Vol.10, No.1 (36)., Pp. 28-39. Mode of access: http://www.gnedenko-forum.org/Journal/2015/012015/RTA_1_2015-03.pdf
8. Matsiuk, V. I. Doslidzhennia tekhnolohichnoi nadiinosti parkiv tekhnichnykh stantsii dyskretno–podiiivym modeliuvanniam [Tekst] / V. I. Matsiuk// Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko–tekhnolohichnoho universytetu transportu. Serii: Transportni systemy i tekhnolohii, 2015, No. 26 – 27, pp. 268 – 272.
9. Matsiuk, V. A study of the technological reliability of railway stations by an example of transit trains processing [Text] / V. Matsiuk// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Control processes. – 2017, No. 1, P. 12-17.
10. Matsiuk, V. I. Pryntsypy zabezpechennia tekhnolohichnoi nadiinosti zaliznychnykh transportnykh system [Tekst] / V. I. Matsiuk// Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko–tekhnolohichnoho universytetu transportu. Serii: Transportni systemy i tekhnolohii, 2016, No. 28, pp. 262 – 271.
11. Praktychni rekomendatsii shchodo skladannia tekhnolohichnoho protsesu roboty sortuvalnoi stantsii, zatverdzeni Nakazom Ukrzaliznytsi vid 22.12.2009 r. № 715-Ts (TsD-0081), K.: TOV «NVP Polihrafservis», 2010, 230 p.
12. DBN-V.2.3-19-2008 Derzhavni budivelni normy. Sporudy transportu. Zaliznytsi kolii 1520 mm. – Vvedenyi 2008-01-26, K.: Minrehionbud Ukrainy, 2008, 126 p.

УДК 629.7

Н. А. Долженко, к.п.н.

(асоц. професор Академії Гражданської Авіації, Республіка Казахстан, г. Алмати)

М. Ю. Касенкова

(студентка 2 курсу Академії Гражданської Авіації, Республіка Казахстан, г. Алмати)

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА АВАРИЙНОСТЬ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

Актуальность проблемы человеческого фактора связана с тем, что в современной авиации источником авиационных инцидентов является персонал. Статистика свидетельствует, что, несмотря на постоянные усилия, направленные на повышение безопасности полетов (БП), в последние годы не наблюдается существенного снижения аварийности. Каждые три из четырех инцидентов происходят по причине функциональной ненадежности человека. Неправильное понимание ситуации, принятие ошибочных решений и, как следствие, небезопасные действия – главные причины большинства инцидентов. Несмотря на то, что уровень безопасности современной авиации очень высок, рост воздушных перевозок и пассажиро-вместимости ВС делают цену каждой ошибки недопустимо-высокой. А сложность и насыщенность современной авиационной транспортной системы (АТС) автоматикой делают ошибку человека чрезвычайно вероятной, если не будет найдено эффективных средств ее предупреждения, поэтому сегодня главный акцент в борьбе за безопасность полетов направлен на человека.

Ключевые слова: авиация, авиационное происшествие, авиационная транспортная система, безопасность полетов, воздушный транспорт, человеческий фактор.

Актуальність проблеми людського фактора пов'язана з тим, що в сучасній авіації джерелом авіаційних інцидентів є персонал. Статистика свідчить, що, незважаючи на постійні зусилля, спрямовані на підвищення безпеки польотів (БП), в останні роки не спостерігається істотного зниження аварійності. Кожні три з чотирьох інцидентів відбуваються через функціональної ненадійності людини. Неправильне розуміння ситуації, прийняття помилкових рішень і, як наслідок, небезпечні дії – головні причини більшості інцидентів. Незважаючи на те, що рівень безпеки сучасної авіації дуже високий, зростання повітряних перевезень і пасажиро-місткості ВС роблять ціну кожної помилки неприпустимо-високою. А складність і насиченість сучасної авіаційної транспортної системи (АТС) автоматикою роблять помилку людини надзвичайно вірогідною, якщо що не знайдено ефективних засобів її попередження, тому сьогодні головний акцент в боротьбі за безпеку польотів спрямований на людину.

Ключові слова: авіація, авіаційна подія, авіаційна транспортна система, безпека польотів, повітряний транспорт, людський фактор.

© Долженко Н. А., Касенкова М. Ю., 2017

Постановка проблеми. Воздушный транспорт выполняет роль одного из главных перевозчиков пассажиров на большие расстояния. Однако основные исследования в области авиационной безопасности приводят к однозначному выводу, что основной причиной большинства аварий и катастроф на – воздушном транспорте является человеческий фактор. Проблема человеческого фактора в авиационной аварийности с каждым годом все больше осознается международным сообществом как наиболее приоритетная.

Анализ последних исследований и публикаций. В последнее время наблюдается постоянное совершенствование авиационной техники, в результате которого резко возрастает количество элементов управления и контроля. В результате этого сокращается время, необходимое для выхода из экстремальной ситуации. Кроме того, некоторыми авторами отмечается возникновение психофизиологического барьера, наличие которого особенно сказывается при усложнении условий полета, когда вследствие недостаточной психофизиологической и психологической подготовленности пилот не в состоянии обеспечить качественное выполнение профессиональных функций. Необходимо отметить, что на сегодняшний день в научной литературе отсутствует единая трактовка понятия человеческого фактора. Так, Жулев В.И. и Иванов В.С. включают в понятие человеческого фактора ограничения деятельности членов экипажа и других категорий личного состава автоматизированной транспортной системы, обусловленные особенностями техники, с которой они взаимодействуют [1]. Стариков А.И., Зачеса В.Я. и Зинковский Н.Н. под человеческим фактором понимают совокупность психических, физиологических, биохимических, антропометрических и прочих свойств человека, которые определяются критериями функционального соответствия человека и техники с учетом их изменения у всего (или только определенной части) летного состава [2]. В соответствии с определением принятым ИКАО «человеческий фактор – это наука о людях в той обстановке, в которой они живут и трудятся, об их взаимодействии с машинами, процедурами и окружающей обстановкой, а также о взаимодействии людей между собой» [3-5]. Происходящие в авиации непрерывные количественные перемены привели к сравнительно быстрому качественному изменению проблемы безопасности полетов, трансформации ее из технической в социальную, психологическую, психофизиологическую и т. п., которые в обобщенном виде трактуются как проблема человеческого фактора в авиации.

Проблема человеческого фактора в авиации, таким образом, возникла вследствие несоответствия возможностей человека-оператора требованиям, предъявляемым к нему в системе управления современной авиационной техникой.

Цель статьи. Целью статьи является выявление влияния человеческого фактора на аварийность воздушного транспорта.

Изложение основного материала исследования. Общая безопасность и эффективность эргатической системы управления «экипаж – ВС – среда – орган УВД» зависит от человека-оператора, объединяющего в конечном итоге все многочисленные компоненты системы. С одной стороны, он – наиболее сильное звено, поскольку может значительно повысить надежность системы, активно вмешиваясь в компенсацию отказов ее технической части. Вместе с тем, это и наиболее слабое звено системы. ИКАО, проводя последовательную работу по обобщению и распространению опыта учета ЧФ при обеспечении БП, акцентирует внимание на необходимости раннего выявления потенциальных проблем, связанных с ЧФ. Этот тезис поддержан в документе ЕВРОКОНТРОЛЯ « Human Factors Module- A Business Case for Human Factors Investment», где в качестве примера выделены три различные стратегии подхода к аспектам ЧФ на протяжении срока службы [7-10] системы АТМ (табл. 1).

Таблиця 1. Три стратегії підходу к аспектам ЧФ

Підхід «никаких дій»	«Ретроактивний підхід»	«Проактивний підхід»
Нікакі ініціативи по профілактиці проблем, зв'язаних з ЧФ, не підприємляються, проблеми ршуються лише после их возникновения	Решение проблем, связанных с ЧФ, откладывается на последние этапы процесса разработки системы	Проблемы ршаются до их возникновения

Ошибки, называемые проявлением человеческого фактора, как правило, непреднамеренны: человек выполняет ошибочные действия, расценивая их как верные или наиболее подходящие.



Діаграма 1. Причини, спосбствуючі ошибочным действиям человека

Недостатки информационного обеспечения могут проявляться как дефицит информации, необходимой для принятия решения; информационная перегрузка, при которой из обилия поступающих сигналов трудно выделить те, которые служат для принятия решения; фрагментарность поступающей информации.

Внешние факторы, проявляющиеся как помехи восприятию информации, способствуют возникновению ошибок. В опасных и аварийных ситуациях в особенности проявляются ограничения, вызванные физическим и психическим состоянием и свойствами человека. Ограниченность ресурсов и дефицит времени на принятие решения обычно усугубляется переживанием высокой ответственности за свои действия. Отсутствие полной уверенности в успешности выполнения предстоящего действия, сомнения в возможности достижения цели деятельности порождают эмоциональную напряженность, которая проявляется как чрезмерное волнение, интенсивное переживание человеком процесса деятельности и ожидаемых результатов. Эмоциональная напряженность ведет к ухудшению организации деятельности, перевозбуждению или общей заторможенности и скованности в поведении, возрастанию вероятности ошибочных действий. Степень эмоциональной напряженности зависит от оценки челове-

ком своей готовности к действиям в данных обстоятельствах и ответственности за их результаты. Появлению напряженности способствуют такие индивидуальные особенности человека, как излишняя впечатлительность, чрезмерная старательность, недостаточная общая выносливость, импульсивность в поведении [11].

Источником ошибок может служить снижение бдительности в привычной и спокойной обстановке, когда человек расслабляется и не ожидает возникновения какого-либо осложнения. При монотонной работе иногда появляются ошибки, которые практически никогда не встречаются в напряженных ситуациях. Ошибки в выполнении тех или иных действий могут быть связаны с неудовлетворительным психическим состоянием субъекта деятельности, которое характеризуется подавленным настроением, повышенной раздражительностью, замедленностью реакций, а иногда, наоборот, излишним волнением, суетливостью, ненужной говорливостью. У человека рассеивается внимание, возникают ошибки при выполнении необходимых действий, в особенности при неожиданных отказах оборудования или внезапных изменениях ситуации. Причинами, способствующими появлению такого состояния, могут быть переживание какого-либо неприятного события, утомление, начинающееся заболевание, а также неуверенность в своих силах или недостаточная подготовленность к данному сложному или новому виду деятельности [12].

Причины авиационных происшествий и их предпосылки можно разделить на 3 основных класса: связанные с отказом техники, с влиянием факторов внешней среды и обусловленные «виной» человеческого фактора. Причины авиационных происшествий и их предпосылки можно разделить на 3 основных класса: связанные с отказом техники, с влиянием факторов внешней среды и обусловленные «виной» человеческого фактора. Как известно, наибольшее количество авиационных происшествий и катастроф связано с ошибками в действиях экипажей воздушных судов (ВС) свыше 80% от общего количества авиационных происшествий. Они обусловлены нарушением ими правил выполнения полетов, а также с ошибками в действиях специалистов наземных служб, которые вошли в авиационную терминологию под общим названием «проблема человеческого фактора».

К настоящему времени в авиационном сознании сформировалось два взаимоисключающих подхода к восприятию и объяснению этой весьма не простой проблемы. Первый – явно выраженный обвинительный, при котором установление ошибочного действия рассматривается как окончание расследования, а экипаж или летчик, допустивший ошибку, считается виновным со всеми вытекающими отсюда последствиями. Второй подход основан на системной методологии. Согласно этому подходу, ошибка в действиях экипажа выступает не конечной, а начальной точкой расследования, в процессе которого выявляется вся совокупность отношений и взаимодействий, из которых проистекают причинно-следственные связи возникновения, неблагоприятного развития и исхода особой ситуации полета. При этом изначально предполагается, что причину надо искать не столько в экипаже, сколько во всех элементах авиационной системы [13].

ИКАО для реализации системного подхода к выявлению ошибочных решений и потенциальных опасностей в авиационных системах использует: модель SHELL и модель «Ризона» (табл. 2) .

Способы уменьшения влияния ЧФ:

1. Мотивационная часть – пропаганда и воспитание.
2. Ориентировочная – обучение, отработка навыков.
3. Исполнительная – профотбор, медицинское обследование [4, 5, 14].

Таблиця 2. Основные модели, предназначенные для исследования человеческого фактора

Модель SHEL	Модель «Ризона»
Модель SHEL представляет собой развитие традиционной системы «человек – машина – окружение» название является производным от первых букв его компонентов). SHEL делает упор на человеческое существо и человеческое отношение к другим компонентам системы авиации. Используется следующая номенклатура: а) Обеспечение человеческими ресурсами (Liveware (L)) (люди на рабочих местах); б) Техническое обеспечение (Hardware (H)) (машины и оборудование); в) Программное обеспечение (Software (S)) (процедуры, тренировка, поддержка и т.д.); г) Окружение (Environment (E)) (условия работы, в которых остальные компоненты (L–H–S) системы должны функционировать	Модель «Ризона» поясняет, каким образом человек «содействует» нарушению работоспособности хорошо организованной системы, имеющей, однако, целый ряд недостатков и подверженной различным неблагоприятным факторам, независящим от персонала. В связи с этим отказы могут носить: активный характер (проявляются незамедлительно по причине, связанной с нарушением (ошибкой) исполнителя); скрытый характер, если нарушение допущено задолго до происшествия (при принятии решений или на уровне линейного руководства). Ошибки человека при ТО воздушного судна могут быть двух основных видов: 1) проводящие к конкретному отказу или повреждению, которых не было до начала проведения ТО; 2) не выявленное нежелательное или небезопасное техническое состояние ВС при выполнении работ по ТО

Выводы и перспективы дальнейшего использования. Безаварийность летной работы обусловлена оптимальным соотношением между требованиями авиационной техники и возможностями человека. Следовательно, и проблема безопасности полетов может успешно разрешаться только при учете взаимосвязи человека и техники. Возможности приспособления человека к разнообразным факторам летного труда не безграничны, и поэтому ведущим направлением в овладении стихией воздуха является дальнейший технический прогресс авиации с учетом психофизиологических возможностей человека. Необходимо формировать на уровне авиакомпаний концепцию человеческого фактора, которая бы рассматривала работника во всем многообразии его способностей, потребностей, ценностных ориентаций, как гарант безопасности полетов и, таким образом, конкурентоспособности предприятия. Идеалом профилактики летных происшествий является создание такой авиационной техники, при которой исключалась бы возможность ошибочных действий пилота [14].

ЛИТЕРАТУРА

1. Жулев В.И., Иванов В.С. Безопасность полетов летательных аппаратов (Теория и анализ). – М.: Транспорт, 1986. – 11 с.
2. Стариков А.И. Зачеса В.Я., Зинковский Н.Н. Безопасность полетов летательных аппаратов (Методические основы) / Под ред. А.И. Старикова. – М.: Транспорт, 1988. – 129 с.

3. *Руководство по обучению в области человеческого фактора.* (Doc.9683-AN/950). – Издание первое. – Канада, Монреаль, ICAO, 1998. – 11 с.
4. Samsonkin, V. N., Druz, V. A. (2005). Method of statistical regularity in management of traffic safety on railway transport. Donetsk institute of railway transport, 160.
5. Samsonkin, V. N., Petinov, Y. P. (2015). Peculiarities of the train driver's work in modern conditions: a view from inside. Eastern-European Journal of Enterprise Technology, 6 (3), 40–45. doi: 10.15587/1729-4061.2015.56659
6. <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-chelovecheskogo-faktora-na-bezopasnost-poletov-pri-tehnicheskoy-obsluzhivani-aviatsii>;
7. <http://www.studfiles.ru/preview/5374699/page:5/>;
8. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas/ M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 6 – P.64-67
9. Макаренко М.В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагона // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – К.: ДНДЦ УЗ. – 2014. – №. 5. – С. 107.
10. Мороз В.І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» //Зб. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ. – 2008. – С. 72-81.
11. http://www.rusnauka.com/15_DNI_2008/Tecnic/32426.doc.htm;
12. <http://cabinair.ru/bp/189-human-factor-is-safety.html>;
13. <http://www.100sovetov.ru/bezop/airplain.php>;
14. http://www.rusnauka.com/14_APSN_2008/Tecnic/32425.doc.htm;

N. A. Dolzhenko, Ph.D.

(Associate Professor of the Academy of Civil Aviation, Republic of Kazakhstan, Almaty)

M. Yu. Kasenkova

(2nd year student of the Academy of Civil Aviation, Republic of Kazakhstan, Almaty)

THE INFLUENCE OF THE HUMAN FACTOR ON THE EMERGENCY AIR TRANSPORT

The actuality of the human factor problem is related to the fact that personnel are the source of aviation incidents in modern aviation Statistics show that despite constant efforts to improve flight safety (BP), in recent years, there has been no significant decrease in accidents. Three out of four incidents occur because of a person's functional unreliability: misunderstanding the situation, making erroneous decisions and, as a consequence, unsafe actions are the main ones The reasons for the majority of incidents Despite the fact that the level of safety of modern aviation is very high, the growth of air traffic and passenger capacity of the aircraft makes the price of each error unacceptably high, while the complexity and saturation of the modern air transport system (ATC) by automation make a person's mistake extremely likely, If no effective means of preventing it are found, so today the main emphasis in the struggle for flight safety is aimed at a person.

Keywords: aviation, aviation accident, aviation transport system, flight safety, air transport, human factor.

REFERENCES

1. Zhulev V.I, Ivanov V.S Flight safety of aircraft (Theory and Analysis), Moscow: Transport, 1986. 11, 224 p.
2. Starikov A.I. Zachesk V.Ya., Zinkovsky N.N. Safety of flights of aircraft (Methodical basis) / Ed. A.I. Starikova. – Moscow: Transport, 1988, No. 129, 159 p.
3. *Human Factors Training Manual* (Doc.9683-AN / 950). – First edition, Canada, Montreal, ICAO, 1998, 330 p.
4. Samsonkin, V. N., Druz, V. A. (2005). Method of statistical regularity in management of traffic safety on railway transport. Donetsk institute of railway transport, 160.

5. *Samsonkin, V. N., Petinov, Y. P.* (2015). Peculiarities of the train driver's work in modern conditions: a view from inside. *Eastern-European Journal of Enterprise Technology*, 6 (3), 40–45. doi: 10.15587/1729-4061.2015.56659
6. <http://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-chelovecheskogo-faktora-na-bezopasnost-poletov-pri-tehnicheskoy-obsluzhivani-aviatsii>;
7. <http://www.studfiles.ru/preview/5374699/page:5/>;
8. *Kelrykh M.* Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. *Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry»*. No 6, p.p. 64–67
9. *Makarenko M. V.* Kompleksnyi analiz ekonomichnogo efektu vid zhyttievoho tsyклу suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola] // *Naukovo-praktychnyi zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy»*.—Kyiv: DNDTs UZ, 2014, No. 5, p. 107.
10. *Moroz V. I.* (2008). Vyznachennia perspektivnykh napriamkiv udoskonalennia konstrukttsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon» [Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE «Ukrspetsvagon»]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu*, 72–81.
11. http://www.rusnauka.com/15_DNI_2008/Tecnic/32426.doc.htm;
12. <http://cabinair.ru/bp/189-human-factor-is-safaty.html>;
13. <http://www.100sovetov.ru/bezop/airplain.php>;
14. http://www.rusnauka.com/14_APSN_2008/Tecnic/32425.doc.htm;

УДК 656.078

*Г. С. Прокудін, д.т.н., професор
(завідувач кафедри «Міжнародні перевезення та митний контроль», Національний транспортний університет)
О. А. Чупайленко, к.т.н.
(доцент кафедри «Міжнародні перевезення та митний контроль», Національний транспортний університет)
К. О. Майданик
(аспірант, Національний транспортний університет)
І. О. Ремех
(аспірант, Національний транспортний університет)
Ю. В. Пилипенко
(аспірант, Національний транспортний університет)*

АНАЛІЗ І ШЛЯХИ РЕФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

У статті здійснено аналіз розвитку транспортної системи України, визначені головні проблеми розвитку транспортної галузі, інтеграції транспортної системи України до європейської та світової транспортних мереж. Запропоновано напрями подальшого реформування транспортної галузі України.

Об'єкт дослідження – транспортна система України.

Мета роботи – вирішення загальних проблем в розвитку транспортної інфраструктури, аналіз проблеми і перспективи розвитку міжнародних транспортних перевезень на території України.

Метод дослідження – статистичний аналіз основних показників роботи різних видів транспорту України.

На сьогодні транспортний сектор України – значний і важливий сегмент для економіки країни, адже ефективна та злагоджена робота цілої транспортної системи є рухомою силою для загального розвитку країни. До транспортної системи висунуті високі вимоги щодо якості, регулярності та надійності транспортних зв'язків, збереження вантажів, безпеки перевезення пасажирів, швидкості та якості доставки. Потреба у транспортній системі, що чітко функціонує, дедалі посилюється, стає базисом сталого розвитку продуктивних сил регіонів, а також запорукою інтеграції нашої країни до світових ринків. У дослідженні запропоновані заходи удосконалення транспортної системи країни.

Ключові слова: транспортна система, вантажоперевезення, транзит, міжнародні перевезення, транспортні технології, логістична система, кластери, транспортні коридори.

В статті проведено аналіз розвитку транспортної системи України, определены главные проблемы развития транспортной отрасли, интеграции транспор-

© Прокудін Г. С., Чупайленко О. А., Майданик К. О., Ремех І. О., Пилипенко Ю. В., 2017

тної системи України в європейську і мирову транспортні мережі. Предложено напрямки подальшого реформування транспортної галузі України.

Об'єкт дослідження – транспортна система України.

Ціль роботи – рішення загальних проблем в розвитку транспортної інфраструктури, аналіз проблеми і перспективи розвитку міжнародних транспортних перевезень на території України.

Метод дослідження – статистичний аналіз основних показників роботи різних видів транспорту України.

На сьогоднішній день транспортний сектор України – це значущий і важливий сегмент для економіки країни, адже ефективна і узгоджена робота всієї транспортної системи є рушійною силою для загального розвитку країни. До транспортної системи пред'являються високі вимоги щодо якості, регулярності і надійності транспортних зв'язків, збереження вантажів, безпеки перевезень пасажирів, швидкості і якості доставки. Потреба в транспортній системі, яка чітко функціонує, посилюється, стає основою сталого розвитку виробничих сил регіонів, а також запорукою інтеграції нашої країни до світових ринків. В дослідженні запропоновано заходи удосконалення транспортної системи країни.

Ключові слова: транспортна система, вантажоперевезення, транзит, міжнародні перевезення, транспортні технології, логістична система, кластери, транспортні коридори.

Постановка проблеми. Транспорт – одна з найважливіших галузей національної економіки, ефективне функціонування якої є необхідною умовою стабілізації, структурних перетворень економіки, розвитку зовнішньоекономічної діяльності, задоволення потреб населення та суспільного виробництва у перевезеннях, захисту економічних інтересів України.

На жаль, характерними рисами сьогоденного стану діяльності транспортно-дорожнього комплексу (ТДК) є наступне: стрімко йдуть на спад обсяги, в першу чергу вантажних перевезень; критичного рівня досяг фінансовий стан галузі; практично зношений рухомий склад та матеріально-технічна база; їх реконструкція, ремонт і технологічне обслуговування фактично відсутні. Вкрай незадовільно вирішуються питання приватизації, розвитку державно-приватного партнерства, залучення інвестицій, технічних інновацій та технологічної модернізації в галузі, не задовольняються навіть мінімальні соціальні потреби працівників галузі, зруйнована система безпеки та контролю на транспорті. В останні роки поставлені в тінь питання встановлення тарифів та ціноутворення, закупівель та використання державного майна, вирішення міжнародних питань паралізоване, що призводить до втрати транзитних перевезень через територію України. Таким чином, прискорення вирішення цих проблем має важливе значення не тільки для транспортної галузі, а й для держави в цілому, ефективного функціонування її виробничої та соціальної сфер, яке значною мірою забезпечується стабільною і надійною роботою транспорту. Крім того, збільшується роль транспорту у розвитку зовнішньоекономічних зв'язків, реалізації геополітичного потенціалу України як транзитної держави.

Виклад основного матеріалу дослідження. Враховуючи, що за географічним положенням саме через територію України проходять найкоротші напрямки транзитних вантажопотоків, а також за наявності розвинутої транспортної мережі та незамерзаючих портів, існують потенційні можливості для збільшення обсягів міжнародного транзиту вантажів.

Україна веде активну політику підтримки європейських ініціатив щодо міжнародних транспортних коридорів (МТК), пропонує свої варіанти коридорів Європейському співтовариству.

Постановою Кабінету Міністрів України від 4 серпня 1997 року № 821 затверджено Концепцію створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні. Згідно з нею в Україні вигідне для створення міжнародних транспортних коридорів геополітичне становище, вона має розвинуту промисловість, спроможну виготовляти та обслуговувати сучасні транспортні засоби, дорожньо-будівельну техніку, а також потужний потенціал наукових, проектних, навчальних закладів та кваліфікованих кадрів [1].

Ступінь використання транспортної інфраструктури України ще досить низький. Створення транспортних коридорів та входження їх до міжнародної транспортної системи визнано пріоритетним загальнодержавним напрямом розвитку транспортно-дорожнього комплексу України. Проте у вітчизняній правовій науці немає комплексних досліджень щодо правового забезпечення функціонування та розвитку транспортних коридорів на території України. Своєю чергою, це впливає на розвиток ринку транспортних послуг.

Сьогодні МТК реалізують розширений спектр транспортних послуг. Це, по-перше, доставка вантажів найкоротшим шляхом і в мінімальні терміни. У МТК відбувається також перевалка вантажів з одного виду транспорту на інший та їхня обробка [2]. Весь комплекс транспортних робіт вимагає розвитку як самих шляхів сполучення (автомобільні дороги, залізничні колії), так і транспортно-складських комплексів (ТСК) по обробці і перевалці вантажів (водні та повітряні порти, залізничні станції, контейнерні термінали), усієї транспортної системи (під'їзні шляхи, ремонтні підприємства, розгалужена сфера послуг).

Міжнародна мережа транспортних коридорів (рис. 1) визначена деклараціями транс'європейських конференцій з питань транспорту.



Рис. 1. Міжнародна мережа транспортних коридорів

Транзитні можливості України визначаються, перш за все, як певна частка загальних пропускних спроможностей транспортної мережі. За обсягом транзиту перше місце посідає трубо-провідний транспорт. Далі місця розподілилися наступним чином: залізничний, автомобільний, морський і повітряний транспорт [3]. Кожний з видів транспорту має труднощі трансформаційного періоду і з більшою або меншою ефективністю долає їх. Чільне місце у розвитку транзитності держави посідає автомобільний транспорт. На його частку припадає 60% річного обсягу перевезень вантажів та пасажирів. Автомобільний транспорт є сполучною ланкою в морських, залізничних і авіаційних перевезеннях. Цей вид транспорту домінує у вантажних перевезеннях на короткі відстані (середня відстань перевезення 1 т вантажів – близько 20 км). Автомобільний транспорт спроможний значно диверсифікувати прикордонні перевезення, посилити транзитність держави, гарантувати збереження вантажу, терміновість і надійність перевезень.

Технологічні потужності національної транспортної інфраструктури здатні щороку перевозити залізницями більш ніж 1 млрд. т вантажів, переробляти в портах понад 160 млн. т. вантажів та доставляти трубопровідним транспортом близько 200 млн т вуглеводнів. З цих потужностей значна частка орієнтована на виконання транзитних функцій [4]. Наявний транзитний потенціал України, за оцінками експертів, використовується на 70%, а на транспорті загального користування – на 50%.

Необхідно зазначити, що наша країна має найвищий в Європі коефіцієнт транзитності. За даними британського інституту «Рендел», він складає 3,75 (для порівняння: коефіцієнт транзитності географічно вдало розташованої Польщі – 2,92). Але, завдяки грамотному використанню свого територіального розташування, Польща від транзиту щорічно отримує до 4 млрд. доларів і постійно нарощує свою транспортну привабливість, в той час як Україна зі своєю широкою мережею залізничних і автомобільних доріг, морських і річкових портів, поромних переправ, здатних переробляти вантажі будь-якої номенклатури, з кожним роком втрачає старі і ледь залучає нові вантажопотоки.

В Україні одна з найдовших мереж залізниць у Європі. Вона налічує 21,7 тис. км. залізничних шляхів. На рис. 2 показано, що це менше, ніж у Франції, але більше, ніж у Польщі, наприклад.

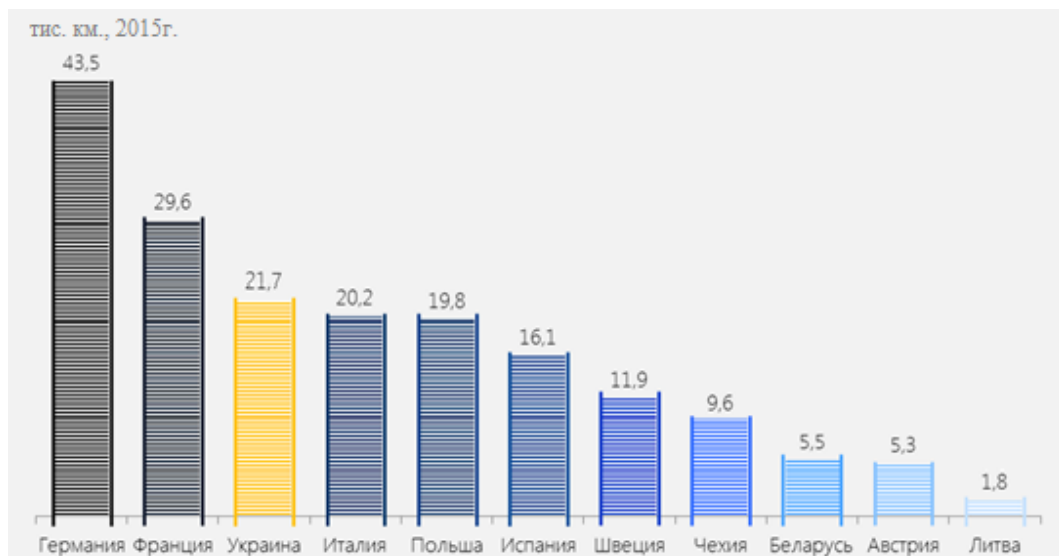


Рис. 2. Загальна протяжність залізничних шляхів європейських держав

Така протяжність залізниці приховує в собі величезний потенціал щодо вантажних і пасажирських перевезень. Але 90% залізничних складів зношені, і тому не можуть забезпечувати максимальний вантажообіг як національного, так і транзитного характеру. Застарілість основних засобів, значна частина колій є не електрифікованою (більше 70%), середня швидкість пересування становить 20 км/год.

Зараз значна частина залізничних колій та залізничних терміналів не відповідає європейським стандартам. Від Радянського Союзу Україні у спадок серед всього іншого залишилась система залізничних колій, ширина яких не відповідає ширині європейських. Це наносить відчутний удар по транзитним перевезенням, оскільки на кордоні вагони потрібно або перевантажувати, або міняти колеса. Це створює додаткові труднощі та затримку в часі.

Звичайно, що одночасна заміна колій є неможливою, тому в цьому випадку можна запропонувати наступні можливі часткові рішення. Або якомога покращити систему перевантаження вагонів на кордоні, або прокласти колії європейської ширини по стратегічно найважливіших напрямках [5–8]. Залізничний транспорт України на сьогодні має досить багато проблем, більшість яких пов'язана з потребою залучення великих коштів у оновлення залізничних шляхів та самих транспортних засобів.

Схема динаміки вантажообігу залізничних перевезень України представлена на рис. 3. А це означає, що українська економіка у разі побудови нових складів і ремонту старих може отримувати ще більше грошей у бюджет з вантажообігу вітчизняних залізниць (рис. 4).

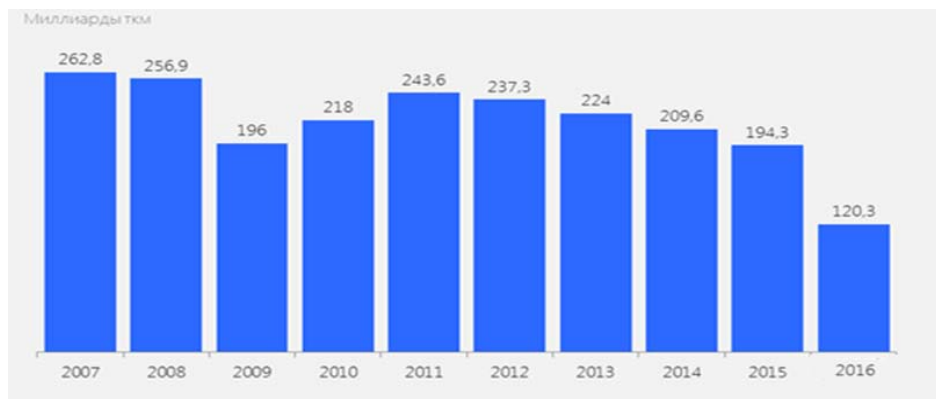


Рис. 3. Динаміка вантажообігу залізничних перевезень України за 10 років

Якщо брати загальні показники залізничної гілки транспортної системи держави, то раптом виявляється, що ми на 34 місці в рейтингу конкурентоспроможності залізничного транспорту за версією Світового економічного форуму, але раніше ми займали 28 і 25 місце в 2015 і 2014 роках відповідно.

Що стосується морського транспорту, то відсоток використання вітчизняного водного транспорту в перевезенні транзиту дуже низький. Це пов'язано в першу чергу з тим, що в Україні вітчизняний контейнерний флот на перевезеннях через українські порти вже майже не використовується. Динаміка вантажних перевезень різними видами транспорту в Україні за 15 останніх років подана на рис. 4.

Економічній ефективності водного (морського та річного) виду транспорту просто немає рівних: вартість таких перевезень в два рази менше вартості використання автомобільного транспорту або залізничних складів. Враховуючи навіть обсяги використання палива на перевезення, річковий транспорт виграє навіть у цій категорії, це розглянуто на рис. 5.

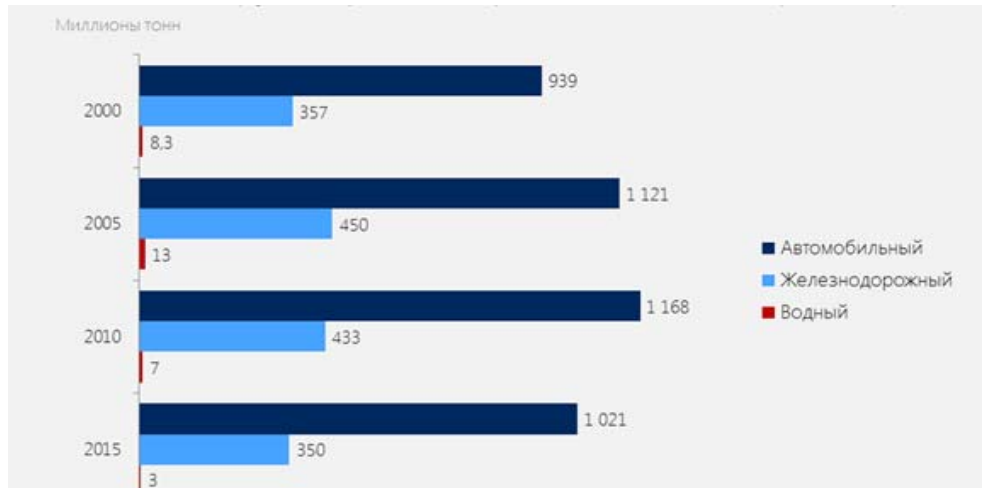


Рис. 4. Динаміка вантажних перевезень різними видами транспорту в Україні



Рис. 5. Вартість внутрішніх вантажних перевезень при транспортуванні на відстань у 100 км

Через неузгодженість дій служб залізниці та портів масовими стали затримки вантажів на підходах до морських портів. Висока ступінь зносу портових споруд і технічного обладнання істотно зменшує швидкість і якість переробки вантажів. Ставки портових зборів в Україні вищі, ніж у Новоросійську, в портах Туреччини та Ізраїлю, які складають конкуренцію Україні. Плата за суднозахід контейнеровоза у порти Одеса та Іллічівськ в 2-3 рази вища, ніж у більшості європейських портів. Часто через це вантажовласник змінює порт переробки [9].

Ще одним чинником, що заважає реалізації транзитного потенціалу України, є жорсткі заходи та процедури митного контролю. Процедура контрольно-перевірочних операцій та механізм оформлення документів на транзитні вантажі неупорядкована і дуже тривала, що призводить до необґрунтованих затримок вантажів. Варто зазначити, що час на контроль, що витрачається митницею і всіма суміжними службами, в п'ять разів перевищує час, який витрачається аналогічними службами в західних країнах [10].

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Загальна кількість вантажу, що був перевезений за різними видами транспорту в період з 2006 до 2016 року, а також прогноз на чотири роки представлений в табл. 1. Для розрахунків та побудови прогнозу були використані всі 5 ліній трендів та визначено їх середнє значення.

Таблиця 1. Аналіз обсягів перевезень вантажів за видами транспорту та прогноз на 4 роки

№	Рік		Перевезено вантажів, млн т			
			Залізничний транспорт	Автомобільний транспорт	Водний транспорт	Авіаційний транспорт
1	2006	Вихідні дані	476,8	154,8	23	0,1
2	2007		512,5	169,7	24,3	0,1
3	2008		498,8	186,6	19,5	0,1
4	2009		391,2	140	9,8	0,1
5	2010		432,5	158,2	11,1	0,1
6	2011		468,4	178,3	9,9	0,1
7	2012		457,5	179	7,8	0,1
8	2013		441,8	183,5	6,3	0,1
9	2014		387	178,4	6	0,1
10	2015		350	147,3	6,4	0,1
11	2016	Апроксимовані дані	344,1	166,9	6,7	0,07
12	2017		311,4	159,4	4,8	0,07
13	2018		291,1	155,7	4,6	0,07
14	2019		267,1	150,8	4,7	0,06
15	2020		238,8	144,6	4,9	0,04

Аналіз перевезень показав, що за останні роки обсяги перевезення в Україні характеризуються стабільною тенденцією до спаду. Графічно отримані дані представлені на рисунках 6 – 8.

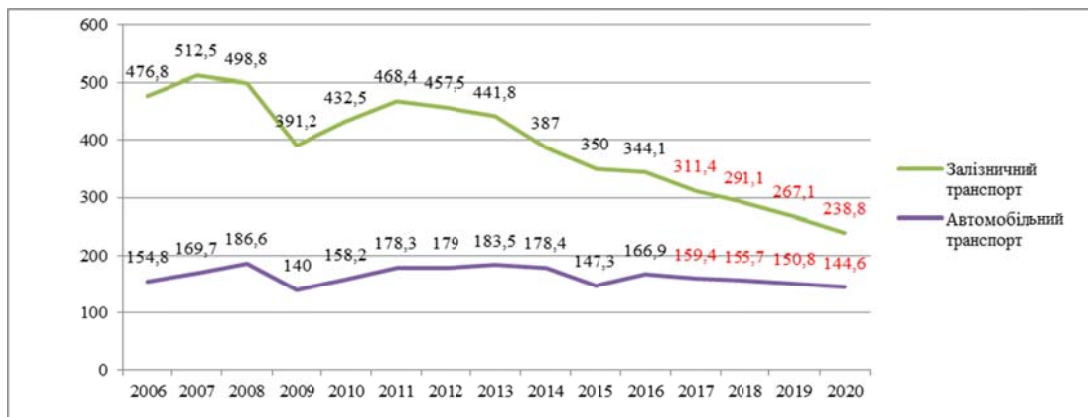


Рис. 6. Обсяги перевезень залізничним та автомобільним транспортом за 10 років і прогноз на 4 роки

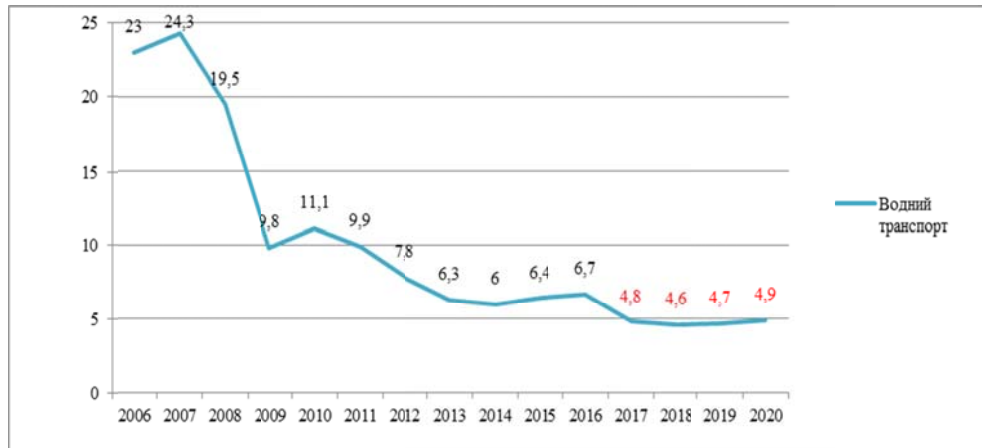


Рис. 7. Обсяги перевезень водним транспортом за 10 років і прогноз на 4 роки

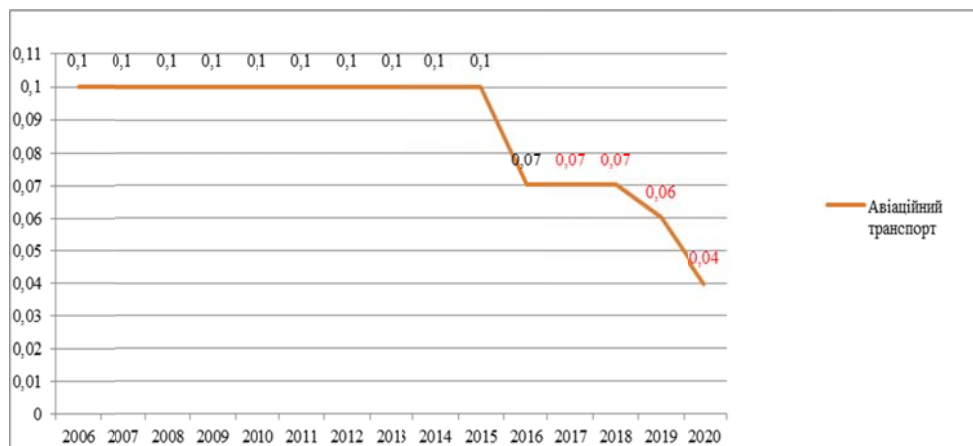


Рис. 8. Обсяги перевезень авіаційним транспортом за 10 років і прогноз на 4 роки

Таким чином, у підсумку можна сформулювати стратегічні цілі, на які необхідно орієнтуватися:

- повне та якісне забезпечення потреб економіки країни у перевезеннях вантажів, зниження частки транспортних витрат у ціні товару;
 - підвищення конкурентоспроможності в умовах СОТ;
 - розвиток транзитного потенціалу України, інтеграція вітчизняного транспорту в європейську транспортну систему;
 - підвищення рівня безпеки і забезпечення стійкого розвитку транспортної системи.
- З цього випливають головні завдання розвитку транспортної галузі:
- технічна і технологічна модернізація й оновлення рухомого складу;
 - поліпшення інвестиційного клімату в країні;
 - розвиток мережі міжнародних транспортних коридорів;
 - розвиток швидкісного залізничного сполучення;
 - вдосконалення та покращання структури та системи управління транспортом, посилення контролю за фінансово-економічним станом підприємств галузі, підвищення відповідальності за результатами виробничої та економічної діяльності;

- закріплення позитивних тенденцій у збереженні експортного потенціалу країни;
- забезпечення проведення гнучкої тарифної політики для створення привабливих умов для вантажовласників, у першу чергу, іноземних;
- розповсюдження прозорого державного регулювання тарифів, зборів і плат з переробки вантажів на підприємствах усіх форм власності;
- забезпечення посилення безпеки, росту ефективності та конкурентоспроможності транспортної галузі України;
- суттєве поліпшення експлуатаційного стану автодоріг і штучних споруд, будівництво нових автомагістралей;
- відновлення річкового та морського флотів і відповідної інфраструктури;
- розвиток ринкових відношень на транспорті;
- завершення інституціональних перетворень на транспорті;
- впровадження прогресивних технологій;
- розвиток інтермодальних перевезень.

Орієнтація України на європейську інтеграцію, ринкові трансформації, а також її виходження у світове співтовариство – все це, безумовно, вимагає модернізації складного ТДК країни, вирішення серйозних питань, пов'язаних із забезпеченням конкурентоспроможності національного транспортного господарства [11].

Висновки та пропозиції. На даний час транспортна система України не в повній мірі готова до забезпечення перевезень у необхідних обсягах. Внаслідок недостатнього розвитку нормативно-правової бази і низького інвестиційного потенціалу ТДК збільшується зношення рухомого складу усіх видів транспорту, погіршується їх структура, не забезпечується належна безпека руху, зростає негативний вплив діяльності транспорту на навколишнє природне середовище та здоров'я людини. Все це в умовах світової фінансової кризи та жорсткої конкуренції призводить до витіснення українських перевізників з міжнародних ринків транспортних послуг, знижує якість обслуговування вітчизняних підприємств і населення, створює реальну загрозу економічній безпеці держави.

Враховуючи великий транзитний потенціал нашої країни, на сьогодні найбільш актуальними питанням є розбудова сумісної в контексті технічного і нормативно-правового забезпечення загальноєвропейської транспортної системи, тому що збільшення обсягів транзитних перевезень неможливе без розвитку транспортної інфраструктури, що, у свою чергу, визначається інвестиціями в цю сферу.

Питання підвищення конкурентоспроможності на світовому ринку є одним з найактуальніших для України, а кластеризація – один із шляхів розвитку економіки і підтримки її на належному рівні в системі світових господарських стосунків. Враховуючи, що транспортна галузь відіграє важливу роль у громадському виробництві нашої країни, формування транспортно-логістичних кластерів матиме велике соціальне й економічне значення як для регіональної, так і для національної економіки. Вигоди полягають у формуванні сучасної логістичної інфраструктури, що відповідає міжнародним стандартам, у підвищенні продуктивності (скороченні термінів доставки товарів, зниженні тарифів на зберігання, підвищенні якості сервісного обслуговування, збільшенні об'ємів пасажирських і вантажних потоків) і в інноваційній активності підприємств, що входять до складу кластера, в активізації залучення інвестицій, в забезпеченні прискореного соціально-економічного розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Портер М. Конкуренция / М.Портер. – М.: Изд.дом «Вильямс», 2006. – 760 с.
2. Смирнов І.Г. Транспортна логістика / І.Г. Смирнов, Г.В. Косарева. – К.: ЦУЛ, 2008. – 224 с.
3. Олійник Я.Б. Міжнародна логістика / Я.Б. Олійник, І.Г. Смирнов: Навч.пос. – К.: Обрії, 2011. – 544 с.
4. Географія світового господарства (з основами економіки) / за ред. Я.Б. Олійника, І.Г. Смирнова. – К.: Знання, 2011. – 640 с.
5. Полякова О. М., Глобалізація транспортно-логістичних систем у світовій економіці / О.М. Полякова // Вісник економіки транспорту і промисловості УкрДАЗТ. – 2009. – Вип. 26. – С. 32-34.
6. Kelrykh, M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas/ M. Kelrykh, O. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 6 – P.64-67
7. Макаренко М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагона //Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України».–К.: ДНДЦ УЗ. – 2014. – №. 5. – С. 107
8. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» //Зб. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ. – 2008. – С. 72-81.
9. Rebitzer D.W. The European Logistics Market. Europe Real Estate Yearbook. Frankfurt am Main, 2008. 573 p.
10. Sorensen S.Y. EMCC case studies. Transport&Logistics sector: Padborg cluster, Denmark. Copenhagen: Danish Technological Institute. 2008. 362 p.
11. Прокудін Г.С. Підвищення транспортного потенціалу України на міжнародному ринку транспортних послуг / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, О.С. Дудник // Китайсько-українське гуманітарне співробітництво в рамках концепції «Один пояс – Один шлях» / Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – КНР, Тяньцзинь, 2016/17. – С. 84–86.

G. S. Prokudin, Doctor of Science (Engineering), Professor
(Head of the Department of International Transportation and Customs Control,
National Transport University)

O. A. Chupaylenko, PhD (Engineering)
(Associate Professor of the Department of International Transportation and
Customs Control National Transport University)

K. O. Maidanyk
(Postgraduate, National Transport University)

I. O. Remekh
(Postgraduate, National Transport University)

Y. V. Pylypenko
(Postgraduate, National Transport University)

ANALYSIS AND REFORM THE TRANSPORT SECTOR UKRAINE

The article analyzes the development of the transport system of Ukraine, defined the main problems of the transport sector, transport integration of Ukraine into the European and global transport networks. Directions for further reform of the transport sector in Ukraine.

The object of study – the transport system of Ukraine.

Purpose – to solve common problems in the development of transport infrastructure, analysis of problems and prospects of development of international transport in Ukraine.

Method study – statistical analysis of the main indicators of transport modes Ukraine.

Transport sector of Ukraine is a considerable and important segment for the economy of country, in fact effective and concerted work of a whole transport system is movable force for general development of countr . However, existent competition at the market of transport services, all requires the new going near development of transport relations,

creation of NT and upgrading of services. Conducting the global analysis of work of all types of transport it is possible to assert that development of a transport infrastructure is the key element of development of all economy of country. To a transport system made great demand in relation to quality, regularity and reliability of transport connections, maintenance of loads, safety of carrying passengers, speed and quality of delivery. A requirement is in a transport system that functions clearly, all increases, becomes the base of steady development of productive forces of regions, and also mortgage of integration of our country to the world markets. The events of improvement of a transport system of country offer in this research. The special attention is spared to the problems of transport transportations and development of recommendation in relation to the prospects of their further functioning. Front-rank transport technologies, and factors that influence on development of a transport system, are considered.

Keywords: transportation system, freight, transit, international transport, transportation technology, logistics system, clusters, transportation corridors.

REFERENCES

1. Porter M. *Competition*. Moscow: Yzd.dom «Williams». 2006, 760 p. (Rus)
2. Smirnov I.G., Kosarev A.V. *Transport Logistics*. K.: TSUL. 2008, 224 p. (Ukr)
3. Oleinik I.B., Smirnov I.G. *International Logistics*. K.: Horizons. 2011,. 544 p. (Ukr)
4. *The geography of the world economy (with the fundamentals of the economy)* / Ed. I.B. Oleinik, I.G. Smirnov. K.: Knowledge. 2011. 640 p. (Ukr)
5. Polyakov AM, *Globalization transport and logistics systems in the world economy*. Bulletin of Economics and Transport Industry UkrDAZT. 2009. Vol. 26. P. 32-34. (Ukr)
6. Kelrykh M. Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». No 6, pp. 64-67
7. Makarenko M. V. Kompleksnyi analiz ekonomichnoho efektu vid zhyttievoho tsyклу suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola] //Naukovo-praktychnyi zhurnal «Zaloznychnyi transport Ukrainy», Kyiv: DNDTs UZ, 2014, No. 5, p. 107.
8. Moroz, V. I. (2008). Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstrukttsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvahon»[Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE» Ukrspetsvagon». Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaloznychnoho Transportu, 72-81.
9. Rebitzer D.W. *The European Logistics Market. Europe Real Estate Yearbook*. Frankfurt am Main, 2008. 573 p.
10. Sorensen S.Y. *EMCC case studies*. Transport&Logistics sector: Padborg cluster, Denmark. Copenhagen: Danish Technological Institute. 2008, 362 p.
11. Prokudin G.S., Chupailenko O.A., Dudnik O.S. *Increasing transport capacity of Ukraine on the international transport market*. Sino-Ukrainian humanitarian cooperation within the concept of «One Belt – One Way» / International scientific and practical conference, China, Tianjin, 2016/17, P. 84-86. (Ukr)

УДК 656.073

І. Г. Лебідь, к.т.н., доцент

(доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ)

С. П. Ткаченко

(аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Національний транспортний університет, м. Київ)

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ УЧАСНИКІВ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАНЬ

У статті розглянута роль інформаційних систем для учасників ланцюга постачання. Причинами, що спонукають організації впроваджувати складні інформаційні системи, є, з одного боку, прагнення збільшити продуктивність своєї роботи, а з іншого – бажання підвищити ефективність управління діяльністю підприємства за рахунок прийняття оптимальних та раціональних управлінських рішень. Накопичена інформація за рахунок роботи інформаційної системи для багатьох організацій є важливим активом, однак обробляти її та отримувати від неї користь з кожним днем стає все складніше і дорожче. Встановлено, що неможливо просто говорити про необхідну, важливу та правильну інформацію, яку може використовувати підприємство в своїй роботі. Зараз уже стає необхідним говорити про швидкий прийом, обробку, зберігання, передачу неструктурованих, різномісних даних, що дають можливість отримання якісно нових знань для підприємства за рахунок комплексного аналізу усієї інформації у єдиному аналітичному сховищі (об'єднаних сховищах).

Визначено, що розробка та впровадження інформаційної взаємодії корпоративних інформаційних систем учасників всього транспортного процесу від виробника продукції до підприємств роздрібної торгівлі надасть ряд переваг, серед яких: прийняття ефективних управлінських рішень, можливість автоматизації обробки великого об'єму інформації, можливість планування своєї роботи та ресурсів для всіх учасників транспортного процесу.

Ключові слова: інформаційна система, управління ланцюгом постачання, корпоративна інформаційна система, транспортний процес

В статті рассмотрена роль информационных систем для участников цепи поставок. Причинами, побуждающими организации внедрять сложные информационные системы являются, с одной стороны стремление увеличить производительность своей работы, а с другой стороны желание повысить эффективность управления деятельностью предприятия за счет принятия оптимальных и рациональных управленческих решений. Накопленная информация за счет работы информационной системы для многих организаций является важным активом, однако обрабатывать ее и извлекать из него пользу с каждым днем становится все сложнее и дороже. Установлено, что невозможно просто говорить о необхо-

© Лебідь І. Г., Ткаченко С. П., 2017

димой, важную и правильную информацию, которую может использовать предприятие в своей работе. Сейчас уже становится необходимым говорить о скором прием, обработку, хранение, передачу неструктурированных, разнотипных данных, дающих возможность получения качественно новых знаний для предприятия за счет комплексного анализа всей информации в едином аналитическом хранилище (объединенных хранилищах).

Определено, что разработка и внедрение информационного взаимодействия корпоративных информационных систем участников всего транспортного процесса от производителя продукции до предприятий розничной торговли представит ряд преимуществ, среди которых: принятие эффективных управленческих решений, возможность автоматизации обработки большого объема информации, возможность планирования своей работы и ресурсов для всех участников транспортного процесса.

Ключевые слова: информационная система, управление цепью поставок, корпоративная информационная система, транспортный процесс.

Вступ. На сучасному етапі розвитку ринкової економіки інформація є одним з найбільш важливих факторів, який визначає ефективне управління, продуктивну та успішну роботу і стабільний розвиток підприємства. У той же час, на відміну від минулого, на сучасному етапі розвитку інформаційного та технологічного прогресу можливий безперервний збір інформації, її швидкий прийом, обробка і передача.

Для багатьох організацій накопичена інформація стає важливим активом, однак її обробка та використання для подальшого розвитку підприємства з кожним днем стає все складніше і дорожче.

Без доступу (прийом, обробка, зберігання, передача) до інформації підприємство не може нормально функціонувати на ринку, більше того, підприємство напевно б навіть не створювалось. З інформацією, що надходить з навколишнього середовища, підприємство отримує знання про потреби ринку; завдяки інформації підприємства планують свою роботу та бізнес-процеси, і, нарешті, завдяки інформації підприємства набувають знання та вміння щодо шляхів досягнення адресатів своїх продуктів (послуг).

При роботі з інформацією у підприємства виникають три важливі проблеми, пов'язані з постійним збільшенням даних, якими доводиться оперувати великим підприємствам: 1) феноменальне прискорення нагромадження даних та їх ускладнення; 2) розмаїття та неструктурованість даних у великому об'ємі інформації; 3) необхідність дуже швидкого опрацювання даних та їх накопичення.

Тому, вже неможливо просто говорити про необхідну, важливу та правильну інформацію, яку може використовувати підприємство в своїй роботі. Зараз необхідно говорити про швидкий прийом, обробку, зберігання, передачу неструктурованих, різнотипних даних, що дають можливість отримання якісно нових знань для підприємства за рахунок комплексного аналізу усієї інформації у єдиному аналітичному сховищі (об'єднаних сховищах).

Постановка проблеми. Інформаційні технології є основним джерелом підвищення ефективності прийнятих управлінських рішень, продуктивності і конкурентоспроможності транспортного підприємства [1-3].

Розвиток транспортного обслуговування замовників перевезень вантажів автомобільним транспортом на сучасному етапі напряму залежить від швидкого розвитку комп'ютерних та інформаційних технологій. Це в свою чергу дає значний поштовх розвитку та впровадженню складних інформаційних систем (ІС) особливо на транспорті.

За ДСТУ 2392-94: Інформаційна система – комунікаційна система, що забезпечує збирання, пошук, оброблення та пересилання інформації. ІС знаходять досить широке застосування для всіх учасників перевізного процесу. Це пов'язано з тим, що для існу-

вання та розвитку підприємств необхідним є робота із інформацією і особливо обмін цією інформацією, як всередині підприємства так і між підприємствами, що спільно працюють [2, 4].

Автоматизовані інформаційні системи існують на всіх підприємствах, оскільки на кожній стадії їх розвитку існує необхідність в ефективному управлінні. Основною задачею інформаційних систем є обробка інформації, потрібної для ефективного управління всіма ресурсами підприємства, створення інформаційного та технічного середовища для управління його діяльністю.

Причинами, що спонукають організації впроваджувати складні інформаційні системи, є, з одного боку, прагнення збільшити продуктивність своєї роботи, а з іншого боку, бажання підвищити ефективність управління діяльністю підприємства за рахунок прийняття оптимальних та раціональних управлінських рішень.

Основна задача інформаційної системи полягає у підпорядкуванні усіх бізнес-процесів підприємства його головним цілям. Для цього необхідно скоординувати процеси та роботи, пов'язані з діяльністю підприємства, таким чином, щоб вони в повній мірі забезпечували виконання поставлених задач в єдиному інформаційному полі. Тільки таким чином інформаційна озброєність підприємства починає безпосередньо впливати на ефективність його діяльності.

Зараз дуже важко уявити роботу будь-якого підприємства, від малого до великого, яке не використовує інформаційні технології у своїй роботі. Усі транспортні підприємства, починаючи з підприємств, які ведуть облік своєї роботи в MS Excel (Microsoft Office), і закінчуючи підприємствами, які ведуть свою роботу за допомогою складних інформаційних систем управління транспортом (TMS, на англ. Transportation Management Systems), в тій чи іншій мірі використовують ІС.

В сучасних умовах неможливо також представити роботу заводу (рітейлу, імпортера, дистриб'ютора, 3PL, 4PL-операторів...) без систем планування ресурсів підприємства (ERP, на англ. Enterprise Resource Planning system) та систем управління складом (WMS, на англ. Warehouse Management System), що виконують ряд важливих функцій.

Сьогодні, у вік інформації, практично кожна інформаційна система використовує комп'ютерні технології, і тому надалі під інформаційними системами будемо розуміти саме автоматизовані інформаційні системи – взаємозв'язану сукупність даних, обладнання, програмних засобів, персоналу, стандартних процедур, які призначені для збору, обробки, розподілу, зберігання, представлення інформації згідно з вимогами, які впливають з цілей підприємства.

З кожним роком на українському ринку спостерігається підвищення ролі інформатизації підприємств, які все більше переходять до використання складних інформаційних систем у своїй роботі. Таке використання надає ряд переваг: підвищення ефективності прийняття управлінських рішень, підвищення автоматизації роботи підприємства, можливий спрощений централізований облік роботи підприємства, оперативність роботи, можливість короткострокового та довгострокового планування своєї діяльності, спрощення документальної роботи, контроль, підвищення якості роботи співробітників, швидке визначення продуктивності роботи та ін.

Як уже було зазначено вище, до автоматизованих інформаційних систем висувають вимоги, особливо в частині роботи із накопиченням та обробкою інформації.

Тому досить важливим є використання автоматизованих інформаційних систем для усіх підприємств із зазначеними вимогами, а також взаємодія ІС, що дасть можливість отримання якісно нових знань для підприємств за рахунок комплексного аналізу усієї інформації у єдиному аналітичному сховищі (об'єднаних сховищах) та прийняті ефективних управлінських рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання ефективного управління при плануванні і моделюванні матеріальних потоків, на підставі концепції логістичних

ланцюгів поставок відображено в роботах Д. Уотерса [5], Д. Дж. Клосса, Дж. Р. Стока, [6], Д. Бауерсокса [7], Дж. Джонсонс, Вуда Д., Вордлоу Ф. [8].

У той же час, в роботах згаданих вчених не повністю розкриті питання формування логістичної системи обслуговування замовників. На практиці виникає необхідність створення і вдосконалення систем, які більш результативно реагують на швидку зміну ринку і відповідають вимогам замовників, щодо надійності, гнучкості і зручності логістичного обслуговування. Крім того, в цих роботах не розглядаються питання планування, моделювання матеріальних, інформаційних та фінансових потоків, формування та реалізації систем обслуговування за рахунок розробки та впровадження автоматизованих ІС.

Аспекти логістичних процесів були відображені у багатьох наукових роботах вітчизняних і зарубіжних авторів, серед яких слід виділити А.І. Воркута, М.П. Гордона, В.І. Гриценко, Г.П. Гриневича, В.К. Губенко, В.М. Дегтяренко, А.А. Колобова, Є.В. Крикавського, С.Є. Ловецького, В.В. Литвинова, О.Б. Малікова, Л.Б. Миротина, В.Є. Ніколайчука, А.Н. Родникової, А.А. Смахова, Ю.М. Цветова, Р.Н. Ballou, Д. Бауерсокса, Д. Клосса, J. Magee та інших.

В роботах [9–15] розглянуті питання використання єдиної бази даних учасників ланцюга постачань та якісного управління супутніми (інформаційними) потоками.

Основними елементами системи, описаної в [11, 12], є: віртуальна база всіх учасників ланцюга постачань, комплекс комп'ютерного обладнання і програмне забезпечення для обробки інформації, що надходить. В [9] запропоновано додатковий модуль до ІС, в якому експедитору в режимі реального часу забезпечений доступ до інформації відправника про готовність партії товару до перевезення. Таким чином, виконується оперативне планування, управління, облік транспортної роботи, а також її бухгалтерський облік.

Метою статті є огляд інформаційних систем учасників ланцюга постачання та формулювання задач подальшого дослідження.

Основний зміст. На сьогоднішній день підприємства перебувають у постійній гонці за покращенням організаційної конкурентоспроможності для того, щоб успішно конкурувати на ринку, який має інформаційний і динамічний характер. Таким чином, підприємства намагаються підвищити свій рівень клієнтоорієнтованості і швидкості реакції на зміни вимог ринку.

У прагненні досягти цього, багато підприємств мають спрямованість на децентралізовану діяльність: аутсорсинг послуг та розвиток віртуальних підприємств (ВП). Все це підкреслює важливість інформаційних технологій у процесі інтеграції учасників транспортного процесу у віртуальні підприємства та ланцюги постачань. Управління ланцюгом постачання (SCM англ. Supply chain management) являє собою підхід, який еволюціонував з інтеграції цих міркувань. SCM визначається як інтеграція ключових бізнес-процесів від кінцевого користувача за допомогою постачальників, які надають продукти, послуги та інформацію, а, отже, підвищення цінності для користувачів та інших зацікавлених сторін [10].

Компанії – учасники ланцюга постачань, використовують такі інформаційні системи: систему планування ресурсів підприємства, систему управління транспортом, систему управління складом.

Система планування ресурсів підприємства – корпоративна інформаційна система (KIC), призначена для автоматизації обліку й управління. Це концепція узгодженого рішення завдань обліку, контролю, планування й управління виробничими і фінансовими ресурсами підприємства. Як правило, ERP-системи будуються за модульним принципом і в тому або іншому ступені охоплюють усі ключові процеси діяльності компанії.

Дана система покращує якість прийняття рішень, продуктивність і прибутковість підприємства. ERP-системи надають можливість ефективно планувати комерційну та виробничу діяльність підприємства. До особливостей застосування сучасних ERP-систем належать:

- автоматизація різноманітних методів планування й управління бізнес-процесів від системи замовлень до масового виробництва з можливістю їх раціонального поєднання та налагодження на специфіку конкретного підприємства;
- інтегроване використання підсистем обліку, аналізу і планування збуту, виробництва, постачання і фінансування;
- реалізація сучасної технології бюджетування та забезпечення динамічного узгодження необхідних ресурсів по всьому спектру бізнес-процесів на основі управлінського обліку витрат і аналізу консолідованої звітності;
- бізнес-планування та управління замовленнями й проектами з урахуванням можливих ризиків внаслідок непередбачених змін у зовнішньому середовищі чи у ресурсних обмеженнях підприємства.

Можна виділити наступні основні причини, внаслідок яких підприємства у всьому світі прагнуть до впровадження систем ERP:

- інтеграція всіх бізнес-процесів підприємства за єдиними правилами і забезпечення оперативного отримання інформації керівництвом про всі сторони діяльності підприємства;
- можливість заміни безлічі існуючих автономних корпоративних застосувань, що не задовольняють вимогам сучасного бізнесу, однією ERP-системою.

Система управління транспортом – підтримка автоматизації завдань, пов'язаних з плануванням перевезень, оптимізації, вимірювання продуктивності, завантаження транспортного засобу, маршрутизації, платежів і виконання заходів, пов'язаних з транспортом.

TMS становить багатофункціональний інструмент, що поєднує в собі весь спектр рішень для транспортної логістики, і володіє величезним запасом гнучкості, достатнім для точного опису будь-якого бізнес-процесу й формування необхідного набору функціоналу. Функціональні можливості TMS – це планування рейсів, моніторинг транспорту, всеохоплюючі можливості обліку.

TMS у змозі вести постійний облік усіх витрат на експлуатацію парку транспортних засобів. Наприклад, якщо парк транспортних засобів налічує декілька різних типів автомобілів, TMS веде постійний облік витрат на кожен із них.

Система управління складом (СУС) – це програмно-апаратна система управління складом, яка забезпечує комплексну автоматизацію управління складськими та логістичними процесами. СУС – програмний продукт для автоматизації управління складською діяльністю, що дозволяє управляти всіма технологічними операціями в режимі реального часу.

Бізнес-процеси на складі – облік товарів, зберігання та переміщення, збір замовлень і підготовка комплектів до відправки, інвентаризація – всі вони при недостатній автоматизації втрачають керованість. І чим масштабніше складське господарство і ширша номенклатура товарів, тим менш ефективним стає ручне управління – підвищується ймовірність помилок, затримок і витрат.

На великому сучасному складі з величезною кількістю номенклатурних позицій і значним товарообігом кожен день виконуються сотні рутинних операцій, до швидкості виконання яких пред'являються високі вимоги. Зазвичай, великі території складів призводять до надмірних втрат часу на зайві переміщення співробітників (у тому числі і на техніці) в разі використання паперової технології. При великій номенклатурі товарів співробітникам складу важко запам'ятати розташування всіх запасів, що призводить до збільшення часу пошуку. Ще драматичнішою ситуація стає при необхідності

дотримуватися особливих умов зберігання товарів. Навіть проста ідентифікація товару людиною (без використання штрих-кодів і т. п.) часто викликає скруту через величезну кількість найменувань, схожих між собою, розбіжностей їх написання в документах (замовленнях, накладних), на товарі або упаковці. І це лише частина проблем, звертаючи увагу на які, можна стверджувати, що організація ефективної роботи на великому складі просто неможлива без використання автоматизованих інформаційних систем управління, тобто систем класу WMS.

Впровадження системи управління складом має економічний сенс всюди, де здійснюється зберігання, облік і переміщення будь-яких одиниць зберігання: товарів, поштових відправлень, архівних даних і т.п. Як показує практика, застосування WMS має сенс не тільки у великих логістичних центрах, а й у порівняно невеликих складських господарствах, розподільних центрах, архівах, на виробництві тощо. Незалежно від масштабу складу, автоматизація призводить до значного зменшення витрат часу і коштів на управління зберіганням і переміщенням товарів.

Сфера використання WMS систем:

– виробництво – робота складів сировини, готової продукції, підготовка товарів до відвантаження;

– дистрибуція – надходження, зберігання і відвантаження товарів;

– 3PL – оператори – управління логістикою складу;

– поштові оператори – управління складами і рухом посилок;

– банки – інвентаризація основних засобів та автоматизація архівів в банках;

– автомобільна промисловість – зберігання і облік автозапчастин та ін.

Впровадження WMS системи (системи управління складом) дозволяє:

1. Організувати ефективне розміщення і зберігання продукції.
2. Більш ефективно управляти прийомом і відвантаженням товарів, прискорити формування партій товарів, безпомилкову підготовку відвантажень.
3. Спростити виконання всіх функцій, усунути малоефективну паперову рутину.
4. Підвищити якість і контрольованість роботи складського персоналу.
5. Прискорити і спростити отримання інформації про кількість і розташування товару.
6. Мінімізувати роботи по інвентаризації складу.
7. Більш ефективно використовувати площу складу.

Нові задачі, пов'язані з впровадженням логістичних принципів в сфері перевезень вантажів, потребують створення інформаційної інфраструктури, яка буде дозволяти організовувати, збирати, обробляти і передавати інформацію всім учасникам транспортного процесу. Це передбачає ідентифікацію та стандартизацію джерел інформації, засобів її обробки і передачі.

В свою чергу, вся зібрана інформація під час її аналізу надасть можливості до формування нових знань та більш ефективних управлінських рішень.

Ефективне вирішення даної проблеми можливе за рахунок використання інформаційних технологій, орієнтованості на задоволення потреб усіх учасників транспортного процесу, створення інформаційної інфраструктури на підприємствах транспорту та створення умов для інформаційної взаємодії систем усіх учасників транспортного процесу.

З одного боку, використання інформаційної системи в роботі підприємства надає ряд переваг та потребує тільки удосконалення цієї системи та збільшення її функцій, але, з іншого боку, вже є необхідність у розробці та використанні корпоративних інформаційних систем для кожного учасника транспортного процесу і розробці автоматичної інформаційної взаємодії цих систем або розробки віртуального підприємства, яке буде виконувати ряд складних функцій та процесів для спільної роботи всіх учасників ланцюга постачань.

Концепції віртуального підприємства на практиці можуть бути самими різними: від інтернет-майданчика та інтернет-біржі до повномасштабної спільної виробничої і логістичної інформаційної системи, в якій web-представництво є зв'язуючою ланкою між покупцями, продавцями і виробниками. На практиці концепції ВП відрізняються одна від одної, як за організаційно-функціонального наповнення, так і за видами застосовуваних інформаційних технологій.

Саме концепція віртуальних підприємств має досить важливе значення, як для великих підприємств, так і для підприємств малого та середнього бізнесу (МСБ) так і надзвичайно велике значення для спільної роботи великих транспортних підприємств, транспортних підприємств МСБ та інших учасників ланцюга постачань. Участь підприємства у ВП – це один з вирішальних чинників збереження і підвищення рівня доходів та конкурентоспроможності на сучасних і майбутніх ринках.

Висновок. На сьогоднішній день одним з визначальних чинників конкурентоспроможності підприємства стає формування ефективної системи обслуговування замовників та її інформатизація. Сьогодні підприємства, які конкурують між собою виключно на підставі характеристик товарів/послуг, раніше чи пізніше опиняться в гіршій ситуації у порівнянні з компаніями, які зміцнюють свою ринкову позицію, підвищуючи інформатизацію та автоматизацію усіх процесів та якість обслуговування усіх учасників ланцюга постачань. У цьому процесі найважливіша роль належить ефективно організованому комплексно-логістичному обслуговуванню, яке повинне впроваджуватися не тільки на рівні окремого підприємства, а й бути процесом, який об'єднує усіх учасників ланцюга постачань.

Розробка та впровадження інформаційної взаємодії КІС учасників всього транспортного процесу від виробника продукції до підприємств роздрібної торгівлі надасть ряд переваг, серед яких: прийняття ефективних управлінських рішень, можливість автоматизації обробки великого об'єму інформації, можливість планування своєї роботи та ресурсів для всіх учасників транспортного процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Нагорний Є.В.* Комерційна робота на автомобільному транспорті: підручник / Є.В. Нагорний, Н.Ю. Шраменко. – Х.: ХНАДУ, 2010. – 324 с.
2. *Kelrykh, M.* Perspective directions of planning carrying systems of gondolas/ М. Kelrykh / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2014, No. 6 – P.64-67.
3. *Макаренко М. В.* Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагона //Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – К.: ДНДЦ УЗ. – 2014. – №. 5. – С. 107.
4. *Державний стандарт України ДСТУ 2392-94.* Інформація та документація. Базові поняття. Терміни та визначення. Надано чинності 1995-01-01. – К. : Держпоживстандарт України, 1995. – 9 с.
5. *Уотерс Д.* Логистика. Управление цепью поставок / Д. Уотерс. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 503 с.
6. *Сток Дж. Р.* Стратегическое управление логистикой / Дж. Р. Сток, Д. М. Ламберт ; пер. с англ. – М. : Изд-во «ИНФРА-М», 2005. – 797 с.
7. *Бауэрсокс Доналд Дж.* Логистика : интегрированная цепь поставок / Доналд Дж. Бауэрсокс, Дейвид Дж. Клосс ; пер. с англ. – М. : ЗАО «Олимп – Бизнес», 2010. – 644 с.
8. *Джонсонс Дж., Вуд Д., Вордлоу Ф.* та ін. Сучасна Логістика / Дж. Джонсонс, Д. Вуд, Ф. Вордлоу – М.: Вільямс, 2002. – 624 с.
9. *Кравченко О.П.* Значення супутніх потоків у процесі перевезення / О.П. Кравченко, Д.В. Боженко, А.В. Кузнецов // Вісник Вінницького політехнічного інституту: зб. наук. пр. – 2009. – Вип. 5. – С. 93–96.
10. *Пичугина Ю. В.* Применение единой базы данных для эффективного информационного обеспечения транспортно-экспедиторских предприятий / Ю.В. Пичугина // Вісник ОНУ: зб. наук. пр. – 2008. – Вип. 15, Том 13. – С. 104–109.
11. *Котляров С.Л.* Логистический менеджмент транспортно-экспедиторской деятельности: автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. экон. наук: спец. 08.00.05 «Эконом. и управл. нар. хоз. (логистика)» / С.Л. Котляров. – С.Пб., 2001. – 20 с.

12. Lambert, D.M., Cooper, M.C., Pagh, J.D., 1998. Supply chain management: Implementation issues and research opportunities. *International Journal of Logistics Management* 9 (2), 1–19.
13. Черенюха О.С. Формування віртуальної системи управління процесами доставки товарів народного споживання у великих містах. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Харків, 2016
14. Fomin, O. Development and application of cataloging in structural design of freight car building / O.V.Fomin, O.V. Burlutsky, Yu.V. Fomina / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 2 – P.250-256.
15. Мороз В. І. Визначення перспективних напрямків удосконалення конструкції напіввагонів виробництва ДП «Укрспецвагон» //Зб. наук. праць.-Харків: УкрДАЗТ. – 2008. – С. 72-81.

Iryna Lebid, Ph.D (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University)
Sergii Tkachenko
(Ph.D student of the Department of International Transportation and Customs Control, National Transport University)

ROLE OF INFORMATION SYSTEMS FOR SUPPLY CHAIN PARTICIPANTS

The article considers the role of information systems for participants in the supply chain. The reasons that prompt organizations to implement complex information systems are, on the one hand, the desire to increase the productivity of their work, and on the other hand the desire to improve the efficiency of enterprise management by adopting optimal and rational management decisions. The accumulated information due to the operation of the information system for many organizations is an important asset, however, it is becoming more and more difficult to process it and to benefit from it every day. It is established that it is impossible to simply talk about the necessary, important and correct information that an enterprise can use in its work. Now it becomes necessary to talk about the speedy reception, processing, storage, transfer of unstructured, heterogeneous data, which gives the opportunity to obtain qualitatively new knowledge for the enterprise due to a comprehensive analysis of all information in a single analytical storage (combined storage facilities).

It is determined that the development and implementation of information interaction between corporate information systems of participants in the entire transport process from the manufacturer to retailers will provide a number of advantages, including: the adoption of effective management decisions, the ability to automate the processing of a large amount of information, the ability to plan their work and resources for all participants Transport process.

Keywords: information system, supply chain management, corporate information system, transport process.

REFERENCES

1. Nagorny E.V. Commercial work on automobile transport: Textbook / E.V. Nagorny, N.Y. Shramenko, Kh .: HNADU, 2010, 324 p. (UKR)

2. *Kelrykh M.* (2014) Perspective directions of planning carrying systems of gondolas. Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». No 6, pp. 64-67
3. *Makarenko M. V.* Kompleksnyi analiz ekonomichnoho efektu vid zhyttievoho tsyклу suchasnoho napivvahonu [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola] //Naukovo-praktychnyi zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy».–Kyiv: DNDTs UZ, 2014, No. 5, p. 107.
4. *DSTU 2392-94.* Informatsiya ta dokumentatsiya. Bazovi ponyattya. Terminy ta vyznachennya. [State Standard 2392-94. Information and documentation. Basic concepts. Terms and definitions.]. Kyiv, Derzhpozhivstandart Ukrainy Publ., 1995. 9 p.
5. *Waters D.* Logistics. Supply Chain Management / D. Waters, M.: UNITY-DANA, 2003, 503 p.
6. *Stock JR* Strategic Logistics Management / JR Stock, DM Lambert; Per. With the English, M.: Publishing house «INFRA-M», 2005, 797 p.
7. *Bowersox Donald J.* Logistics: an integrated supply chain / Donald J. Bowersox, David J. Closs; Per. With the English. – M.: Olimp-Business CJSC, 2010. – 644 p.
8. *Johnsons J., Wood D., Wardlow F.* ta in. Suchasna Logistika / J. Johnsons, D. Wood, F. Wordlough – M.: Williams, 2002. – 624 p.
9. *Kravchenko A.P.* The value of the associated flows in the transportation process / A. Kravchenko, D.V.Bozhenko, V. Kuznetsov, A. // Bulletin of Vinnitsa Polytechnic Institute: collection of Sciences. St. – 2009. – Vol. 5. – P. 93-96. (UKR)
10. *Pichugina Y.V.* Use of a unified database for effective information support of freight forwarding enterprises / Y.V. Pichugina // Herald of Odessa national University: Coll. of Sciences. St. – 2008. – Vol. 15, Volume 13. – Pp. 104-109. (RUS)
11. *Kotlyarov S.L.* Logistic management of freight forwarding activities: Avtoref. Diss. on the receipt Kazan. the degree candidate. Ekon. nauk: spets. 08.00.05 «Economy. and control. Nar. khoz. (logistics)» / S.L.Kotlyarov. – S. Pb., 2001. – 20 C. (RUS)
12. *Lambert, D.M., Cooper, M.C., Pagh, J.D.,* 1998. Supply chain management: Implementation issues and research opportunities. International Journal of Logistics Management 9 (2),1–19.
13. *Cherepakha A.* Formation of the virtual management system for delivery process of the consumer goods in large cities. Thesis to obtain the degree of candidate of technical sciences, Kharkiv, 2016 (UKR)
14. *Fomin O.V., Burlutsky O.V., Fomina Yu.V.* Development and application of cataloging in structural design of freight car building // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, no. 2, pp. 250–256.
15. *Moroz, V.I.* (2008). Vyznachennia perspektyvnykh napriamkiv udoskonalennia konstrukttsii napivvahoniv vyrobnytstva DP «Ukrspetsvagon»[Determination of the promising direction for improvement of the open car design of SE» Ukrspetsvagon».]. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi Derzhavnoi Akademii Zaliznychnoho Transportu, 72-81.

УДК 04.25: 004.252; 004.258

Т. І. Висоцька, к.х.н., доцент

(доцент кафедри «Екологія і безпека життєдіяльності», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

Т. В. Пічкур, к.і.н., доцент

(доцент кафедри «Екологія і безпека життєдіяльності», Державний економіко-технологічний університету транспорту, м. Київ)

О. Ю. Тананайко, к.х.н., доцент

(доцент кафедри «Аналітична хімія», Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, м. Київ)

ЕКОЛОГО-АНАЛІТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ РЕЧОВИН АНТРОПОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ

У публікації розкрито суть проблеми збільшення ризику ураження людини і природи речовинами антропогенного походження. Як приклад розглянуто експериментальні спроби встановлення граничних доз забруднювачів відповідно до основних вимог системи моніторингу. Описано проблему повного і ефективного функціонування системи моніторингу в Україні. Розглянуто методи еколого-аналітичного моніторингу і контролю за вмістом шкідливих сполук в навколишньому середовищі, харчових продуктах і біотканинах. Проаналізовано накопичення забруднюючих речовин в окремих об'єктах природного середовища, їх перетворення і продукти метаболізму. Висвітлено заходи, розроблені щодо організації системи спостережень за забрудненням навколишнього середовища та оцінки антропогенного впливу на неї в Україні.

Ключові слова: моніторинг, екосистема, довкілля, стійкі органічні забруднювачі, проблема, людина, безпека.

В публикации раскрыта суть проблемы увеличения риска поражения человека и природы веществами антропогенного происхождения. В качестве примера описано попутки экспериментального установления предельных доз загрязнителей в соответствии с основными требованиями системы мониторинга. Рассмотрена проблема полного и эффективного функционирования системы мониторинга в Украине. Рассмотрены методы эколого-аналитического мониторинга и контроля за содержанием вредных соединений в окружающей среде, пищевых продуктах и биотканях. Проведен анализ накопления загрязняющих веществ в отдельных объектах природной среды, их преобразования и продукты метаболизма. Освещены мероприятия, разработанные по организации системы наблюдений за загрязнением окружающей среды и оценки антропогенного воздействия на нее в Украине.

Ключевые слова: мониторинг, экосистема, окружающая среда, стойкие органические загрязнители, проблема, человек, безопасность.

Постановка проблеми. З початком науково-технічної революції результати діяльності людини за своїм впливом на екосистему Землі стали порівнюватись за масштабами з природними катаклізмами. Зменшення запасів прісної води, зникнення

© Висоцька Т. І., Пічкур Т. В., Тананайко О. Ю., 2017

багатьох видів рослин і тварин, забруднення атмосфери, зростання числа онкологічних захворювань та інші наслідки антропогенного впливу на природне середовище викликають занепокоєння вчених. До небезпек, що загрожують розвитку цивілізації у XXI ст., додалась ще одна – загальнопланетарне забруднення довкілля чужорідними для живих організмів речовинами антропогенного походження (ксенобіотиками). Хіміки описали вже більше 18 млн хімічних сполук, з яких майже 100 000 використовуються в промисловості. Ці речовини викликають вроджені вади розвитку людини. Особливо схильні до їх впливу немовлята, які отримують ці речовини з молоком матері або через плаценту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У червні 1972 р. відбулася Конференція ООН з проблем середовища, оточуючого людину. На цьому міжнародному форумі уперше обговорювалася концепція сталого розвитку, яка нині є найбільш популярною концепцією розвитку людства. На конференції було затверджено Стокгольмську декларацію, яка містить 26 принципів збереження довкілля.

У 1975 р. з'явилася стаття Герасимова, де він розглядає наукові основи моніторингу довкілля. У той час дискусія в основному точилася навколо моніторингу забруднювачів, основним завданням якого було розглядати моніторинг як систему «спостереження за джерелами і рівнями забруднень навколишнього середовища на тлі природних флуктуацій».

У червні 1992 р. відбулась Конференція ООН з довкілля та розвитку, що проходила в Ріо-де-Жанейро. Результатом її роботи було прийняття Декларації «Порядок денний на XXI століття», у якій було продемонстровано, що людство більше не може розглядати довкілля окремо від економічного розвитку.

У 1993 р. прийнято постанову Уряду Російської Федерації «Про створення Єдиної державної системи екологічного моніторингу (ЕГСЕМ)», в якому передбачені включення в сферу спостережень нових видів і типів забруднювачів і оцінка їх впливу на навколишнє середовище, збільшення числа завдань, що вирішуються за допомогою оцінок і прогнозів, розширення географії моніторингу за рахунок нових територій і джерел забруднювачів.

У 2001 р. Україною було підписано Стокгольмську Конвенцію щодо стійких органічних забруднювачів та Протоколу щодо стійких органічних забруднювачів до Конвенції про трансграничне забруднення повітря на великі відстані (у 1998 р.).

В Україні розроблені заходи щодо організації системи спостережень за забрудненням навколишнього середовища та оцінки антропогенного впливу на неї.

Мета статті. З багатьох тисяч хімічних сполук, що викидаються в навколишнє середовище, необхідно вибрати ті, які становлять найбільшу небезпеку для людини. Метою моніторингу забруднювачів є: визначення рівнів забруднювачів у різних середовищах, їх поширення в просторі і зміна в часі; визначення величин і швидкостей поширення потоків забруднювачів і продуктів їх перетворення; порівняння рівнів забруднювачів і методів їх визначення в різних країнах, включаючи країни, що розвиваються, з метою отримання порівнянних результатів, а також обмін інформацією, яку отримали за допомогою різних систем моніторингу; забезпечення користувачів в глобальному, національному і регіональному масштабах інформацією, необхідною для прийняття рішень щодо усунення забруднювачів. Доцільно створення спеціалізованих систем моніторингу для спостережень за вмістом забруднюючих речовин в живих організмах, за антропогенним забрудненням океану, полярних областей, водних об'єктів, атмосфери, ґрунту тощо.

Виклад основного матеріалу дослідження. Накопичення та циркуляція у біосфері величезної кількості ксенобіотиків, які мають високу токсичність, стійкість, здатність накопичуватися в трофічних ланцюгах, призводить до порушення процесів відновлення природного середовища і його деградації. Такі незворотні зміни природ-

ного середовища пов'язані із викидами стійких органічних забруднювачів (СОЗ), які являють собою органічні сполуки природного або антропогенного походження, що важко піддаються фотолітичному, хімічному і біологічному розкладанню. В основному СОЗ утворюються в результаті господарської діяльності людини в промислово розвинених країнах. Розвиток промисловості і сільського господарства, енергетики, транспорту, добування корисних копалин призводять до виведення в повітря, воду, ґрунт і рослини сотень високотоксичних речовин, проникненню їх в організм людини і тварин. За територіальною ознакою джерела емісії СОЗ зручно поділяти на локальні і дифузні (просторово розподілені), а за обсягом емісії в навколишнє середовище – на регулярні та залпові. Особливу небезпеку для природи і людини мають просторово розподілені джерела, оскільки вони забруднюють великі території, їх важко виявити до того, як вони себе проявлять. Наявність або відсутність джерел СОЗ залежить і від забезпечення екологічної безпеки. Так, в країнах, де відсутній контроль за вмістом СОЗ в промислових виробках і харчових продуктах, вони можуть надходити в організм людини при контакті населення з пакувальними матеріалами, побутовими хімічними речовинами, барвниками, косметичними засобами, тоді як в країнах, де застосовують більш суворі стандарти, – лише при контакті з відходами виробництва, спалюванні побутового сміття на сміттєпереробних заводах, з вихлопними газами автомобілів.

Стійкі органічні забруднювачі характеризуються низькою розчинністю у воді і гарною розчинністю в жирах, що в свою чергу призводить до їх накопичення в тканинах живих організмів. Ці сполуки перевищують фонові рівні забруднюючих речовин у 70 разів. СОЗ переносяться повітряними масами, прісними і океанічними водами, димовими газами і пилом, тобто забруднення СОЗ має транснаціональний характер. Але водночас потрібно відмітити, що деякі види ксенобіотиків забезпечують інтенсифікацію харчової промисловості і мають одне з провідних значень у справах захисту здоров'я людей. Проте за досягнення цивілізації людство заплатило велику ціну: в організмі кожного з нас міститься приблизно 500 хімічних речовин – потенційних отрут, яких взагалі не існувало до початку ХХ ст. У довгостроковій перспективі для людства цей факт може мати непередбачувані негативні наслідки. Для стійких органічних забруднювачів (СОЗ) визначальними показниками токсичності є канцерогенність, мутагенність, вплив на репродуктивну і ендокринну системи, на психічну діяльність людини. З огляду на той факт, що СОЗ можуть тривалий час залишатися в навколишньому середовищі, є тільки один спосіб захистити себе і майбутні покоління – згорнути виробництво і використання СОЗ, а також зупинити ті промислові виробництва, які ведуть до їх появи. Цього можна досягти лише зусиллями всього світового співтовариства. Тому у червні 1992 р. відбулась Конференція ООН з довкілля та розвитку. З метою забезпечення безпеки життєдіяльності людини було виділено головні завдання щодо припинення та заборони застосування хімічних речовин підвищеної небезпеки, які вирізняються токсичністю, стійкістю, здатністю до накопичення, за умови, що їх надходження неможливо надійно контролювати. Наступним кроком у боротьбі зі стійкими органічними забруднювачами (СОЗ) стало підписання Україною Стокгольмської Конвенції (у 2001 р.) щодо стійких органічних забруднювачів та Протоколу щодо стійких органічних забруднювачів до Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані (у 1998 р.). Вже 17 травня 2004 року Стокгольмська конвенція набула чинності. Вона передбачала для країн-учасниць виконання основних зобов'язань: заборона та/або здійснення заходів, що є необхідними для ліквідації виробництва та використання, а також імпорту/експорту наступних речовин: альдрин, хлордан, дильдрин, ендрин, гептахлор, гексахлорбензол, мірекс, токсафен, поліхлоровані дифеніли (ПХД); обмеження виробництва/використання ДДТ та поліхлорованих дифенілів, екологічно безпечне видалення ПХД не пізніше 2028 р.; розробка плану дій та національної стратегії щодо змен-

шення або ліквідації викидів СО₂ в результаті їх ненавмисного утворення поліхлорованих дифенілів та дифенілів (ПХДД/Ф), гексахлорбензолу (ГХБ), поліхлорованих дифенілів (ПХД); сприяння впровадженню найкращих наявних методів у сфері охорони довкілля щодо зменшення або ліквідації викидів СО₂ тими джерелами, які вже існують або будуть створені у майбутньому. Стокгольмська конвенція запропонувала світовій спільноті план цілеспрямованих дій щодо зменшення надходження стійких органічних забруднювачів у навколишнє середовище.

Напередодні Стокгольмської конференції ООН із проблем навколишнього середовища канадський учений Р. Ман ввів у науку термін «моніторинг», що означає «той, що попереджує, застерігає». Професор Ман запропонував називати моніторингом «систему повторних спостережень за одним або більше елементами навколишньої природи в просторі та часі з певними цілями та попередньо заданою програмою». В результаті конференції було розроблено концепцію та програму моніторингу й оцінки стану довкілля. Основним завданням яких було розглядати моніторинг як систему безперервних спостережень, вимірювань і оцінку стану навколишнього середовища. Система моніторингу включає підсистеми галузевого і регіонального характеру та елементи цих підсистем. Вона охоплює як окремі об'єкти і райони (локальний моніторинг), так і країну в цілому (національний моніторинг), і входить в систему глобального моніторингу. Національний моніторинг відрізняється від глобального не тільки масштабами, а й тим, що його основним завданням є отримання інформації та оцінка забруднення навколишнього середовища в національних інтересах. Іноді застосовують термін транскордонний моніторинг – для оцінки переносу забруднювачів з одного регіону в інший або з однієї країни в іншу.

Оскільки оцінка фактичного і прогнозованого станів природного середовища є складовою частиною моніторингу забруднювачів, найчастіше до нього відносять і елементи управління станом навколишнього середовища. Спостереження і прогноз стану навколишнього середовища пов'язані між собою, так як прогноз стану навколишнього середовища неможливий без наявності достатньої інформації про забрудненість природного середовища і джерела надходження забруднюючих речовин. Для визначення основних джерел забруднювачів необхідні також аналіз результатів спостережень і дані про рівні забруднення природного середовища в інших регіонах. Крім того, не зважаючи на відмінність підходів вчених і фахівців до проблеми моніторингу забруднювачів, вона не може в повному обсязі вирішуватися без проведення наукових досліджень.

В Україні є розвинена нормативно-правова база для проведення геоекологічного моніторингу. Постановою Кабінету Міністрів було затверджене «Положення про державну систему моніторингу довкілля» від 30 березня 1998 р., яке визначає порядок створення та функціонування Державної служби моніторингу довкілля (ДСМД). ДСМД – це система установ, які збирають, аналізують, зберігають і поширюють інформацію про стан довкілля, прогнозують його зміни та надають науково обґрунтовані рекомендації для прийняття відповідних рішень ДСМД – складова національної інформаційної інфраструктури, що є відкритою інформаційною системою. Пріоритет її функціонування – захист життєдіяльності громадян і суспільства загалом, збереження природних екосистем, запобігання кризовим змінам у довкіллі та виникненню надзвичайних екологічних ситуацій антропогенно-техногенного походження. В Україні розроблені заходи щодо організації системи спостережень за забрудненням навколишнього середовища та оцінки антропогенного впливу на неї.

Система державного моніторингу довкілля контролює об'єкти трьох масштабних рівнів:

1) локального – територію окремих об'єктів (підприємств, міст, ландшафтів та їх складових);

2) регіонального – територію економічних і природних регіонів та адміністративно-територіальних одиниць

3) національного – територію країни загалом.

Створення і функціонування ДСМД мають на меті інтеграцію екологічних інформаційних систем, що охоплюють певні території, ґрунтуються на принципах узгодженості нормативно-правового й організаційно-методичного забезпечення, сумісності технічного, інформаційного та програмного забезпечення її складових (рис. 1).

Моніторинг здійснюють суб'єкти моніторингу за загальнодержавною та регіональними (місцевими) програмами реалізації відповідних природоохоронних заходів. Фінансуються роботи зі створення і функціонування ДСМД та її частин за рахунок коштів, передбачених у державному та місцевих бюджетах згідно з чинним законодавством. Суб'єкти моніторингу забезпечують:

1) удосконалення підпорядкованих їм мереж спостережень за станом довкілля;

2) уніфікацію методик спостережень і лабораторних аналізів, приладів та систем контролю;

3) створення банків даних для наступного їх багатоцільового колективного використання за допомогою єдиної комп'ютерної мережі, що забезпечує автономне і спільне функціонування складових цієї системи та її зв'язок з іншими інформаційними системами, котрі діють в Україні та за кордоном.

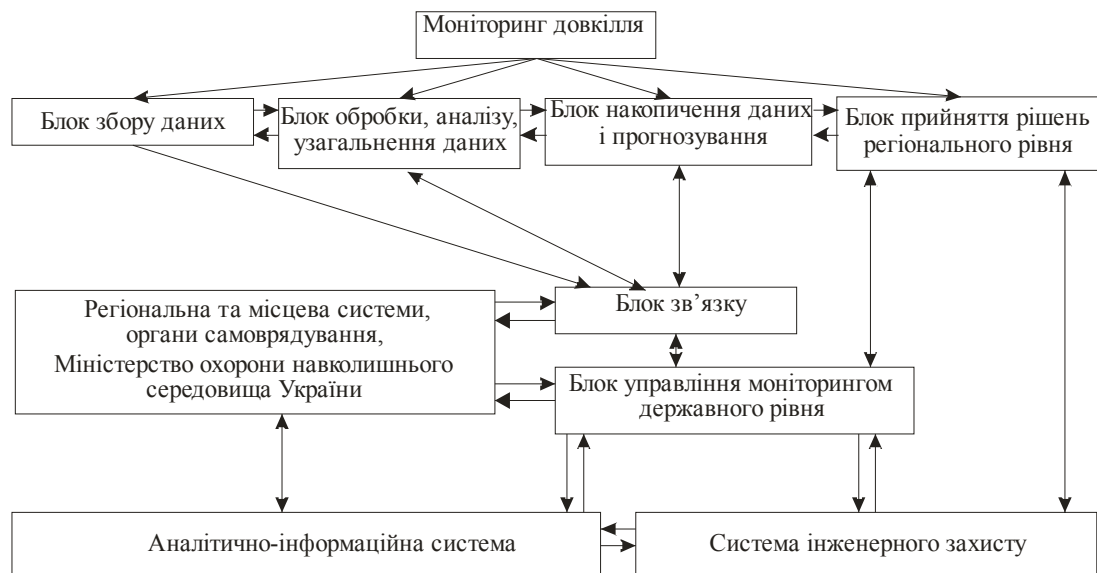


Рис.1. Узагальнена структура моніторингу навколишнього природного середовища

З багатьох тисяч хімічних сполук, що викидаються в навколишнє середовище, необхідно вибрати ті, які становлять найбільшу небезпеку для людини. Для цього використовують такі критерії, як концентрація, поширеність, стійкість і здатність до трансформації в більш небезпечні сполуки, токсичність, вплив на природні системи, здатність до міграції і накопичення в живих організмах. При цьому отримана інформація повинна бути порівнянною, тобто повинні використовуватися уніфіковані методики аналізу, що пройшли, атестацію на міжнародному або національному рівні. Найчастіше мова йде про кількості нижче (особливо в разі фонових моніторингу), ніж ті, з якими ми стикаємося в повсякденній діяльності. Система еколого-

аналітичного моніторингу повинна забезпечити проведення найбільш відповідальних аналізів в різних лабораторіях.

З практичної точки зору важлива класифікація еколого-аналітичного моніторингу за такими чинниками і джерелами впливу. Розрізняють моніторинг забруднювачів та моніторинг джерел забруднювачів: точкових стаціонарних (заводські труби, котельні і т.п.), точкових рухомих (транспорт) і майданних (міста, звалища побутового сміття, забруднені території та ін.) джерел. Іноді доцільно створення спеціалізованих систем моніторингу для спостережень за вмістом забруднюючих речовин в живих організмах, за антропогенним забрудненням океану, полярних областей, водних об'єктів, атмосфери, ґрунту тощо. Аналітичні виміри класифікують за фізичними, хімічними та біологічними показниками, а також за результатами, отриманими дистанційними методами і за допомогою штучних супутників Землі.

Висновки та пропозиції. Отже, у ході даної роботи було описано проблему збільшення ризику ураження людини і природи зазначеними забруднювачами. Для її уникнення встановлюють норми їх допустимого надходження в середовище проживання і організм людини, а також норми допустимих техногенних викидів. Експериментальні спроби встановлення граничних доз забруднювачів викликають підвищену зацікавленість вчених і фахівців. Основними вимогами до системи моніторингу СОЗ є періодичність і довгостроковість спостережень. Для організації еколого-аналітичного моніторингу СОЗ і контролю за вмістом цих сполук в навколишньому середовищі, харчових продуктах і біотканинах, повинна бути створена мережа постійних полігонів, що відповідають різноманітності промислових і сільськогосподарських зон. Навіть якщо вважати, що діючі регіональні природоохоронні аналітичні лабораторії приблизно однаково оснащені (що не відповідає дійсності) і працюють за єдиними методиками з використанням одних і тих же методів аналізу, то визначення СОЗ в більшості цих лабораторій важко здійснити через відсутність стандартів, сучасних приладів і обладнання, кваліфікованих хіміків-аналітиків та ін. При здійсненні еколого-аналітичного моніторингу та нормуванні забруднювачів слід враховувати, що багато забруднюючих речовин можуть накопичуватися в окремих об'єктах природного середовища та живих організмах, перетворюватися в нові, більш токсичні форми. Тому необхідно вивчати їх перетворення і продукти метаболізму. Таким чином, практична організація еколого-аналітичного моніторингу забруднювачів є виключно складним і багатоплановим завданням. На сьогоднішній день досить повна і ефективно працююча система моніторингу забруднювачів в нашій країні не створена. У сусідніх країнах ведуться роботи з пошуку організаційних форм територіальних систем інформаційного забезпечення управління екологічною безпекою і їх взаємодії. У багатьох областях створюються єдині системи інформаційного забезпечення управління природокористуванням і екологічною безпекою, в яких передбачена інтеграція різних інформаційних систем, що діють на даній території. Функціонування таких систем неможливо без інвентаризації та паспортизації джерел надходження забруднювачів в атмосферу, водні об'єкти та інші середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Луцик А.В., Романюк О.С., Швирло М.І., Яковлев Є.О. Моніторинг екзогенних геологічних процесів як складова моніторингу довкілля в Україні // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2002. – № 1. – С. 73.
2. Гавриленко О. П. Моніторинг навколишнього природного середовища в Україні [Електронний ресурс] / О. П. Гавриленко // Екогеографія України – Режим доступу до ресурсу: http://pidruchniki.com/12991010/ekologiya/monitoring_navkolishnogo_prirodnogo_seredovischa_ukrayini.
3. Гавриленко О. П. Державна система моніторингу навколишнього природного середовища в Україні [Електронний ресурс] / О. П. Гавриленко // Екогеографія України – Режим доступу до ресурсу: http://pidruchniki.com/1584072011706/ekologiya/ekogeografiya_ukrayini.

4. *Определение концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе*. Сборник методических указаний. МУК 4.1.591-96 – 4.1.645-96, 4.1.662-97, 4.1.666-97. Издание официальное. – М.: Минздрав России, 1997. – 52 с.
5. *Другое Ю.С., Родин А.А.* Пробоподготовка в экологическом анализе. СПб.: АНАТОЛИЯ, 2002. – 755 с.
6. *Муравьева С.И., Казнга Н.Н., Прохорова Е.К.* Справочник по контролю вредных веществ в воздухе. М.: Химия, 1988. – 320 с.
7. *Муравьева С. И. и др.* Руководство по контролю вредных веществ в воздухе рабочей зоны. – М.: Химия, 1991. – 368 с.
8. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. Энциклопедия «ЭКОМЕТРИЯ». Серия справочных изданий / Под ред. *Исаева Л.К.* СПб.: Крисмас+, 1998. 851 с.
9. *Методические указания по определению концентраций химических веществ в воде централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения*. Сборник методических указаний МУК 4.1.646 – 4.1.660.96. М.: Минздрав России, 1997. – 112 с.
10. *Майстренко В. Н.* Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей / В. Н. Майстренко, Н. А. Ключев. – Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2004. – 323 с.
11. *Borgen A.R., Schlabach M., Kallenborn R. et al.* // *Organohalogen Compounds*. 2002. Vol. 59. P. 303-306.
12. *Mottaleb M.A., Abedin M.Z.* // *Anal. Sei.* 1999. Vol. 15, N3. P. 382-388.
13. *Ключев Н.А., Бродский Е. С.* // Полихлорированные бифенилы. Супертоксиканты XXI века. Выпуск 5. – М.: ВИНТИ, 2000. – С. 31-63.

***Tetyana I. Vysotska, PhD (Chemistry Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Ecology and Life Safety Chair, State University for
Transport Economy and Technologies)***

***Tetyana V. Pichkur, PhD (History Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Ecology and Life Safety Chair, State University for
Transport Economy and Technologies)***

***Oksana Yu. Tananaiko, PhD (Chemistry Sciences), Associate Professor
(Associate Professor of Analytical Chemistry Chair, Taras Shevchenko National
University of Kyiv)***

ENVIRONMENTAL MONITORING ANALYTICAL SUBSTANCES AND ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE ENVIRONMENT

The publication revealed the problem increasing the risk of human and natural substances of human origin. In an example described experimental attempts dose limiting pollutant according to the basic requirements of the monitoring system. This issue of full and effective functioning of the monitoring system within our country. Comparison and analysis of the functioning of the system of Russian regions. The methods of analytical environmental monitoring and control of content of harmful substances in the environment, food and biological tissues that meet a variety of industrial and agricultural areas. Studied the accumulation of pollutants in the environment of individual objects, their transformations and metabolic products. Deals with measures designed for the organization monitoring system of environmental pollution and assessment of human impact on it in Ukraine.

Keywords: *monitoring, ecosystem, environment, persistent organic pollutants problem, the person safety.*

REFERENCES

1. *Lushchik AV, AS Romanyuk, Shvyrlu N., Yakovlev E.* Monitoring exogenous processes as part of environmental monitoring in Ukraine // *Ecology Environment and Life Safety*, 2002, No. 1, p. 73.

2. Havrylenko O. P. Monitorynh navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyshcha v Ukrayini [Environmental monitoring in Ukraine] (Elektronnyy resurs), Ekoheohrafiya Ukrayiny, Rezhym dostupu do resursu: http://pidruchniki.com/12991010/ekologiya/monitoring_navkolishnogo_prirodnogo_seredovischa_ukrayini
3. Havrylenko O. P. Derzhavna systema monitorynhu navkolyshn'oho pryrodnoho seredovyshcha v Ukrayini [The state system of environmental monitoring in Ukraine] (Elektronnyy resurs) Ekoheohrafiya Ukrayiny, Rezhym dostupu do resursu: http://pidruchniki.com/12560607/ekologiya/derzhavna_sistema_monitoringu_navkolishnogo_prirodnogo_seredovischa_ukrayini
4. *Determination of the concentrations of pollutants in the ambient air*. Collection of guidelines. MUK 4.1.591-96 – 4.1.645-96, 4.1.662-97, 4.1.666-97. The edition is official. Moscow: Ministry of Health of Russia, 1997, 52 pp.
5. Oter Y., Rodin A. Sample preparation in environmental analysis. St. Petersburg: ANATOLIA, 2002, 755 p.
6. Muraveva S., Kaznhta H., Prokhorov E. Handbook on the control of harmful substances in the air. Moscow: Chemistry, 1988, 320 p.
7. Muraveva, S. et al., Guidance on the Control of Harmful Substances in the Air of the Work Area. M.: Chemistry, 1991, 368 p.
8. Control of chemical and biological parameters of the environment. Encyclopedia «ECOMETRY». A series of reference publications / Isaeva L.K. St. Petersburg: Krismas +, 1998. 851 p.
9. *Methodological instructions for determining the concentration of chemicals in the water of a centralized domestic drinking water supply*. Collection of methodical instructions MUK 4.1.646 – 4.1.660.96. Moscow: Ministry of Health of Russia, 1997. 112 pp.
10. Maystrenko V. N. Эколого-аналитический мониторинг стойких орханыческихкых загрязнителей [Ecological and analytical monitoring of persistent organic pollutants] Moscow, Bynom. Laboratoryya znanyy, 2004, 323 p.
11. Borgen A., Schlabach M., Kallenborn R. et al., Organohalogen Compounds. 2002, No. 59, P. 303-306.
12. Mottaleb M., Abedin M. // Anal. Sei. 1999. No. 15, N3.P. 382-388.
13. Kliuev H., Brodsky E. // Polychlorinated biphenyls. Supertoxicants of the XXI century, No. 5, M.: VINITI, 2000, P. 31-63.

УДК 656.078

В. В. Габа, к.т.н., професор
(професор кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць»
Державного економіко-технологічного університету транспорту)
Т. М. Грушевська, к.т.н.
(старший викладач кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць»
Державного економіко-технологічного університету транспорту)
О. О. Поворознік
(аспірант кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць»
Державного економіко-технологічного університету транспорту)
М. В. Рудюк, к.і.н.
(старший викладач кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць»
Державного економіко-технологічного університету транспорту)

УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКІВ МІЖ ПАТ «УКРЗАЛІЗНИЦЯ» ТА КЛІЄНТАМИ В УМОВАХ РЕФОРМУВАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

У статті досліджено стан залізничної галузі та запропоновано основні заходи щодо покращення надання якості транспортних послуг. Подальше реформування залізничного транспорту забезпечить доступ до об'єктів інфраструктури залізниць користувачів різних форм власності та призведе до змін у взаємовідносинах з клієнтами залізничного транспорту. Зокрема у сегменті вантажних перевезень розробляється єдиний договір на організацію перевезень вантажів і проведення розрахунків за перевезення та надані залізничним транспортом послуги. У зв'язку зі збільшенням конкуренції на ринку транспортних послуг в умовах реформування залізничної галузі особливу роль відіграє якість послуг, спрощення процедур їх надання та впровадження електронних засобів спілкування учасників перевізного процесу. Вирішення вказаних питань є однією із вимог при створенні Публічного акціонерного товариства «Українські залізниці». Організаційно-правова форма господарювання – публічне акціонерне товариство – дозволяє перейти від регіональної структури українських залізниць до територіального принципу формування залізничного бізнесу. Це дозволить створити компанії за функціональною ознакою, які будуть спеціалізуватись на певних видах перевезень (вантажні, пасажирські) та керує інфраструктурою. Утворення компаній дасть можливість поліпшити взаємовідносини між учасниками перевізного процесу, удосконалити діючі технологічні ланцюги у взаємовідносинах.

Ключові слова: залізничний транспорт, вантажні перевезення, послуги, проведення розрахунків, єдиний договір

В статье исследовано состояние железнодорожной отрасли и предложены основные мероприятия по улучшению предоставления качества транспортных услуг. Дальнейшее реформирование железнодорожного транспорта обеспечит доступ к объектам инфраструктуры железных дорог пользователей различных

© Габа В. В., Грушевська Т. М., Поворознік О. О., Рудюк М. В., 2017

форм собственности и приведет к изменениям во взаимоотношениях с клиентами железнодорожного транспорта. В частности, в сегменте грузовых перевозок разрабатывается единый договор на организацию перевозок грузов и проведения расчетов за перевозку и предоставленные железнодорожным транспортом услуги. В связи с увеличением конкуренции на рынке транспортных услуг в условиях реформирования железнодорожной отрасли особую роль играет качество услуг, упрощение процедур их предоставления и внедрение электронных средств общения участников перевозочного процесса. Решение указанных вопросов является одним из требований при создании Открытого акционерного общества «Украинские железные дороги». Организационно-правовая форма – публичное акционерное общество – позволяет перейти от региональной структуры украинских железных дорог к территориальному принципу формирования железнодорожного бизнеса. Это позволит создать компании по функциональному признаку, будут специализироваться на определенных видах перевозок (грузовые, пассажирские) и руководит инфраструктурой. Образование компаний позволит улучшить взаимоотношения между участниками перевозочного процесса, усовершенствовать действующие технологические цепи во взаимоотношениях.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, грузовые перевозки, услуги, проведение расчетов, единый договор.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. На сьогоднішній день залізничний транспорт є основою транспортної системи України і суттєво впливає на конкурентоспроможність між іншими видами транспорту. Саме конкуренція сприяє збагаченню пропозиції на ринку, впровадженні нових форм сервісу та послуг у рамках конкурентної боротьби за переваги споживачів. У зв'язку з підвищенням конкурентоспроможності транспортних послуг на залізниці, виникла потреба в структурних перетвореннях на залізничному транспорті. Все більшого значення набуває питання підвищення якості транспортного обслуговування вантажів, незважаючи на те, що залізничний транспорт виступає монополістом в масових перевезеннях металургійної, хімічної та видобувної промисловості.

Аналіз попередніх досліджень і виділення невирішених раніше аспектів проблеми, яким присвячена стаття. Успішний розвиток України в теперішніх умовах неможливий без конкурентоспроможності транспортної галузі. Розвиток досліджень щодо підвищення ефективності організації залізничних перевезень, питань якості надання транспортних послуг для вантажовласників у науково-практичній літературі згадуються все частіше, що зумовлено зростаючою актуальністю проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що над проблемою оцінки якості транспортних послуг працювало багато вчених, серед яких Белінська М.Г., Козаченко Д.М., Колесникова Н.М., Макаренко М.В., Мироненко В.К., Нагорний Є.В., Чорний В.В., Цветов Ю.М. та інші.

В роботах зазначених авторів значне місце відведено визначенню науково-методичних підходів до комплексної оцінки якості експлуатаційної роботи залізниць. Питанню підвищення якості транспортних послуг приділялось менше уваги. Складність та важливість підвищення конкурентоспроможності та вдосконалення системи обслуговування вантажовласників для перевізних підприємств обумовлює необхідність проведення подальших досліджень даної проблеми.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перевезення вантажів залізницями України здійснюється в різних видах сполучення і за участю інших видів транспорту, тому слід добре розуміти, в якому виді сполучення діє той чи інший нормативний документ що передбачає відповідальність залізниць, відправників і одержувачів при

перевезенні вантажів. По-перше, у внутрішньодержавному місцевому і прямому сполученнях перевезення вантажів здійснюється за перевізними документами внутрішнього сполучення згідно правил внутрішніх перевезень. У цьому виді перевезень відповідальність залізниці, вантажовідправників і вантажоодержувачів визначена Статутом залізниць України. По-друге, перевезення експортних, імпорتنих і транзитних вантажів у держави СНД, а також транзитні перевезення вантажів залізницями України між ними здійснюється за перевізними документами на бланках СМГС згідно з Угодою між залізничними адміністраціями СНД і республік Латвії, Литви і Естонії «Про особливості застосування окремих норм СМГС» (01.10.97). Порядок оформлення окремих документів і передавання вагонів і контейнерів через міждержавні залізничні передавальні переходи держав СНД також встановлений цією Угодою. У цьому виді сполучення відповідальність залізниць, вантажовідправників і вантажоодержувачів у процесі перевезення встановлена згідно з окремими положеннями СМГС, визначених Угодою. По-третє, перевезення експортних, імпорتنих і транзитних міжнародних вантажів із третіх країн (за межі колишнього Радянського Союзу), а також в залізнично-поромному сполученні Іллічівськ – Варна забезпечується за перевізними документами СМГС. Тому відповідальність залізниць, вантажовідправників і вантажоодержувачів при перевезенні цих вантажів повністю визначена положеннями СМГС.

Проте відповідальність залізниць, вантажовідправників і вантажоодержувачів за невиконання плану перевезень в усіх видах сполучень при перевезеннях вантажів залізницями України встановлена виключно Статутом залізниць України. У разі невиконання чи неналежного виконання зобов'язань, що впливають з плану перевезень і договору перевезень винна сторона несе за це матеріальну відповідальність [9].

Із створенням Публічного акціонерного товариства «Українська залізниця» (далі ПАТ «Укрзалізниця») передбачається розвиток та надання клієнтам послуг і сервісу європейської якості.

В процесі створення ПАТ «Укрзалізниця» свій статус змінило понад 40 підприємств, які раніше були окремими юридичними особами. Регіональна структура українських залізниць поступово трансформується у вертикально-інтегровану. Крім того, нова організаційно-правова форма господарювання – публічне акціонерне товариство – дозволяє перейти від територіального принципу формування залізничного бізнесу. Зокрема, це дозволяє за функціональною ознакою створити компанії, що спеціалізуються на певних видах перевезень (вантажних, пасажирських), а компанію, що керує інфраструктурою тощо.

Чому була вибрана форма публічного акціонерного товариства, а не державного концерну або державного холдингу? Публічне акціонерне товариство – господарське товариство, державна частка статутного капіталу якого в даному випадку становить 100%, що забезпечує державі право вирішального впливу на господарську діяльність цього товариства.

Зарубіжний досвід реформування свідчить, що в світі немає єдиної концепції управління і розвитку сталевих магістралей, але найбільш оптимальною і перспективною формою суб'єкта господарювання, яка враховує специфіку функціонування залізничного транспорту як єдиного виробничо-технологічного комплексу, органічно поєднує централізоване управління перевізним процесом та ринкові принципи господарювання, дозволяє забезпечити постійне і послідовне реформування галузі, є публічне акціонерне товариство, 100% акцій якого належить державі. Ці акції заборонено відчужувати, передавати в управління, заставу, використовувати для формування статутного капіталу суб'єктів господарювання та здійснювати за ними інші угоди, наслідком яких може бути відчуження їх з державної власності.

Майно, яке передається товариству на праві господарського відання, не підлягає приватизації. Відповідні зміни внесені в Закон України «Про приватизацію державно-

го майна». Управління майном, яке внесено до статутного капіталу товариства, буде проводитися відповідно до законодавства України і статуту товариства, затвердженого Постановою Кабінетом Міністрів України №735 від 02.09.2015 року. Можливість приватизації майна залізничного транспорту відповідними положеннями Закону виключена.

Розвиток ринку залізничних перевезень в країнах ЄС регулюється низкою директив, зокрема директивою ЄС № 91/440 від 29 липня 1991 р. Ці директиви вимагають від країн-учасників ЄС забезпечити функціонування залізниць як суб'єктів господарювання, незалежних від органів державної влади. Крім того, інфраструктура сталевих магістралей повинна бути відкрита для всіх, хто виконає певні вимоги і захоче в майбутньому надавати транспортні послуги. Заходи програми реформування галузі передбачають виконання цих директив.

В результаті проведення реформ на залізничному транспорті буде досягнуто:

- поліпшення системи державного управління та регулювання галуззю;
- підвищення інвестиційної привабливості галузі;
- можливість доступу до об'єктів інфраструктури залізниць користувачів різних форм власності;
- збільшення обсягу перевезень (приблизно на 20-25%);
- загальноекономічний ефект за рахунок стимулювання розвитку транспортного машинобудування;
- зниження рівня зносу активної частини основних фондів (до 60%);
- зменшення собівартості перевезень (орієнтовно на 15% – за рахунок оновлення парку локомотивів і вагонів, скорочення витрат на ремонти, впровадження енергозберігаючих технологій, удосконалення методів організації руху поїздів);
- зменшення частки транспортної складової в ціні продукції;
- скорочення термінів доставки і переробки вантажів (на 15-20%);
- підвищення продуктивності праці залізничників в 1,6 раза.

З утворенням ПАТ «Укрзалізниця» особливого значення набуло питання оптимізації розрахунків між ПАТ «Укрзалізниця» та клієнтами (вантажовласниками, експедиторами та ін.).

Схема взаємодії клієнтів із залізницями до удосконалення системи оптимізації відносин клієнт – залізниця представлена на рис. 1.

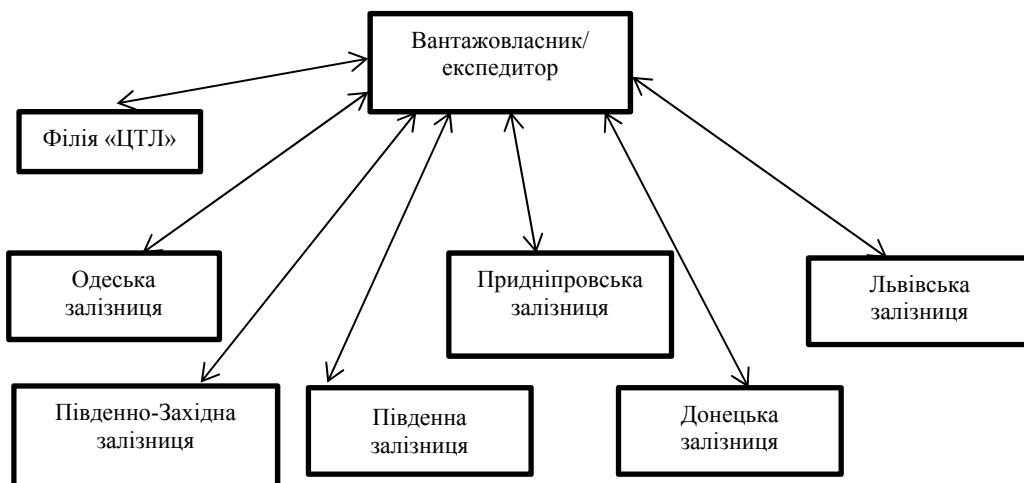


Рис. 1. Схема взаємодії клієнтів із залізницями

Тобто, у клієнта повинні були бути укладені окремі договори з:

- регіональною філією «Південно-Західна залізниця»,

- регіональною філією «Львівська залізниця»,
- регіональною філією «Придніпровська залізниця»,
- регіональною філією «Одеська залізниця»,
- регіональною філією «Донецька залізниця»,
- регіональною філією «Південна залізниця»,
- філія «ЦТЛ».

Проте зі створенням ПАТ «Укрзалізниця» необхідно було неухильно стимулювати оновлення діючого порядку укладання договору на перевезення вантажів і надані залізничним транспортом послуги, а саме: уповноважити філію «ЦТЛ» укладати договори від імені ПАТ «Укрзалізниця», розробити та впровадити новий порядок укладання договорів, доопрацювати програмне забезпечення для можливості комплексних розрахунків і фінансово-статистичної звітності, розробити Єдиний договір, встановити єдину методику розрахунків, калькуляцій за надані регіональними філіями додаткові послуги та розробити технологічний процес роботи філії «ЄРЦ», через яку будуть проводитись розрахунки за Єдиним договором.

Запровадження Єдиного Договору «Про організацію перевезень вантажів і проведення розрахунків за перевезення та надані залізничним транспортом послуги» дозволить оптимізувати взаємовідносини ПАТ «Укрзалізниця» та клієнтами. З його запровадженням схема взаємодії клієнтів із залізницями виглядатиме таким чином (рис. 2).

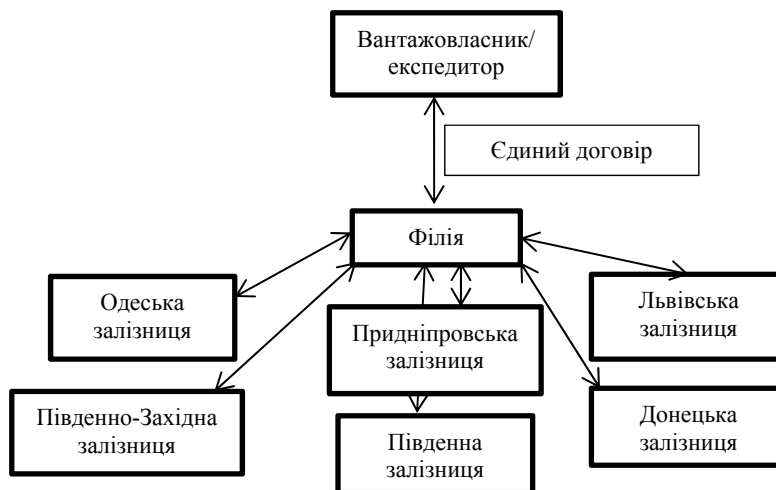


Рис. 2. Схема взаємодії клієнтів із залізницями після впровадження

Надання послуг залізничним транспортом, якість яких відповідала б потребам вантажовласників, є подальшим напрямком вдосконалення діяльності залізниць.

Запропонована модель оптимізації має певні переваги та недоліки.

До переваг можна віднести:

- створення «єдиного вікна»,
- спрощення процедури договірних відносин,
- один код відправника + один особовий рахунок,
- розрахунки в єдиному підрозділі,
- оптимізація кількості працівників.

До недоліків можна віднести:

- запропоновані зміни викличуть тимчасове непорозуміння та незадоволення вантажовласників;
- необхідний додатковий час для доопрацювання програмного забезпечення;
- потребує змін технологія надання рухомого складу, яка збереглася стара;

- діючий порядок вирішення спірних питань не пристосований до нових умов і потребуватиме змін;

- втрата гнучкості при умові укладання договору із узгодженими розбіжностей.

Єдиний договір має ряд особливостей:

- один договір на організацію перевезень вантажів і проведення розрахунків за перевезення та надані залізничним транспортом послуги.

- надається єдиний код платника по ПАТ «Укрзалізниця».

- надається єдиний код вантажовідправника/вантажоодержувача по ПАТ «Укрзалізниця».

- розрахунки перевезень через філію «Єдиний розрахунковий центр залізничних перевезень» ПАТ «Укрзалізниця».

- розрахунки за перевезення лише безготівкові.

- надання послуг вантажовласникам за наявності достатньої суми коштів на особовому рахунку по ЄРЦ.

- зміна ставок за додаткові послуги, які виконуються за вільними тарифами, визначаються Перевізником і доводяться Замовнику шляхом розміщення інформації на офіційному сайті Перевізника із зазначенням терміну введення їх у дію.

Договір укладається з користувачами послуг залізничного транспорту від імені ПАТ «Укрзалізниця» уповноваженими особами (регіональних філій або ЦТЛ). Проект договору розміщений на сайті ПАТ «Укрзалізниця», ЦТЛ та регіональних філій. Термін укладання договору зі сторони ПАТ «Укрзалізниця» та надання кодів (відправника, одержувача, платника) не повинен перевищувати одного повного робочого дня.

Укладання Договору з узгодженими розбіжностями проводиться виключно керівництвом ЦТЛ.

Після укладання договору сторонами, при необхідності підписання в подальшому додаткових угод до нього, не допускається вимагати від користувачів залізничних послуг правовстановлюючих документів, в т.ч. якщо клієнт звернувся в інше місце відносно місця де укладався основний договір

Про причину відмови в укладанні договору ЦТЛ повідомляє користувача залізничних послуг в письмовому вигляді з відповідним обґрунтуванням.

Для заключення договору користувачі залізничних послуг повинні надати пакет документів:

- копія Статуту та зміни до нього, зареєстровані в установленому порядку;

- копія витягу з Єдиного державного реєстру юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців;

- копія довідки про включення користувача залізничних послуг до Єдиного державного реєстру підприємств та організацій України;

- витяг з реєстру платника податку на додану вартість;

- протокольне рішення учасників (засновників, акціонерів, власників) про призначення директора та/або особи, яка підписує договір або довіреність (згідно зі статутними документами), або інший документ, що підтверджує право на підписання договору;

- довідка від банківської установи про відкриття рахунку користувача залізничних послуг із зазначенням усіх банківських реквізитів (щодо рахунку, через який здійснюватимуться розрахунки за договором;

- копії мають бути засвідчені підписом та печаткою уповноваженої особи користувача залізничних послуг.

На даний момент користувачі залізничними послугами вимушені тримати кошти на 6 особових рахунках регіональних філій, при цьому частина з них, згідно договорів, вимагає зобов'язання тримати передплату в розмірі 4-10 діб попередньої оплати на розрахунковому рахунку в ТехПД. Це відчутно «морозить» кошти та обмежує можливість їх використання саме на тому ТехПД, яке їх потребує в конкретний момент.

Висновок. Із запровадженням Єдиного договору кошти будуть знаходитись на єдиному кодї, що дозволяє акумулювати кошти там, де вони необхідні, а не розносити їх по різних ТехПД. В Єдиному договорі також відсутні зобов'язання тримати передплату 4-10 діб на рахунку, як це наразі вимагають ТехПД.

Проте невирішеним залишається питання переведення коштів із шести ТехПД і рахунків у ЦТЛ на єдиний код. ПАТ «Укрзалізниця» зобов'язалась повідомити клієнтів за місяць до впровадження Єдиного договору, щоб клієнти мали можливість максимально використати кошти, що є на всіх ТехПД. Але, на жаль, до цих пір не відпрацьована система, технологія і порядок перенесення коштів з багатьох ТехПД на Єдине. Тому всі плюси і мінуси запровадження договору так і залишаються на папері. І лише фактичне впровадження Єдиного договору, згуртована надійна робота усіх ланок, що братимуть участь у даному процесі, дозволить безболісно прийняти оновлення та перейти на новий порядок роботи згідно з нормативними актами ПАТ «Укрзалізниця».

ЛІТЕРАТУРА

1. *Войцех Балчун.* Основні вектори розвитку на найближче п'ятиріччя – правління схвалило стратегію розвитку галузі до 2021 року [Електронний ресурс] / Войцех Балчун. – Режим доступу: <http://www.magistral-uz.com.ua/news/vojceh-balchun-viznachili-osnovni-vektori-rozvitku-na-najblizhche-pjatiletichja-pravlinnja-shvalilo-strategiju-rozvitku-galuzi-do-2021-roku.html>.
2. *Белінська М.Г.* Особливості формування фінансової звітності щодо обліку доходних надходжень при впровадженні нової системи розрахунків за вантажні перевезення за принципом «резервування платежів» / М.Г. Белінська // Збірник наукових праць ДЕДУТ. Серія «Економіка і управління». – Вип.35. – 2016. – С. 377-390.
3. *Габа В.В.* Якість та конкурентоспроможність транспортних послуг на залізничному транспорті / В.В. Габа // Збірник наукових праць ДЕДУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – Вип.21. – 2012. – С. 143-146.
4. *Чорний В.В.* Конкурентоспроможність залізниць на ринку вантажних перевезень: теорія, методологія, практика: [монографія] / В.В.Чорний. – К.: ДЕДУТ, 2012. – 401 с.
5. *Белінська М.Г.* Резервування платежів як важлива умова оптимального формування доходів ПАТ «Українська залізниця» від вантажних перевезень / М.Г. Белінська // Збірник наукових праць ДЕДУТ. Серія «Економіка і управління». – Вип.34. – 2015. – С. 62-70.
6. Теоретичний курс лекцій (тренінг) ТОВ «СПЛ» на тему: «Єдиний договір 2017». – Режим доступу: <http://www.5pl.com.ua/>
7. Договір «Про організацію перевезень вантажів і проведення розрахунків за перевезення та надані залізничним транспортом послуги».
8. Офіційний сайт ПАТ «Укрзалізниця». – Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua/>.
9. *Мироненко В. К., Габа В. В., Мацюк В. І., Петренко Л. М.* Залізничні вантажні перевезення: Навчальний посібник. – Київ: ДЕДУТ, 2015. – 248 с.

Vasul V. Gaba, PhD (Technical Sciences), Professor
(Professor, Operation of Railways Commercial Activities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Tetiana M. Hrushevska, PhD (Technical Sciences)
(Associate Professor of Operation of Railways Commercial Activities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

Oleksandr O. Povorozhnik, graduate student
(graduate student, State University for Transport Economy and Technologies)

Maryna V. Rudiuk, PhD (Historical Sciences)
(Associate Professor of Operation of Railways Commercial Activities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)

IMPROVEMENT PAYMENTS BETWEEN PAT «UKRZALIZNYTSIA»
AND CUSTOMERS IN THE REFORMATION OF RAILWAYS

The article examined the state of the railway sector and provides the main measures to improve the provision of quality transport services. Further reform of rail transport provides access to railway infrastructure users of various forms of ownership and lead to changes in the relationship with the customers of rail transport. In particular in the segment of transportation developed single contract for the transport of goods and payments for transportation and provided rail service. Due to increasing competition in the transport market in terms of reforming the railway industry special role played by the quality of services they provide simplification of procedures and introduction of electronic communication between members of the transportation process. Addressing these issues is one of the requirements for the creation of JSC «Ukrainian Railways». Types of business entity – public company – to move from a regional structure of Ukrainian railways to the territorial principle of formation of the railway business. This will create a company's functional characteristics that will specialize in certain types of traffic (freight, passenger) and manages infrastructure. Formation will enable companies to improve relationships between the participants of the transportation process, improve the existing process chains in the relationship.

Keywords: railway transport, freight, services, calculations, only one contract

REFERENCES

1. Voitsekh Balchun. Osnovni vektory rozvytku na naiblyzhche piytyrichchia – pravlinnia skhvalylo stratehiiu rozvytku haluzi do 2021 roku [The main vectors of development for the nearest five years – the board approved the development strategy by 2021]. Rezhym dostupu: <http://www.magistral-uz.com.ua/news/vojceh-balchun-viznachili-osnovni-vektori-rozvitku-na-najblizhche-piytyrichchia-pravlinnja-shvalilo-strategiju-rozvitku-galuzi-do-2021-roku.html>.
2. Belinska M.H. Osoblyvosti formuvannia finansovoi zvitnosti shchodo obliku dokhodnykh nadkhodzen pry vprovadzhenni novoi systemy rozrakhunkiv za vantazhni perevezennia za pryntsyom «rezervuvannia platezhiv» [Features of financial reporting on accounting of revenue receipts in the implementation of the new payment system for freight transportation on a «reservation payments»], Zbirnyk naukovykh prats DETUT, Seriya «Ekonomika i upravlinnia», No. 35, 2016, pp.377-390.
3. Haba V.V. Yakist ta konkurentospromozhnist transportnykh posluh na zaliznychnomu transporti [The quality and competitiveness of transport services in railway transport] Zbirnyk naukovykh prats DETUT, Seriya «Transportni systemy i tekhnolohii», No. 21, 2012, pp.143-146.
4. Chornyi V.V. Konkurentospromozhnist zaliznyts na rynku vantazhnykh perevezen: teoriia, metodolohiia, praktyka [The competitiveness of railways in the freight market: theory, methodology, practice], Kiev, DETUT, 2012, 401 p.
5. Belinska M.H. Rezervuvannia platezhiv yak vazhlyva umova optimalnogo formuvannia dokhodiv PAT «Ukrainska zaliznytsia» vid vantazhnykh perevezen [Reservation payments as an important condition for optimal revenue generation PJSC «Ukrainian Railways' freight] Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Seriya «Ekonomika i upravlinnia», No. 34, 2015, pp.62-70.
6. Theoretical lectures (training) of «SPL» on the topic: «The only agreement in 2017», Access mode: <http://www.5pl.com.ua/>
7. Dohovir «Pro orhanizatsiiu perevezen vantazhiv i provedennia rozrakhunkiv za perevezennia ta nadani zaliznychnym transportom posluhy» [The agreement «On organization of transport of goods and payments for transportation and services provided by rail»].
8. Official site PAT «Ukrzaliznytsia». – Access mode: <http://www.uz.gov.ua/>.
9. Myronenko V. K., Haba V. V., Matsyuk V. I., Petrenko L. M. Zaliznychni vantazhni perevezennia [Railway cargo transportation]: Navchal'nyy posibnyk, Kyiv, DETUT, 2015, 248 p.

УДК 656.22: 339.97

В. К. Мироненко, д.т.н., професор

*(завідувач кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць»,
Державний економіко-технологічний університет транспорту)*

Б. І. Торопов, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту)

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ШВИДКІСНОГО СПОЛУЧЕННЯ ПОРТИ ОДЕСИ – ЗАХІДНИЙ КОРДОН УКРАЇНИ

Розглянуті концептуальні положення створення і організації залізничного сполучення на ділянці Порти Одеси – кордон України з країнами ЄС, як частини нового Шовкового шляху територією України. Реалізацією цих концептуальних положень буде спорудження та успішна комерційна експлуатація високошвидкісної залізничної магістралі колії 1435 мм.

Ключові слова. Новий Шовковий шлях. Залізничне сполучення. Концептуальні положення. Порти Одеси – кордон з ЄС.

Рассмотрены концептуальные положения создания и организации железнодорожного сообщения на участке порты Одессы – граница Украины со странами ЕС, как части нового Шелкового пути по территории Украины. Реализацией этих концептуальных положений будет сооружение и успешная коммерческая эксплуатация высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1435 мм.

Ключевые слова. Новый Шелковый путь. Железнодорожное сообщение. Концептуальные положения. Порты Одессы – граница с ЕС.

Вступ. В багатьох дослідженнях стосовно проекту нового Шовкового шляху приділялась увага доцільності і значимості цього проекту для економік Китаю та Євросоюзу, логістичній безпеці потенційних країн учасниць, вартості проекту та джерелам його фінансування. Місце України в проекті розглядалося з позицій використання автомобільних шляхів від портів Одеси до кордону України з ЄС. Відсутність якісних автомобільних шляхів бачилося як суттєвий недолік щодо можливості участі України в проекті. Пропонувалося використовувати маршрут «Канал Дунай – Чорне море», одним з недоліком якого вважалася низька швидкість руху.

Як альтернативу автомобільному та водному маршрутам запропоновано організацію залізничного сполучення і розглянуті його концептуальні положення створення високошвидкісної залізничної магістралі колії 1435 мм (ВШМ-1435).

Дане дослідження ставить перед собою задачу визначення основних положень технічного, технологічного характеру стосовно проходження траси швидкісної залізничної лінії «Порти Одеси – Західний кордон України» як частини «сухопутного» Нового Шовкового шляху (що включає залізнично-паромне сполучення на Каспійсько-Чорноморському маршруті через Україну) з метою отримання основних технічних,

© Мироненко В. К., Торопов Б. І., 2017

експлуатаційних і фінансових показників, які переважатимуть показники альтернативних маршрутів по території інших країн (діючий Транссибірський маршрут через Казахстан, Росію, Білорусь та можливий майбутній маршрут через Іран і Туреччину).

Основні положення є попередніми, підлягають уточненню при розробленні техніко-економічного обґрунтування і технічних умов на проектування даної залізничної лінії ВШМ-1435 та необхідної інфраструктури.

Основна частина. В принциповому плані маршрути Шовкового шляху від портів Поті і Батумі до Європи можуть пройти через Деріндже (Стамбул), Варну, Констанцу та порти Одеси. Бажаний для України варіант – через Одесу.

Всі альтернативні маршрути повинні відповідати вимогам, встановленим до маршруту Шовкового шляху, зокрема таким як швидкість, безпека, надійність, економічність. Маршрут з кращими показниками і буде мати переваги в геополітичному та економічному аспектах прийняття остаточного рішення щодо проходження частини маршруту Шовкового шляху від портів Поті і Батумі до країн ЄС.

На даному етапі питання виникає необхідність встановлення концептуальних положень проекту маршруту Шовкового шляху по території України, які б забезпечили його перевагу перед маршрутами конкурентами. Основні техніко-технологічні показники та переваги ВШМ-1435 можуть бути зведені до наступних:

- ширина колії 1435 мм – дозволить рухомому складу з території України рухатись до місця призначення в Центральній і Північній Європі без перестановки або перевантаження. Однак ширина колії 1435 мм зумовлює необхідність мати весь комплекс господарств (локомотивне, вагонне тощо) щодо забезпечення її надійної і безпечної експлуатації.

- швидкість руху – діапазон швидкостей руху (можливі варіанти) встановлюється технічним завданням на проектування і обґрунтовуються в ТЕО. Величина швидкості до 300 км/год, дозволить забезпечити на маршруті показники, які відповідають вимогам Шовкового шляху і не поступатимуться варіантам конкурентам. (В Україні на сьогоднішній день відсутні норми проектування для швидкостей руху більше 200 км/год для колії 1520 мм і колії 1435 мм. Найбільш доцільно, на наш погляд, здійснювати проектування і будівництво лінії та необхідної інфраструктури для швидкостей руху в діапазоні 200-300 км/год за європейськими нормами і технологіями з використанням рухомого складу, який буде відповідати встановленим (проектним) значенням швидкості руху.

- лінія суміщена для пасажирського і вантажного руху;

- провізна спроможність лінії – в даному дослідженні прийнято 1,0 млн контейнерів на рік (при розробленні ТЕО встановлюється технічними умовами на проектування);

- потужність портів пристроїв (разом з залізничними коліями) повинна забезпечити якомога менший час перевантаження контейнерів з суден у вагони відповідно до встановлених обсягів перевезень;

- темп подачі вагонів на портові пристрої для здійснення перевантаження контейнерів з суден у вагони повинен мінімізувати час простою суден. Для виконання даної вимоги (потреби) на передпортових станціях необхідно передбачити колійний розвиток необхідний для накопичення вагонів, які очікують надходження судна з контейнерами з подальшою оперативною подачею їх (вагонів) на портові пристрої для перевантаження контейнерів з суден у вагони.

Одне з ключових питань технічних умов проектування полягає у визначенні таких параметрів як навантаження на вісь та швидкість руху, від значення яких будуть залежати параметри траси та інші технічні характеристики. – Відповідь на це важливе технічне, технологічне та економічне питання може бути отримана за результатами розроблення ТЕО. На залізницях Північної Америки вже давно, а також останнім часом на залізницях Індії та Китаю, використовується технологія перевезень контейнерів в

два яруси по висоті, умовами для чого є спеціальні вагони-платформи «колодязного» типу та відповідні габарити штучних споруд. Це потребує додаткових капіталовкладень та експлуатаційних витрат, але й забезпечує удвічі більшу провізну спроможність. Однак збільшити провізну спроможність залізничної лінії можна і завдяки збільшенню швидкості. Тому виникає питання – перевозити контейнери на майбутній ВШМ-1435 в два яруси чи вдвічі швидше? Яка технологія є більш продуктивною? Відповідь на це питання може дати розрахунок, заснований на формулі для визначення середнього значення часу обігу вагона.

При розрахунках прийняті наступні вихідні дані: Поїзд із 50 вагонів, відповідно до корисної довжини колій 850 м. Середня відстань перевезення вантажів $L_w = 850$ км. Гарантійний пробіг вагону між пунктами технічного обслуговування $l_N = 425$ км. Простий поїзда під технічним обслуговуванням вагонів $t_{tw} = 0,5$ ч. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати розрахунків продуктивності технологій перевезення

Технологія перевезення	Контейнери в два яруси	Швидкість удвічі вища
Кількість контейнерів в поїзді, N_{TEU} , ДФЕ	200	100
Швидкість поїзда (розрахункова, $\beta_w s_N$), км/год	70	140
Середній простій вагона на станціях відправлення і призначення, t_{od} , год	5	3
Час обігу вагона в поїзді, $\theta_w = \frac{2L_w}{24} \left(\frac{1}{\beta_w s_N} + \frac{t_{tw}}{l_N} + \frac{t_{od}}{L_w} \right)$, год	1,51	0,84
Кількість оборотів за рік, $365/\theta_w$	241	435
Кількість перевезених контейнерів за рік, $N_{TEU} \cdot 365/\theta_w$, ДФЕ	48200	43500

Кількість перевезених контейнерів при транспортуванні їх в два яруси майже на 10% більше, ніж при перевезеннях в один ярус, але зі швидкістю вдвічі більшою; але достатньо ще збільшити швидкість до 155 км/год, і кількість перевезених контейнерів буде така ж, як і при перевезеннях у два яруси з меншою швидкістю. Слід зазначити, що досвід перевезень вантажів в поїздах-експресах зі швидкостями від 160 до 200 км/год напрацьований на залізницях Франції, Німеччини, Китаю, і навіть США, де перевагу віддають великоваговим «двоюрисним» поїздам, але для швидкокоштовних вантажів використовують і поїзди-експresi.

На користь вибору технології перевезень вантажів на ВШМ-1435 з підвищеними швидкостями, а не з більшими допустимими навантаженнями на вісь і габаритами рухомого складу і наближення споруд, можна навести наступні аргументи:

- при збільшенні швидкості пропорційно зменшується потреба в рухомому складі, або однаковим парком вагонів може бути виконаний більший обсяг перевезень;
- можуть обґрунтовано застосовуватися більші тарифи за експрес-доставку (що є розповсюдженою ринковою практикою), що сприятиме прискоренню окупності інвестицій;
- не буде необхідності в модернізації або створенні нової інфраструктури і рухомого складу, розрахованих на збільшені осьові навантаження і габарити;
- на нових швидкісних і високошвидкісних залізничних лініях України можливо буде використовувати напрацьовані в інших країнах технічні рішення щодо рухомого складу та інфраструктури;
- можливо суміщення швидкісного (або високошвидкісного) пасажирського сполучення з прискореним вантажним рухом (за умови узгоджених осьових навантажень і

конструкції верхньої будови колії та штучних споруд і відповідного плану траси), що дозволить більш раціонально використовувати пропускну спроможність лінії, рухомого складу і сприятиме скороченню строку окупності.

Одним із визначальних факторів, від якого залежатимуть технічні, технологічні, соціально-економічні та фінансові показники є обсяги перевезень.

Для того, щоб проект «сухопутного» нового Шовкового шляху (залізнично-паромне сполучення на Каспійсько-Чорноморському маршруті через Україну) став успішним, його необхідно максимально швидко виводити на обсяги перевезень, які співпадають з обсягами перевезень контейнерів «традиційним» морським маршрутом, які наведені в табл. 2.

У таблиці наведені дані майже п'ятирічної давнини, а за останні роки перевезення контейнерів морським транспортом зросли. Відтак, можна прийняти розрахункові обсяги перевезень завантажених контейнерів із Азії (переважно з Китаю) в порти Північної Європи в обсягах 10 млн. 20-футових контейнерів (ДФЕ) за рік із Китаю в Європу і 5 млн за рік із Європи в Китай.

Таблиця 2. Основні глобальні потоки контейнерів, які перевозяться морським транспортом, ДФЕ (дані за 2012 р.)

Маршрут/Напрямок	На захід	На схід	На північ	На південь	Всього
Азія – Північна Америка	7,739,000	15,386,000			23,125,000
Азія – Північна Європа	9,187,000	4,519,000			13,706,000
Азія – Середземномор'я	4,678,000	2,061,000			6,739,000
Азія – Близький Схід	3,700,000	1,314,000			5,014,000
Північна Європа – Північна Америка	2,636,000	2,074,000			4,710,000
Австралія – Далекий Схід			1,072,016	1,851,263	2,923,279
Азія – Східне узбережжя Південної Америки			621,000	1,510,000	2,131,000
Північна Європа / Середземномор'я – Східне узбережжя Південної Америки			795,000	885,000	1,680,000
Північна Америка – Східне узбережжя Південної Америки			656,000	650,000	1,306,000

Джерело: <http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/trade-routes> [1]

Слід зазначити, що морський транспорт збереже своє домінуюче значення завдяки відносно низьким тарифам, а також тому, що значна частина товарів в контейнерах не потребує термінової доставки. Припустивши, що хоч 10% від загальної маси товарів такої доставки тільки виграють, то ці 10% дають нам орієнтир – розрахунковий обсяг перевезень контейнерів на Каспійсько-Чорноморському маршруті нового Шовкового шляху в залізнично-водному сполученні необхідно прийняти 1 млн 20-футових контейнерів за рік (в кожному напрямку).

Чи спроможні існуючі транспортні комунікації забезпечити такі обсяги перевезень?

Якщо прийняти розрахунковий склад поїзда в 50 вагонів, по 2 контейнери ДФЕ на кожному, тоді 1 млн 20-футових контейнерів за рік потребує 28 поїздів на добу

або один поїзд через кожні півгодини – годину (в кожному напрямку). Це значні, але досить реальні розміри руху, особливо для лінії, яка спеціалізована для прискорених контейнерних і пасажирських поїздів, на якій швидкості цих поїздів близькі.

В залізнично-водному сполученні поромні переправи на Каспійсько-Чорноморському маршруті нового Шовкового шляху є «вузьким» елементом.

Чорне море: Зазвичай кожен тиждень здійснюється два відправлення поромів з Чорноморського на Грузію, а також у зворотному напрямку. Середній час морського переходу з Чорноморського до Поті/Батумі, а також в зворотному напрямку – 48 годин (2 доби в одну сторону). Дві вантажні палуби порому одночасно приймають на борт 50 («Каунас Сівэйс» – 49) універсальних залізничних вагонів і 50 автомобілів TIR. (Пороми побудовані в 1989 році, НДР) [2]. Якщо припустити, що після реконструкції і ремонту (який зараз здійснюється на замовлення ПАТ «Укрзалізниця» пороми спроможні взяти на борт не 50, а 100 вагонів з контейнерами (це 200 контейнерів ДФЕ за рейс), а швидкість ходу збільшиться вдвічі, (що малоймовірно), то навіть за цих умов за один рейс (оборот) протяжністю в 4 доби, замість сьогоднішніх 6 діб (одну добу пором знаходиться в кожному порту під операціями завантаження/вивантаження вагонів), пором перевезе лише 200 контейнерів ДФЕ в кожному напрямку, а всього за рік здійснить щонайбільше 91 рейс и перевезе 18200 контейнерів. Два пороми спроможні будуть перевезти лише 36400 контейнерів ДФЕ за рік в кожному напрямку.

Каспійське море: На даний момент, при наявності (2 – 3 рази на місяць), на лінію виходять до 8 суден типу «Дагестан». Кожне судно спроможне взяти на борт 28 залізничних вагонів і 200 пасажирів. Порти Баку і Туркменбаші обладнані всім необхідним устаткуванням для сходу вагонів з суден на залізничні колії порту. Відстань між Баку і Туркменбаші становить 306 км, пором проходить її за 12 годин. (Рік побудови невідомий, країна – Югославія) [3]. Припустивши, що після реконструкції і ремонту пороми будуть спроможні взяти на борт не 28, а 50 вагонів з контейнерами (це 100 контейнерів в ДФС за рейс), а швидкість ходу збільшиться вдвічі, (що також малоймовірно) то і за цих умов оборот порому становитиме замість сьогоднішніх трьох діб дві доби, а пором буде спроможний перевезти за рік ті ж 18 200 контейнерів ДФЕ. У випадку, коли з 8 наявних суден 6 будуть перевозити тільки контейнери, то вони забезпечать перевезення лише 109 200 контейнерів ДФЕ за рік в кожному напрямку.

Висновки. При розрахункових обсягах 1 млн контейнерів ДФЕ на рік в кожному напрямку обмежень з позицій пропускної спроможності залізниць не має. Обмеження пропускної спроможності існують для поромної переправи Чорного моря, з погляду недостатньої кількості поромів і більшим часом ходу, ніж на Каспійському морі. Реально провізну спроможність чорноморських поромів можна оцінити в 80% розрахункової провізної спроможності, що складе близько 30000 контейнерів ДФЕ на рік в кожному напрямку, а з урахуванням умов навігації та інших причин – не більше 25 000 контейнерів ДФЕ на рік в кожному напрямку. Однак, на сьогодні, і цей обсяг перевезень (близько 70 контейнерів ДФЕ або 1 контейнерний поїзд з 35 вагонів за добу) є недосяжним з причини відсутності достатньої кількості вантажу.

Таким чином, проект нового Шовкового шляху (залізнично-водне сполучення на Каспійсько-Чорноморському маршруті) повинен забезпечити:

1-й етап. Забезпечення на протязі декількох років вантажного потоку, достатнього для повного завантаження реконструйованих чорноморських поромів і щоденного курсування одного контейнерного поїзда. Іншими словами, повинен бути забезпечений розрахунковий потік 25000 контейнерів ДФЕ за рік в кожному напрямку, при тому, що на даний момент він практично відсутній. «Зрушитися з нуля» і досягти цього обсягу можливо шляхом більш ефективних політичних рішень, розумної тарифної політики і маркетингу.

2-й етап. Поетапне збільшення провізної спроможності до 1 млн. контейнерів ДФЕ на рік в кожному напрямку шляхом здійснення глобального інфраструктурного проекту залізнично-водного нового Шовкового шляху на Каспійсько-Чорноморському маршруті. Тобто, збільшення провізної спроможності в порівнянні з 1-м етапом у 40 разів! Очевидно, для цього необхідні радикальні, обґрунтовані за міжнародними методиками інфраструктурні, технологічні й організаційні рішення. Обґрунтування таких рішень потребує розроблення в подальшому адекватних економіко-математичних моделей, які включають в себе параметри перспективного рухомого складу, інфраструктури, організації та економіки перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Top Trade Routes* (TEU shipped) [Електронний ресурс] // World Shipping Council. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/trade-routes>.
2. *Автомобильно-железнодорожный / пассажирский паром «Каунас Сивэйс»* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrferry.com/vessels/vessel-kaunas-seaways>.
3. *Каспийские паромы* [Електронний ресурс] // ООО «ИнтерРейл Транс Сибирский Экспресс Сервис» – Режим доступу до ресурсу: http://www.interrail.ru/services/paroms/kaspiyskiy_parom.php.
4. *ЛІГА:Блоги* [Електронний ресурс] // Інформаційне агентство ЛІГАБізнесІнформ – Режим доступу до ресурсу: <http://blog.liga.net/>.
5. *Центр транспортних стратегій* [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Київ : ЦТС. – Режим доступу: <http://www.cfts.org.ua>

***Boris I. Toropov, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor, Operation of Railways Commercial Activities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)***

***Viktor K. Myronenko, Doctor of Science (Technical Sciences), Professor
(Head of Operation of Railways Commercial Activities Chair, State University for Transport Economy and Technologies)***

IMPLEMENTATION OF RAILWAY CONCEPTUAL SPEED COMMUNICATIONS PORT OF ODESSA – UKRAINE WESTERN BORDER

The conceptual regulations of the construction and organization of a railway line on the section of the ports of Odessa – the border with the EU, as part of the New Silk Route by the territory of Ukraine are considered. Implementation of these conceptual provisions is construction and successful commercial operation of high-speed railway 1435 mm track gauge.

***Keywords.* The New Silk Road, railway line, Conceptual regulations, the ports of Odessa, the border with the EU.**

REFERENCES

1. *Top Trade Routes* (TEU shipped) (Electronic resource), World Shipping Council, 2013, access to resources: <http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/trade-routes>.
2. *Автомобильно-железнодорожный/пассажирский паром «Каунас Сивэйс»* [Automobile – railway / passenger ferry «Kaunas Seaways»] (Electronic resource), access to resources: <http://www.ukrferry.com/vessels/vessel-kaunas-seaways>.
3. *Каспийские паромы* [Caspian ferries] (Electronic resource), ООО «ИнтерРейл Транс Сибирский Экспресс Сервис», access to resources: http://www.interrail.ru/services/paroms/kaspiyskiy_parom.php.
4. *ЛИГА:Блоги* (Electronic resource) Информационное агентство ЛІГАБізнесІнформ [LIGABusinessInform], access to resources: <http://blog.liga.net/>.
5. *Тсентр транспортних стратегій* [Center transport strategies] (Electronic resource), access to resources: <http://www.cfts.org.ua>

ЗМІСТ

ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

Даніленко Е. І., Косарчук В. В., Йосифович Р. М., Азарков О. В., Рафальський О. Ю. Експериментальна оцінка залишкового ресурсу рейок колії метрополітену	3
Данилевський В. І., Остапеч С. В., Тарасюк В. М. Відновлення профілю кочення колісних пар без викочування під час експлуатації рухомого складу	10
Мікульонок І. О. Класифікація рейок рейкових шляхів та огляд їхніх конструкцій	16
Белевцова Н. Л., Хребет В. Г. К вопросу о возможности стационарных режимов голономной и неголономной моделей колесного экипажа при движении по инерции	26
Сулим А. О., Донченко А. В., Фомін О. В., Хозя П. О. Перспективи застосування накопичувачів енергії на тяговому залізничному транспорті	32
Семенов С. А., Михайлов Е. В., Рейдемейстер А. Г. Исследование сопротивления движению вагона с колесами различных конструктивных схем	52
Волошин Д. І., Афанасенко І. М., Дерев'янчук Я. В. Модернізація елементів гальмівної важільної передачі вантажного вагона	65
Волков В. П., Сараєв О. В., Грицук І. В., Грицук Ю. В., Данець С. В., Застосування інтелектуальної інформаційної системи моніторингу і прогнозування параметрів технічного стану при дослідженні обставин дорожньо-транспортних пригод	73
Волков В. П., Грицук І. В., Грицук Ю. В., Волков Ю. В. Особливості формування інформаційної системи класифікації умов експлуатації транспортних засобів	92
Мартинов І. Е., Афанасенко І. М., Перешивайлов С. В. Нові аспекти визначення навантаження, діюч ого на підшипник буксового вузла вантажного вагона	95
Кривошапов С. І. Оцінка витрат на технічне обслуговування і ремонт транспортних машин з урахуванням умов експлуатації	104
Кебал Ю. В., Шатов В. А., Тьокотєв О. М., Мурашова Н. Г. Удосконалення конструкції вагона-хопера для перевезення зерна	113
Фомін О. В., Осьмак В. Є. Сучасний метод електроерозійного відновлення шийки осі колісної пари автоматизованим обладнанням та її експериментальне дослідження	123
Сулим А.О., Столетов С.О., Фомін О.В., Третьак Е.В., Речкалов В.С. Дослідження характеру зміни напружень в кромках підшов рейок під час руху пасажирського вагона на кривих ділянках залізничної колії	130
Гулак С., Єрмоленко Е., Гаюр А., Сидоренко О. модель мотор-вентилятора електровоза вл-80 ^к при несиметрії фазних напруг та несинусоїдальній напрузі живлення	139

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Неженцев О. Б., Бойко Г. О., Збітнєв П. В. Математичні моделі і програмне забезпечення для дослідження перехідних процесів вантажопідйомних кранів з частотним керуванням приводів пересування	147
---	------------

Мозолевич Г. Я., Шопот А. В. Розробка методу оцінювання сталого розвитку транспортної системи міста	162
Черняк Ю. В., Гатченко В. О., Каращук С. В. Математична модель тягового електропривода електровоза постійного струму	172

ІНФОРМАЦІЙНІ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ

Білан С. М., Левчук О. І. Дослідження генератора псевдовипадкових чисел на основі асинхронного клітинного автомату	184
Ботвін М. М., Герцій О. А. Аналіз просторових методів покращення візуальної якості цифрових зображень	191
Мараховський Л. Ф., Бутрик Н. О. Структурна організація багаторівневих схем пам'яті із загальним автоматом стратегії	197
Мараховський Л. Ф., Оляновський С. В., Косминін Б. О. Структурна організація новітніх схем пам'яті	207
Мараховський Л. Ф., Янюк Д. А. Структурна організація багаторівневих схем пам'яті з автоматом стратегії для кожної групи багаторівневих схем пам'яті	215
Гайденок О. С. Організація комп'ютерної архітектури інтелектуального керування електропостачанням Укрзалізниці	221

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

Мацюк В. І. Дослідження повної та систематичної технологічних відмов залізничних станцій.....	226
Долженко Н. А. Касенкова М. Ю. Влияние человеческого фактора на аварийностьвоздушного транспорта	237
Прокудін Г. С., Чупайленко О. А., Майданик К. О., Ремех І. О., Пилипенко Ю. В. Аналіз і шляхи реформування транспортної галузі України	244
Ткаченко С. П., Лебідь І. Г. Роль інформаційних систем для учасників ланцюга постачань	255
Висоцька Т. І., Пічкур Т. В., Тананайко О. Ю. Еколого-аналітичний моніторинг речовин антропогенного походження та їх вплив на довкілля	264
Габа В. В., Грушевська Т. М., Поворознік О. О., Рудюк М. В. Удосконалення розрахунків між пат «укрзалізниця» та клієнтами в умовах реформування залізниць	272
Мироненко В. К., Торопов Б. І. Концептуальні положення впровадження залізничного швидкісного сполучення Порти Одеси – Західний кордон України	280

Науково-виробниче видання

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

Серія «Транспортні системи і технології»

Випуск 30

Відповідальний за випуск Ю. В. Черняк
Головний редактор О. В. Ємець
Макет і верстка В. О. Андрієнка, О. В. Ємець

Підписано до друку 01.06.2017. Формат 60х90 1/8.
Папір офсетний. Гарн. Таймс. Друк на ризографі.
Ум. друк. арк. 24,0. Обл.-вид. арк. 12,86.
Наклад 100 прим. Зам. № 109/17.

Надруковано в редакційно-видавничому відділі ДЕТУТ.
Свідцтво про реєстрацію Серія ДК № 3079 від 27.12.2007.
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.