

УДК 656.222

*В. І. Мацюк, к.т.н., доцент  
(доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)*

## ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

*У роботі визначене місце технологічної надійності в структурі забезпечення надійності залізничних транспортних систем. Обґрунтована доцільність формалізації технологічної надійності на мікро, медіум та макро рівнях. Визначені фактори впливу на технологічну надійність і функцію відмови на прикладі типового технологічного процесу приймально-відправного парку технічної залізничної станції.*

*Ключові слова: технологічна надійність залізничних транспортних систем, система показників технологічної надійності, функція відмови.*

*В работе определено место технологической надежности в структуре обеспечения надежности железнодорожных транспортных систем. Обоснована целесообразность формализации технологической надежности на микро, медиум и макро уровнях. Определены факторы влияния на технологическую надежность и функцию отказа на примере типового технологического процесса приёмноотправочного парка технической станции.*

*Ключевые слова: технологическая надежность железнодорожных транспортных систем, система показателей технологической надежности, функция отказа.*

**Вступ та актуальність проблеми.** У всі часи щодо будь-якого транспорту були актуальні питання безпеки, вчасності та вартості доставки. Вантажовласники та пасажери завжди вимагали відповідності заявлених критеріїв організації перевезень та їх фактичного виконання. Тобто, завжди відкритим було питання – наскільки надійним є забезпечення транспортного сполучення.

Як правило, надійність розглядалась у більшості випадків, як надійність функціонування технічних засобів. Але наскільки надійним є типовий технологічний процес як система забезпечення вчасної та безпечної доставки? Питання довгий час залишалося відкритим, оскільки оцінити технологічну надійність можливо тільки комплексно, враховуючи фактори, причини та наслідки на різних рівнях організації транспортного виробництва в структурі єдиної транспортної системи. Тому, враховуючи останні досягнення в галузі прикладного системного аналізу та імітаційного моделювання у даних дослідженнях буде здійснена спроба формалізувати технологічну надійність перевезеного процесу залізничних транспортних систем як один з найважливіших критеріїв оцінки ефективності.

© Мацюк В. І., 2016

**Мета роботи.** Метою роботи є розробка принципів забезпечення технологічної надійності залізничних транспортних систем. Для реалізації мети передбачається вирішення таких задач:

1. Сформулювати теоретичну концепцію технологічної надійності залізничних транспортних систем;
2. Розробити систему показників та методів оцінки технологічної надійності залізничних транспортних систем на macro, medium та micro рівнях;
3. Розробити моделі дослідження з метою визначення функціональних залежностей між параметрами та критеріями оцінки технологічної надійності залізничних транспортних систем (на прикладі мікро-рівня – типового технологічного процесу приймально-відправних парків технічних станцій).

**Аналіз стану теорії і практики забезпечення технологічної надійності залізничних транспортних систем.** Значний вклад у розвиток теорії надійності систем внесли вчені Гнеденко Б.В., Коваленко В.Г., Ушаков І.А. [1] Однак у більшості робіт розглядалась технічна надійність.

Дослідженням надійності технологічних систем присвячена низка робіт Грантова П.С., Сотнікова І.Б., Кочнева Ф.Б. [2]. Однак ці дослідження проводились більше 30 років тому за відсутності можливості комплексної оцінки. Результати досліджень стосуються елементів роботи залізничних станцій та дільниць: дільниця примикання – парк приймання, парк відправлення – дільниця примикання.

Дослідженням впливу людського фактора на надійність функціонування залізничних транспортних систем достатньо повно висвітлена у працях проф. Самсонкіна В.М. [3].

Розробкою методів і моделей щодо нормування та раціоналізації технологічних процесів роботи станцій і дільниць займалось багато вітчизняних та іноземних науковців. Однак результатами їх досліджень були вдосконалення технологічних процесів, методів нормування тривалості операцій, переробної та пропускнуої спроможностей.

Низка наукових установ Канади (1995 р.), США (1994 р.), Швеції (1996 р.) та інших розвинених країн проводили дослідження технологічного процесу роботи залізничного транспорту з метою розробки заходів для виконання строків доставки вантажів і виконання графіка руху поїздів на 95% [4].

Зокрема висновки Інституту стратегічних досліджень при Університеті Торонто (Канада) свідчать про незадовільний стан технологічної надійності та низьку швидкість доставки вантажів на залізниці, що призводить до значних втрат в економіці через значний обсяг заморожених активів – вантажу, що повільно просувається по залізниці. Рекомендації для керівництва Канади – модернізація інфраструктури та вдосконалення технології з метою забезпечення виконання типових норм перевізного процесу на 95%. Розглядався навіть варіант суттєвих капіталовкладень у залізничний транспорт і збиткове, але економічно ефективне для економіки країни його функціонування.

### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Залізнична транспортна система (ЗТС) є сукупністю взаємопов'язаних складових: залізничної інфраструктури, рухомого складу, людей (персонал, клієнти), управління (прийняття рішень), технологічні процеси.

Надійність – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функ-

ції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування [5].

Об'єкт – система, споруда, машина, підсистема, апаратура, функційна одиниця, пристрій, елемент чи будь-яка їх частина, що розглядається з погляду надійності як самостійна одиниця.

Для залізничних транспортних систем надійність слід розглядати як сукупність надійності складових:

- технічної надійності (інфраструктури, рухомого складу);
- надійності поведінки людей (вплив людського фактору, їх фізичний та психологічний стан);
- надійності управління (ефективність прийняття рішення, рівень кваліфікації персоналу);
- технологічної надійності (технологічний процес, нормування технологічного процесу).

При вивченні ієрархії та зв'язків складових надійності слід чітко розмежовувати функції технічних засобів, управління та технологічного нормування процесу. Інфраструктурний комплекс і транспортні засоби повинні технічно забезпечувати виконання технологічних норм. Управлінські рішення персоналу також повинні забезпечувати виконання технологічних норм, але через використання технічних засобів. Існує чітка ієрархія впливу складових на надійність, в якій першорядне місце відводиться саме технологічній надійності (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема складових надійності ЗТС

Технологічну надійність слід розглядати на етапі розробки проектів як наявну, і на етапі практичної реалізації як потрібну.

Наявна технологічна надійність – технологічна надійність, яку може забезпечити ЗТС відповідно до своїх технічних можливостей та способу організації технологічного процесу.

Потрібна технологічна надійність – гранична технологічна надійність, що визначається виробничими потребами (розмірами руху поїздів, запланованими обсягами переробки вагонів або вантажів, тощо).

Рівень забезпечення технологічної надійності також слід розглядати на місцо (залізнична станція, підрозділ станції), medium (дільниця, напрямок) та масо (залізнична мережа) рівнях (рис. 2):

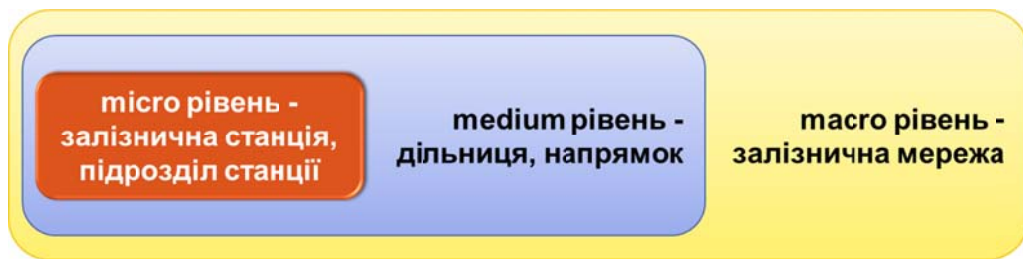


Рис. 2. Рівні забезпечення технологічної надійності ЗТС

Відповідно до вибраного рівня (мікро, medium або макро) показники та критерії оцінки можуть відрізнятись, але основними будуть:

- наявна імовірність технологічної відмови – максимальна гранична імовірність невчасного обслуговування заявки, яку може забезпечити ЗТС відповідно до своїх технічних можливостей та способу організації технологічного процесу (гранична імовірність невчасного відправлення поїзда на дільницю, приймання поїзда у парк станції, обслуговування пасажирів в касі вокзалу, навантаження вагону тощо);
- потрібна імовірність технологічної відмови максимальна гранична імовірність невчасного обслуговування заявки, яку повинна забезпечити ЗТС відповідно до запланованих обсягів транспортної роботи.

Граничну імовірність технологічної відмови слід розглядати в двох варіантах:

- гранична імовірність невчасного початку обслуговування (невчасне приймання поїзда в парк станції);
- гранична імовірність невчасного закінчення обслуговування – гранична імовірність перевищення нормативного часу обслуговування (перевищення нормативного часу обслуговування поїзда в парку станції).

Для більшості технологічних процесів транспортної галузі традиційно потрібна імовірність технологічної відмови приймалась на рівні  $10^{-2}$ , що визначається довірчим інтервалом  $[-2 \sigma; +2 \sigma]$  щільності імовірності нормального розподілу. Залежно від рівня забезпечення технологічної надійності імовірність може змінюватись відповідно до рекомендацій діючого ДСТУ «Надійність техніки», пункту 7.4: «Довірчу вірогідність  $q$  рекомендується вибирати з ряду: 0,90; 0,95; 0,98; 0,99», тобто  $\{0,10; 0,05; 0,02; 0,01\}$ .

Для макро та medium рівнів ЗТС вплив факторів на забезпечення наявної технологічної надійності був достатньо повно висвітлений у роботах [6-10].

Принципи забезпечення технологічної надійності для мікро рівня будуть розглянуті на прикладі типового технологічного процесу приймально-відправного (транзитного) парку технічної станції.

Для дослідження факторів впливу на імовірність технологічної відмови було розроблено імітаційну модель, опис якої детально представлено у джерелі [11].

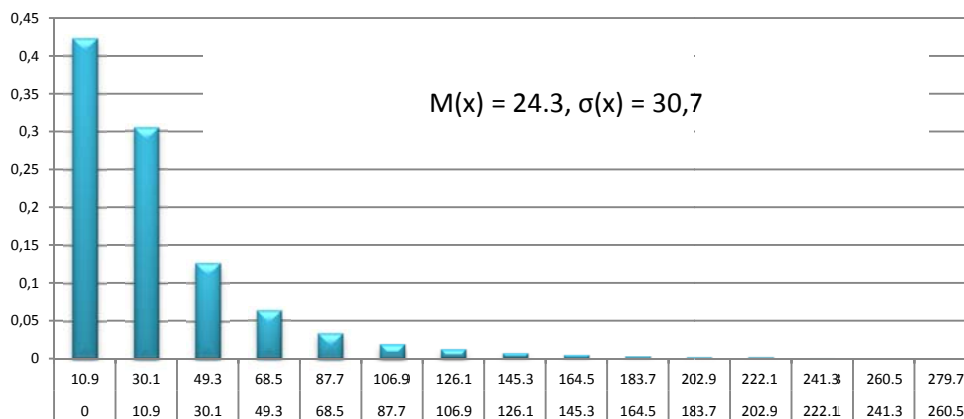
Модель реалізовано для наступних параметрів:

- середньодобовий потік – 60 транзитних поїзда за добу;
- каналів обслуговування СМО-2 (кількість колій транзитного парку для приймання та обробки поїздів) – 7;
- кількість бригад ТО та кількість груп у кожній бригаді: 1 бригади, 4 групи;

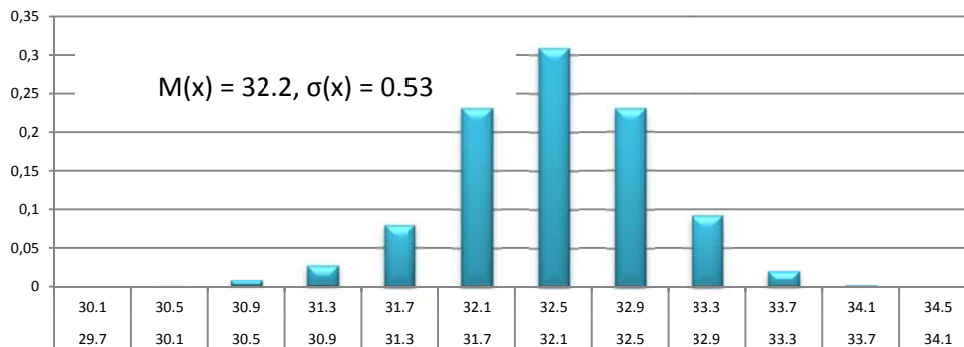
## ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ І БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТУ

- кількість поїзних локомотивів – 27;
- базова одиниця виміру часу – одна хвилина;
- мінімальний крок моделювання – 0,001 хвилини;
- період моделювання – п'ять років;
- базова похибка часу виконання операцій: 0,05.
- потрібна імовірність технологічної відмови  $\leq 0,07$ .

Результати моделювання наступні. Щільність розподілу часу в очікуванні операцій представлено на рис. 3, часу виконання операцій – рис. 4, загального часу обслуговування поїзда – рис. 5.



*Рис. 3. Щільність розподілу часу в очікуванні операцій*



*Рис. 4. Щільність розподілу часу виконання операцій*

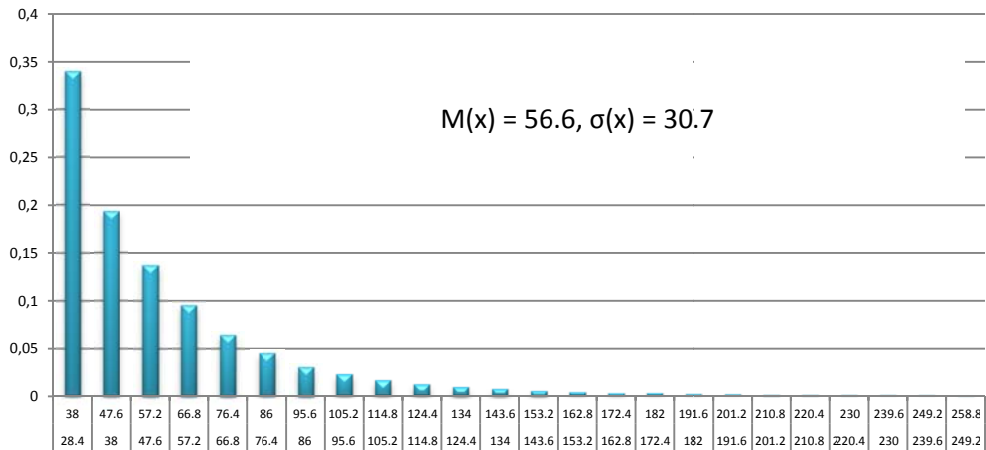


Рис. 5. Щільність розподілу часу обслуговування поїзда

У 95% випадків тривалість обслуговування становить від 30,8 до 115 хв. при типовій нормі 33 хв. Наявна імовірність технологічної відмови – імовірність перевищення нормативного часу обслуговування = 94%, що є занадто великим.

Розподіл щільності імовірності технологічної відмови представлено на рис. 6.

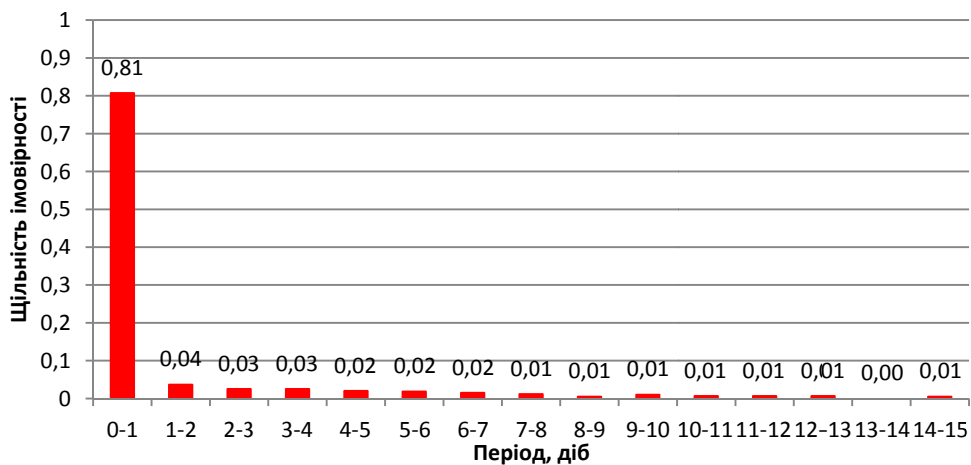


Рис. 6. Розподіл щільності – імовірності технологічної відмови

Встановлена щільність розподілу імовірності технологічної відмови вказує на суттєву лівобічну асиметричність щільності показника із варіацією більше 100%.

Зменшення кількості поїзних локомотивів (навіть на одну одиницю) критично впливає на збільшення імовірності технологічної відмови (рис. 7):

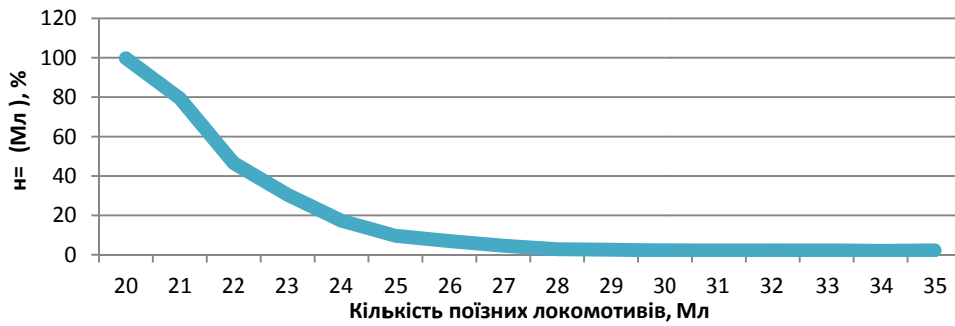


Рис. 7. Залежність  $n = (M_{л})$ , % від кількості поїзних локомотивів, Мл. Нормативне значення  $n = 27$

Збільшення кількості бригад ПТО не суттєво впливає на зменшення імовірності технологічної відмови (рис. 8):

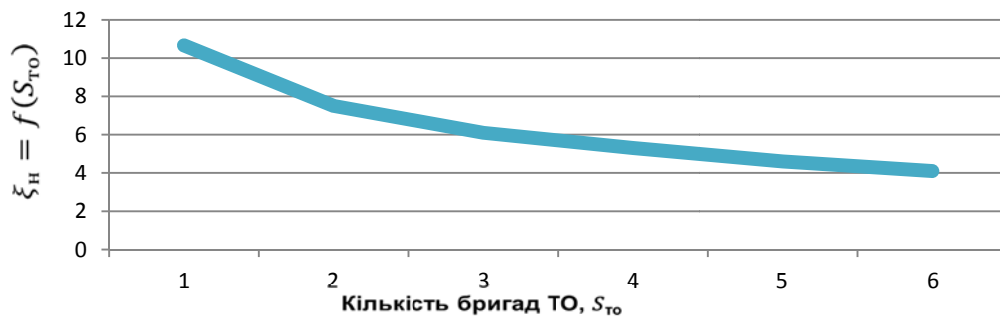


Рис. 8. Залежність  $\xi_n = f(S_{то})$  від кількості бригад ТО, S\_то. Нормативне значення  $\xi_n = 1$

При збільшенні мінімальнодопустимого міжпоїзного інтервалу прибуття поїздів зменшується нерівномірність вхідного потоку та збільшується технологічна надійність ЗТС (рис. 9):

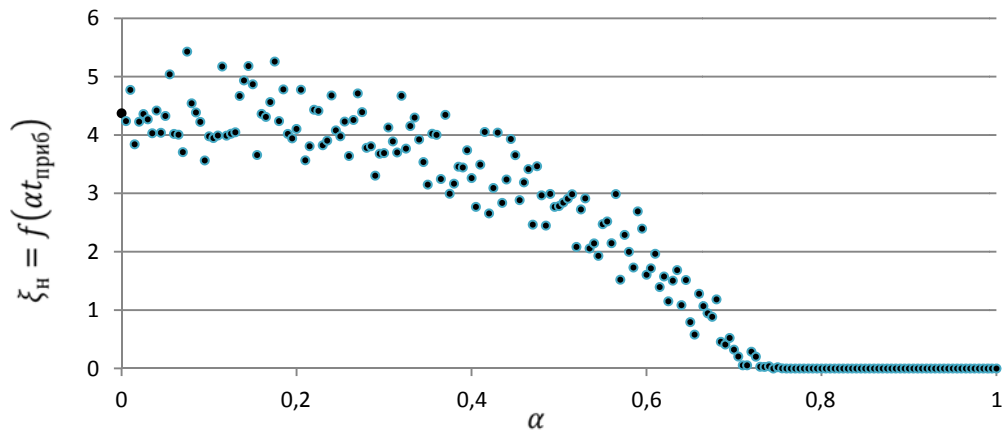


Рис. 9. Залежність  $\xi_n = f(\alpha_{приб})$  від частки від середнього значення інтервалу прибуття,  $\alpha$ . При  $\alpha = 1$  – варіація потоку становить 100%, при  $\alpha = 0$  – варіація потоку становить 0%

При збільшенні мінімальнодопустимого міжпоїзного інтервалу відправлення поїздів збільшується середній час очікування нитки ГРП, що призводить до суттєвого збільшення технологічної відмови ЗТС (рис. 10):

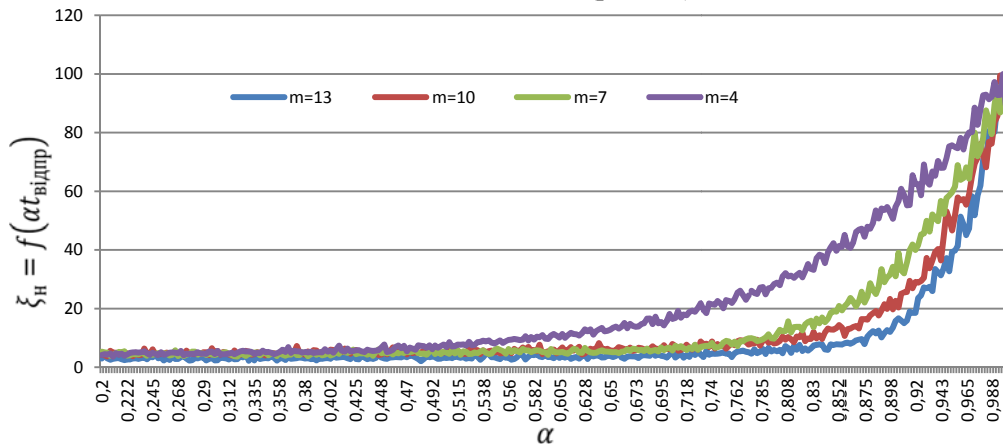


Рис. 10. Залежність  $\xi_H = f(\alpha)$  для моделей із різною кількістю каналів обслуговування (колій парку)

**Висновок.** У діючих ДСТУ та іншій нормативній документації надійність у широкому змісті розглядається в першу чергу як технічна надійність. Технологічну надійність разом із технічною надійністю, надійністю прийняття рішень та надійністю поведінки людей слід розглядати окремо як складову загальної надійності ЗТС. Технологічну надійність слід розглядати на етапі розробки проекту як наявну, і на етапі практичної реалізації як потрібну. Основними показниками, які кількісно характеризують технологічну надійність ЗТС можуть виступати наявна імовірність технологічної відмови та потрібна імовірність технологічної відмови як граничні імовірності невчасного обслуговування. Враховуючи масштабність і складність функціонування ЗТС єдиним на сьогодні способом встановлення показників надійності ЗТС є комплексні (на основі системного підходу) рішення, наприклад імітаційні моделі. Граничну імовірність технологічної відмови слід розглядати в двох аспектах: гранична імовірність невчасного початку обслуговування та гранична імовірність невчасного закінчення обслуговування. Найбільшими факторами, що впливають на надійність ЗТС тією ж мірою є мінімально допустимі міжпоїзні інтервали прибуття та відправлення, кількість одночасно працюючих бригад ПТО та магістральних локомотивів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Курс теорій надійності систем / И. А. Ушаков. – М. : Дрофа, 2008. – 239 с. : ил.
2. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. – М.: Транспорт, 1986. – 247 с.
3. 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](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2014_1_11).



4. Канадские национальные железные дороги. Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований железнодорожного транспорта. М.: МПС 1995г., 25 с.

5. ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення». – Режим доступу: <http://document.ua/nadiinist-tehniki.-termini-ta-viznachennja-nor8506.html>.

6. Katsman M.D., Myronenko V.K., Matsiuk V.I. Mathematical models of ecologically hazardous rail traffic accidents/ RELIABILITY: THEORY & APPLICATIONS / Vol.10 No.1 (36), /March, 2015 – San Diego, USA.

7. Мироненко В.К, Кацман М.Д., Мацюк В.І. Математичні моделі інформаційних процесів при ліквідуванні надзвичайних ситуацій – Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – №1, 2016, С. 163-170.

8. Мироненко В.К, Кацман М.Д., Мацюк В.І. Логіко-математична концептуальна модель ліквідації наслідків надзвичайної ситуації при залізничних перевезеннях небезпечних вантажів. Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – №1(41). – С. 168-172.

9. Мироненко В.К, Кацман М.Д., Мацюк В.І. Математичні моделі екологічно-небезпечних залізничних транспортних подій. Системи обробки інформації: збірника наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 3(128). – С. 125-131.

10. Мироненко В. К, Мацюк В. І., Висоцька Г. С., Алексійчук Н. М. Моделювання транзитних транспортних потоків. – Автошляховик України, 2012. – № 6, С. 17-22.

11. Мацюк В.І. Дослідження технологічної надійності парків технічних станцій дискретно-подієвим моделюванням. Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології, 2015, № 26-27. – С. 268-272.

***Viacheslav I. Matsiuk, PhD (Technical Sciences), Associate Professor  
(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)***

### PRINCIPLES FOR PROVIDING TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF RAIL TRANSPORT SYSTEMS

***The paper defines the place of technological reliability in the structure to ensure the reliability of rail transport systems.***

***The feasibility of formalizing technological reliability at micro, medium and macro levels has been proved. The factors to influence on technological reliability and the function of failure have been defined on the example of a typical technological process at railway station.***

**Keywords:** *technological reliability of rail transport systems, technological reliability indices, function of failure.*

### REFERENCES

1. Kurs teorii nadezhnosti sistem / I. A. Ushakov. – М. : Drofa, 2008. – 239 s. : il.
2. Gruntov P.S. Ekspluatatsionnaya nadezhnost stantsiy. – М.: Transport, 1986. – 247 s.

3. Samsonkin V. M. Rozrobka modeley otsinki vplivu lyudskogo chinnika na Innovatslyniy rozvitok pldpriEmstv zallznichnogo transportu / V. M. Samsonkin, M. M. Adzhavenko // Problemi ekonomiki. – 2014. – № 1. – S. 77-82. – Rezhim dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon\\_2014\\_1\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2014_1_11).
4. Kanadskie natsionalnyie zheleznyie dorogi. Tsentralnyiy nauchno-issledovatel'skiy institut informatsii i tehniko-ekonomicheskikh issledovaniy zheleznodorozhnogo transporta. M.: MPS 1995g., 25s.
5. DSTU 2860-94 «Nadiynist tehniki. Termini ta viznachennya». – Rezhim dostupu: <http://document.ua/nadiinist-tehniki.-termini-ta-viznachennja-nor8506.html>.
6. Katsman M.D., Myronenko V.K., Matsiuk V.I. Mathematical models of ecologically hazardous rail traffic accidents/ RELIABILITY: THEORY & APPLICATIONS / Vol.10 No.1 (36), /March, 2015 – San Diego, USA.
7. Mironenko V.K., Katsman M.D., Matsiuk V.I. Matematichni modeli Informatsylnih protsesiv pri likviduvanni nadzvichaynih situatsiy – Nauka i tehnika Povltryanih Sil Zbroynih Sil UkraYini. H.: Harkivskiy unIversitet Povltryanih Sil Imeni Ivana Kozheduba, 2016. – №1, 2016, S. 163-170.
8. Mironenko V.K., Katsman M.D., Matsiuk V.I. Logiko-matematichna kontseptualna model likvidatsiyi naslidkiv nadzvichaynoyi situatsiyi pri zallznichnih perevezennyah nebezpechnih vantazhiv. Sistemi ozbroEnnya i vlyskova tehnika: naukoviy zhurnal. – H.: Harkivskiy unIversitet Povltryanih Sil Imeni Ivana Kozheduba, 2015. – #1(41). S. 168-172.
9. Mironenko V.K., Katsman M.D., Matsiuk V.I. Matematichni modeli ekologichno-nebezpechnih zallznichnih transportnih podiy. Sistemi obrobki Informatsiyi: zbirnika naukovih prats. – H.: Harkivskiy unIversitet Povltryanih Sil Imeni Ivana Kozheduba, 2015. – Vip. 3(128). S. 125-131.
10. Mironenko V.K., Matsiuk V.I., Visotska G.S., Alekslychuk N.M. Modelyuvannya tranzitnih transportnih potokiv. – Avtoshlyahovik UkraYini, 2012. № 6, S.17-22.
11. Matsiuk V.I. Doslidzhennya tehnologichnoyi nadlynosti parkiv tehnichnih stantsiy diskretno-podIEvim modelyuvannyam. Zbirnik naukovih prats Derzhavnogo ekonomiko-tehnologichnogo unIversitetu transportu. SerIya: Transportni sistemi i tehnologiyi, 2015, №26-27. S. 268-272.