

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21:625.1

С. В. КЛЮЧНИК\*

\* Кафедра «Мости та тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 667 40 49, ел. пошта ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

### АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ

**Мета.** Метою даної роботи є аналіз сучасного стану та аварійності металевих прогонових будов залізничних мостів. **Методика.** Збір даних аварійних подій на штучних спорудах. Вивчення досвіду аварій металевих мостів для винесення уроків, які допоможуть в усуненні причин, що їх спричинили. **Результати.** Результатом даної роботи є зібрані данні про стан та аварії штучних споруд різних джерел. **Наукова новизна.** Наукова зацікавленість полягає в тому, що при достатньому досвіді будівництва та експлуатації штучних споруд, використанні сучасних технологій та матеріалів на цей час аварії мостів – явище не рідке. Тому досвід аварій штучних споруд треба вивчати, аналізувати та використовувати в подальших рішеннях. Доведення, що ймовірнісний підхід може бути використаний при розрахунках, а також застосування норм Єврокодів – це можливий шлях до вирішення питання узаконення ймовірнісного підходу. **Практична значимість.** Спираючись на отримані дані можливо зробити висновок, що фактори втрати стійкості окремими елементами конструкції та втома матеріалів вивчені не достатньо, втоми властивості слід досліджувати, для формування висновків, отриманих з досвіду аварій мостів, щоб допомогти в усуненні причин, що їх спричинили.

*Ключові слова:* металеві прогонові будови, штучні споруди, аварії мостів, втома матеріалів, європейські стандарти

#### Вступ

На залізницях України загальною протяжністю 23000 км експлуатується близько 20 тисяч штучних споруд сумарною довжиною 620,3 км. Зокрема, експлуатуються 7866 залізничних мостів, з них позакласних – 34 шт.; великих – 270 шт.; залізничних середніх та малих мостів – 7126 шт. (тимчасових – 86 шт.) та 289 пішохідних мостів; 10,9 тис. водопропускних труб. Частина залізничних транспортних перевезень в загальному вантажообігу держави складає 87 % [21], що потребує безпечної працездатності об'єктів транспортних магістралей залізниць. На залізничних мостах України встановлено 2,613 тис. металевих прогонових споруд загальною масою більше 250 тис. т.

Підвищення надійності мостів – одна з основних задач експлуатації колійної мережі, так як мости є найбільш відповідальними і складними елементами доріг. Фактично саме мости визначають пропускну спроможність колій [29].

Разом з тим, мости – капіталомісткі об'єкти будівництва, реконструкції та ремонту, тому необхідно, щоб економічний ефект їх викорис-

тання був найбільшим. Недостатньо мости побудувати. Щоб забезпечити оптимальну довговічність мостів, необхідно проводити значний і складний комплекс робіт по їх експлуатації.

На теперішній час на залізницях України експлуатується 1218 шт. дефектних і слабких штучних споруд. Із них 72 – прогонові будови з трофейних металевих балок типу Пейне, Шнейдера, 102 металеві прогонові будови мостів з низьким класом по навантаженню [21], що вимагають систематичних спостережень та заміни або реконструкції в плановому порядку.

Через дефектність інженерних споруд на залізницях діє 158 попереджень про обмеження швидкості руху поїздів протяжністю 119,3 км. Із загальної кількості попереджень 130 – протяжністю 111,3 км – включені до графіку по швидкостях, з них 34 попередження з обмеженням швидкості до 25 км/год та 1 попередження – до 15 км/год [21].

Територією України проходять найкоротші шляхи з Європи до Закавказзя, Центральної Азії, Ірану, Афганістану; з Польщі, Скандинавії, країн Балтії, Білорусі та Росії в порти Азово-Чорноморського басейну.

З дев'яти транспортних коридорів, затверджених на другій Пан'європейській конференції (о. Крит, 1994 р.), три проходять по території України (№№ III, V, IX) [6, 28].

Інфраструктура практично всіх коридорів може забезпечити пропуск прогнозованих вантажопотоків. Технічні можливості українських ділянок Міжнародних транспортних коридорів (МТК) за основними показниками відповідають вимогам до коридорів (за кількістю головних шляхів, електрифікації) або перевищують їх (по навантаженню на вісь, довжині приймально-відправних колій, кількості вагонів у поїзді, ваговій нормі).

Але технічний стан мостів України в цілому викликає стурбованість фахівців. Для забезпечення їх подальшого нормального функціонування потрібне вкладення великих коштів на створення сучасної системи експлуатації транспортних споруд, реконструкцію і ремонт мостів. Світова практика показує, що в умовах правильного утримання залізобетонні прогонові будови можуть служити до 120 років, а без нагляду термін служби скорочується до 20 років. Слід підкреслити, що виходячи з терміну нормального функціонування залізобетонного моста 70 років, в Україні на зміну існуючим спорудам необхідно щодня вводити в експлуатацію 7...8 км мостів. Сьогоднішні тенденції будівництва складають 4,5 км за рік (з урахуванням реконструкції) і при цьому не вирішується проблема утримання існуючих мостів в належному стані.

За останнє десятиліття різко погіршилось фінансування робіт на експлуатацію мостів. У 1994-2000 рр. на експлуатацію 1 моста в середньому витрачалося на рік 7,0...8,0 тис. грн. (це ~ 1,6 тис. \$ США), в тому числі на утримання витрачалося 1,9...0,7 тис. грн. (0,35...0,13 тис. \$ США), для порівняння на експлуатацію моста в Нью-Йорку в середньому витрачається 472...531 тис. \$ США на 1 міст на рік [28].

Розвиток мостового господарства відбувався пропорційно розвитку залізниць, мережа яких була в основному сформована у кінці XIX – на початку XX століття. У цей час велося активне будівництво штучних споруд, зокрема було збудовано 3823 моста, які, переживши численні реконструкції і ремонти, служать до теперішнього часу. Друга численна група споруд – це близько 1 550 мостів, що збудовані у пері-

од відбудови країни після Другої світової війни – з 1946 по 1962 роки. Ці споруди розраховувались з метою економії матеріалів з використанням полегшених розрахункових норм навантаження, які не відповідають сучасним вимогам.

Враховуючи, що на сучасному етапі свого розвитку Україна має економіку, яка орієнтована на сировинний експорт, обсяг перевезень збільшується кожний рік. У зв'язку з цим залізничний транспорт є основою транспортної системи України і суттєво впливає на конкурентоспроможність вітчизняної економіки. На залізничний транспорт припадає 82,8 % вантажообігу країни (без урахування трубопровідного транспорту). Залізниці України із загальною експлуатаційною довжиною колії майже 23 тис. км посідають одинадцяте місце у світі та четверте в Європі. Вантажонапруженість вітчизняних залізниць у 3...5 разів перевищує відповідний показник розвинених європейських країн [10].

За таких умов транзитний потенціал країни повинен не тільки номінально визначати її місце в системі міжнародних зв'язків, а стати головним фактором реалізації, нарощування та розвитку всіх пов'язаних із ним галузей національної економіки, і в першу чергу транспорту та промисловості.

Історично склалося так, що головну частину вантажопотоку через територію нашої держави формують саме транзитні перевезення. І не випадково, адже пропускні здатності вітчизняної транспортної системи дозволяють щодоби обслуговувати близько 2,2 млн. т вантажів.

Вантажообіг імпорتنих перевезень у 2016 році прогнозується на рівні 19,922 млрд. тонно-кілометрів, що на 3 % більше плану 2015 року та більше очікуваного рівня 2015 року на 1,4 %. В імпортній структурі перевезень будуть традиційно переважати вугілля, нафтопродукти і руда [5].

Вантажообіг експортних перевезень заплановано на рівні 88,861 млн. тонно-кілометрів, що на 0,4 % менше плану 2015 року, але більше очікуваного рівня 2015 року на 2 %. Основними вантажами в структурі залишаються руда, зернові вантажі, чорні метали.

Внутрішні перевезення прогноуються на рівні 61,987 млрд. тонно-кілометрів, що на 10,6 % більше плану 2015 року та більше очікуваного рівня 2015 року на 1,9 % [5].

Обсяги перевезення вантажів територією України, будівництво нових транспортних магістралей, зростаючі транспортні потоки вимагають відповідної технічної експертизи та періодичної оцінки стану об'єктів транспортних магістралей, які підлягають тривалій експлуатації, зокрема таких як залізничні та автодорожні мости, щодо їх надійності та довговічності в конкретних умовах експлуатації.

Але за останні п'ять років «Укрзалізниця» нічого не інвестувала в розвиток транзитних перевезень, тоді як Білорусь купувала нові локомотиви, прискорювала проходження контейнерних поїздів, вкладала в перевалочні комплекси та колії. У підсумку по Білорусі контейнерні поїзди йдуть зі швидкістю 120 км/год, а у нас від Ковеля до кордону немає навіть електротяги, доводиться в Ковелі переформувати поїзди і скорочувати кількість вагонів у потязі, а це все втрати часу [8].

Днями Міжнародний союз залізниць і Асоціація вантажоперевізників FERRMED підписали меморандум про розвиток євразійської логістики з перевезення вантажів між Китаєм і ЄС. При цьому основний міжнародний вантажний залізничний маршрут між Китаєм і Європою пройшов уздовж кордону України, а не через Україну. Плануючи маршрут європейсько-китайського коридору, транспортники навмисно обійшли Україну стороною. Основний потік вантажів піде через Білорусь, а Україні залишили лише «запасну гілку» – на карті це тонка нитка ділянки в напрямку Угорщини, Сербії та Словаччини.

### Мета

Метою даної роботи є можливість звернути увагу на сучасний стан Українських залізниць та штучних споруд, як важливий елемент залізничного руху – при відсутності мостів рух неможливий зовсім. Зокрема виявлення прямого впливу стану штучних споруд та залізниць на економіку держави.

### Методика

Збір даних аварійних подій на штучних спорудах. Вивчення досвіду аварій металевих мостів для винесення уроків, які допоможуть в усуненні причин, що їх спричинили.

### Результати

Станом на початок 2016 р. майже 5 тис. прогнаних споруд мають строк служби 50 і більше років. З об'єктивних причин цей показник має тенденцію до збільшення, що вимагає, окрім збільшення коштів на їх поточне утримання та капітальний ремонт, впровадження надійної системи діагностики з використанням найсучаснішого устаткування та новітніх технологій.

У практиці експлуатації мостів з цього приводу виникає необхідність розв'язання задач із встановлення режимів подальшої експлуатації мостових споруд, які мають дефекти, що впливають на міцність, довговічність споруди та безпеку руху поїздів. На залізницях діє прийнята в 2011 р. Галузева програма підвищення експлуатаційної надійності та довговічності інженерних споруд залізниць України на 2011-2020 роки.

На стадії зведення конструктивних елементів зазвичай здійснюються усунення дефектів, допущених в ході будівництва, і лікування тріщин. На стадії експлуатації проводять різні види ремонтів, в т. ч. ремонти, пов'язані з відновленням і збільшенням несучої здатності окремих конструкцій або споруди в цілому. У всіх випадках ремонт повинен бути виконаний якісно, гарантувати встановлену довговічність і тривалість міжремонтних термінів.

На фоні зростання вантажонапруженості залізниць інколи трапляються аварії різного рівня та транспортні події. Протягом 12 місяців 2015 року в структурі ПАТ «Укрзалізниця» допущено 602 транспортні події (інциденти, у т. ч. 27 серйозних) проти 673 транспортних подій (інцидентів, із яких 19 серйозних) за аналогічний період 2014 року. Загальну кількість транспортних подій у 2015 році зменшено на 71 випадок проти рівня 2014 року, при цьому допущено збільшення кількості серйозних інцидентів на 8 випадків [23].

До причин залізничних транспортних подій можна віднести:

- недосконалість, недостатня надійність рухомого складу;
- технічно-конструктивні недоліки об'єктів інфраструктури залізничного транспорту;
- неякісне розроблення проектної документації на будівництво, реконструкцію рухомого

складу та об'єктів інфраструктури залізничного транспорту;

- неякісне виконання ремонтних та будівельних робіт;
- недосконалість технологічного процесу будівництва, його невідповідність вимогам безпеки руху;
- незадовільний технічний стан рухомого складу та об'єктів інфраструктури залізничного транспорту тощо.

Вихід з ладу металевих конструкцій мостів найчастіше пов'язано з утомою матеріалу під впливом змінюваного в часі експлуатаційного навантаження. Накопичення втомних пошкоджень в зонах концентрації напружень, призводить до появи і розвитку тріщин, які, досягаючи критичних розмірів, спричиняють вихід з ладу окремих елементів, а подекуди й катастрофічне руйнування всієї конструкції. Тому оцінка здатності матеріалу в конструкції чинити опір розвитку втомних пошкоджень має ключове значення для прогнозування експлуатаційної надійності та довговічності мостів. Особливо важлива така оцінка для вже споруджених мостів, які експлуатуються тривалий час, адже в цьому випадку визначення працездатності конструкції саме й полягає у виявленні вже існуючих в ній дефектів (насамперед тріщин) і у з'ясуванні реальної загрози розвитку цих пошкоджень до небезпечних розмірів [20, 21]. Від своєчасного усунення цих пошкоджень у початковій стадії їхнього розвитку залежить надійність і безвідмовність роботи штучних споруд [12, 25, 26, 27].

Нинішній стан економіки і залізничної галузі зокрема вже зараз не може в повній мірі забезпечити потреби, які все збільшуються на утримання штучних споруд. З кожним роком мости і труби стають на рік старіше, їх стан погіршується а, отже, фінансові потреби на утримання мостових споруд зростають і будуть зростати інтенсивніше, досягнувши в якийсь момент критичного значення. Критичним значенням вважатимемо момент, коли ніякі засоби не можуть реанімувати дряхлі штучні споруди до працездатного стану [29].

В одній з перших публікацій, датованій 1894 року Е. Elskes [2] проаналізував 42 аварії металевих мостів в період з 1852 до 1893 рр. Причинами руйнування мостів тих часів були:

- проблеми фундаментів;

- помилки при монтажі;
- обвалення при випробуваннях;
- недостатня несуча здатність прогонових будов.

Робота з аналізу причин аварій мостів ведеться в розвинених країнах світу понад 180 років. Її результати показують, що причини аварій можна об'єднати в три групи:

1. Приблизно 60 % аварій відбувалися внаслідок катастрофічних природних впливів: землетруси, зсуви, карстові провали, селі, паводки, льодоходи, статичні і пульсаційні повітряні потоки та інші.

2. Близько 30 % аварій обумовлені дефектами проектування та будівництва.

3. Порядку 10 % аварій є результатами незадовільної експлуатації, в тому числі пропуском наднормативних навантажень [22].

У 1921 році F. Emperger опублікував розділ про аварії, де він підкреслив значення статистичного обліку будівельних аварій і зазначив: «Вона (статистика) внесе значний вклад в наукове розуміння причин аварій» [3].

Книга Е. Stamma 1952 року розглядається в якості однієї з класичних робіт по обрушенню залізних і сталевих мостів [1]. Stamm розглянув 42 нещасних випадки, зареєстрованих до 1893 року в книзі Elske [2] разом з кресленнями, та додані біля 100 прикладів аварій від 1891 до 1950 року.

З великої різноманітності ознак якості надійності, до найбільш важливих і істотних стосовно металевих конструкцій слід віднести безвідмовність, розрахункову довговічність, безпеку і ремонтпридатність [22, 26].

Причини аварій обумовлені завжди декількома несприятливими факторами, але головний з них пов'язаний з недосконалістю норм проектування і виконання будівельних робіт.

В роботі [17] виконаний аналіз причин руйнування 143 мостів за період з 1847 по 1975 рр. При цьому життєві цикли мостів до руйнування розбиті на наступні терміни: в процесі будівництва, до двох років після завершення будівництва і після двох років експлуатації.

Металеві конструкції перебувають дещо в гіршому становищі, ніж інженерні конструкції, виконані з інших матеріалів. Високі розрахункові опори і обумовлені ними легкість і ажурність металевих конструкцій можуть привести до того, що недостатній опір тільки одного

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

конструктивного елемента (затяжка в арках і рамах, ванти в вантових конструкціях) викликає аварію всієї конструкції.

Причини і кількість зруйнованих мостів зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

## Аналіз причин руйнування мостів

№ з/п	Причини аварій	Термін аварії			Кількість, шт., (%)
		В процесі будівництва	До двох років експлуатації	Після двох років експлуатації	
1	Порушення технології спорудження	12			12 (8,4)
2	Невідповідність матеріалів проекту	5			5 (3,5)
3	Неякісні матеріали	3	3	16	22 (15,4)
4	Вітровий вплив	1	2	1	4 (2,8)
5	Землетрус			11	11 (7,8)
6	Повені	1	2	67	70 (49)
7	Втома матеріалу			4	4 (2,8)
8	Корозія			1	1 (0,7)
9	Перевантаження конструкцій	1		13	14 (9,6)
10	Всього	23	7	113	143 (100)

У будівельній практиці відомі такі приклади, коли причиною аварій кам'яних, бетонних, дерев'яних та інших конструкцій були дефекти металевих елементів, що входять в загальний конструктивний комплекс. При дослідженні аварій конструкцій, їх окремих елементів або цілих споруд завжди має місце збіг низки несприятливих чинників. Іноді буває важко правильно встановити причину аварій і відокремити її від наслідку, а це відіграє важливу роль не тільки для розслідування причин катастрофи, але і для їх профілактики в майбутньому.

Без перебільшення можна сказати, що майже при кожному випадку аварії спостерігаються втрати стійкості окремими елементами конструкції, не кажучи вже про те, що з найпоширеніших причин аварій є втрата стійкості елемента конструкції або споруди в цілому. Недоліки, допущені при проектуванні, взаємодіють з помилками при монтажі, неправильною експлуатацією, і все це зазвичай призводить до аварії [22].

Imhof створив одну з найбільших баз даних руйнування мостів (частина його докторської дисертації Imhof 2004) [9]. Вона містить 347 випадків у період між 1813 і 2004 рр. і включає

в себе автодорожні, а також залізничні і пішохідні мости. Статистичні дані в базі даних свідчать, що найбільш небезпечні природні явища, взаємодія суден зі штучними спорудами. Також вплив транспортних засобів робить значний внесок у факти обвалів. Список стихійних лих очолюють повені, селі і землетруси. Ця база даних в даний час оновлена шляхом включення останніх інцидентів починаючи з 2004 року.

Розподіл причин відмов по даним руйнування мостів Imhof показано на рис. 1.

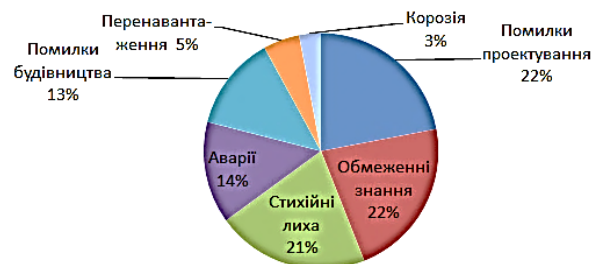


Рис. 1. Розподіл причин відмов по даним руйнування мостів

Найбільш важливими факторами, які сприяють руйнуванню: помилки проектування (22%), (наприклад конструкція сполучення поздовжніх і поперечних балок проїзної частини з

поверховим розташуванням); недостатні знання (22 %) і стихійні лиха (21 %); трохи менша доля припадає на нещасні випадки (14 %), помилки будівництва (13 %) та перенавантаження (5 %) [9].

Цікаве спостереження полягає в тому, що недостатні знання виявляються первісною причиною виходу з ладу саме металевих мостів, в порівнянні з причинами аварій споруд із інших матеріалів усієї бази даних відмов мостів. Це може бути пов'язано з тим, що технологія виробництва матеріалу та самих прогонових будов для металевих мостів часто удосконалювалась ривками. Як правило, це пов'язано з прогресом у виробництві заліза чи сталі або способу з'єднання металевих конструкцій. Природні небезпеки і помилки проектування знаходяться у верхній частині списку для обох баз даних, хоча перша причина має трохи менший вплив для металевих мостів. Перенавантаження має незначний вплив на металеві мости по статистичним даним всієї бази аварій мостів Imhof. Також цікаво відзначити, що тільки 3 % руйнувань з 87 %, викликане проблемами корозії, яка також, відповідно до результатів отриманих даних Imhof, може частково впливати на ці спостереження. Іншими словами, погіршення стану викликане корозією, найчастіше, можливо виправити перш ніж вона досягла такого рівня, при якому корозія є основною причиною обвалу.

Аналіз причин руйнування мостів держав СНГ за останні роки (проаналізовано 68 аварій [7]) виділяє основні показники:

1. Повне руйнування або провали в мостовому полотні старих мостів, причина – зниження вантажопідйомності через відсутність належного утримання. Може впасти як від власної ваги (15 випадків), так і після проїзду великовантажного транспорту (8 випадків) – 33,8 %;

2. Нерозрахований паводок або прорахунки в гідрології та геології – 14 випадків (20,6 %), що характерно для гірських районів і великих річок;

3. В'їзд важких вантажівок в опори або рух самоскидів з піднятим кузовом (страждають в основному пішоходні мости) – 9 випадків (13,2 %);

4. Порушення технології виробництва робіт або взагалі порушення проекту виконання робіт (ПВР) – 8 випадків (11,8 %);

5. Перевищення проектної вантажопідйомності старих мостів і помилки проектування нових – по 4 випадки (5,9 %). Але якщо за помилки проектування вважати «змиті» мости (неправильне гідрологічне обґрунтування), то помилки переміщуються на друге місце з результатом 18 випадків (26,5 %) [7].

Таким чином, досвід аварій мостів наводить на висновок, що якщо не враховувати природні явища, на які не впливає людина, то фактори втрати стійкості окремими елементами конструкції та втома матеріалів вивчені не досить остаточно. Втомні властивості слід досліджувати, для винесення уроків, які допоможуть в усуненні причин, що їх спричинили.

У вітчизняних нормах розрахунку мостів [13-15] втомні властивості матеріалів та зварних з'єднань враховують недостатньо. Зарубіжні рекомендації з цього питання, зокрема в рекомендаціях, розроблених Американською асоціацією державної служби магістралей і транспорту (American Association of State Highway and Transportation Officials — AASHTO), введені певні обмеження на допустимі циклічні навантаження відповідно до товщини та геометрії окремих вузлів. Досвід використання такого підходу показав, що він забезпечує необхідну для інженерної практики точність розрахунку при достатньо великих напруженнях і малій кількості циклів навантаження. Проте в ділянці багаточиклового навантажування (біля порогу втоми), що більше відповідає умовам навантажування мостів, такий розрахунок може призводити до значних похибок. Крім цього, він більше підходить для проектування нових мостів, ніж для оцінки ступеня деградації конструкцій, які вже довгий час експлуатуються.

Значно ширші можливості для розрахунку втомної міцності та довговічності конструкцій відкривають сучасні підходи механіки руйнування [11]. Такі розрахунки в поєднанні з періодичним контролем конструкцій на дефектність за допомогою неруйнівних методів є практично ідеальним інструментом для оцінки працездатності металевих мостів після їх довготривалої експлуатації з урахуванням дефектів, які існують (чи можуть існувати) в матеріалі.

Застосування механіки втомного руйнування до розрахунку автомобільних та залізничних

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

мостів має певні специфічні особливості. Пов'язані вони в основному з випадковим характером зовнішніх впливів, насамперед експлуатаційних навантажень та факторів, які визначають кінетику втомного руйнування і гранично-рівноважний стан конструкції. Така ситуація характерна взагалі для будівельних конструкцій. Тому при їх розрахунку перевагу слід надавати не детерміністичним, а імовірнісним підходам, які дають можливість не лише виявити умови, які відповідають небезпечному з погляду міцності стану конструкції, але й оцінити реальний ризик виникнення таких умов [18, 19, 24]. Стосовно мостів цей аспект проблеми тим більше важливий, оскільки сучасні вимоги до їх працездатності орієнтовані на імовірнісні показники – міст вважається придатним до експлуатації, якщо ймовірність його руйнування не перевищує заданої допустимої величини [13-15, 30].

Вимога економії матеріалів є однією з основних особливостей сучасного етапу в розвитку всього суспільства і в розвитку будівельного виробництва сталевих конструкцій. Виконання цієї вимоги можливо лише при повному і правильному врахуванні роботи конструкції та матеріалу, з якого вона виготовлена.

Останнім часом у всьому світі в теорії розрахунку сталевих конструкцій дедалі ширшим стає перехід від пружного розрахунку до розрахунку з урахуванням пластичних властивостей матеріалу. Разом з тим сучасний стан вимог нормативних документів ще не в повній мірі відображає дійсну роботу як самої конструкції, так і її матеріалу. Здебільшого конструкції проектують на основі пружних розрахунків, коли граничний стан характеризується досягненням межі текучості в найбільш напружених волокнах перерізу. Однак відомо [4], що текучість матеріалу в найбільш напружених волокнах не є граничним станом, так як несуча здатність конструкції часто ще далеко не вичерпана. Тому необхідно використовувати пластичність сталі при проектуванні сталевих конструкцій, оскільки це призводить у більшості випадків до економії матеріалу.

Вимога економії матеріалу і часткове використання пластичних властивостей сталі знайшли своє відображення в сучасних нормах з проектування сталевих конструкцій [13-15, 30]. Згідно з вимогами цих норм недонапруження в

перетинах елемента не повинно перевищувати 5 %. Однак, кручення стрижнів і додаткові нормальні і дотичні напруження, які виникають внаслідок цього, незважаючи на їхню значимість, ніяк не регламентуються. А саме металеві конструкції найбільше чутливі до впливу зовнішнього навантаження, так як поперечний переріз елементів має мінімальні запаси міцності, бо вони дуже близькі до розрахункових навантажень. Інколи достатньо пошкодження одного елемента щоб цілком стійка конструкція миттєво перетворилась в змінну.

Для практичних розрахунків на сьогоднішній день єдиною нормативною характеристикою надійності конструкцій при оцінюванні міцності є коефіцієнти, які використовують у чинних нормах [13-15]: за матеріалами  $\gamma_m$ , за навантаженням  $\gamma_s$ , за призначенням  $\gamma_n$ , умов роботи  $\gamma_c$ . Зазначені коефіцієнти можуть бути зведені до повного коефіцієнта надійності  $\gamma$ .

Поєднання методів механіки руйнування з імовірнісними підходами для оцінки ризику руйнування – імовірнісна механіка втомного руйнування, – тепер активно розвивається і застосовується в інженерній практиці. На її основі проводять проектні розрахунки на міцність, визначають допустимі розміри дефектів і розраховують оптимальні режими дефектоскопічного контролю найбільш відповідальних елементів конструкцій в авіації та ракетобудуванні, енергетиці та інших галузях. Дуже ефективним виявився цей підхід і при визначенні надійності металевих мостів. Зараз його вважають найбільш ефективним методом з'ясування працездатності конструкцій після довготривалої експлуатації, включаючи і конструкції, які вже відпрацювали початковий (проектний) ресурс.

Наразі ж в Україні розпочато процес переходу до європейських стандартів проектування будівельних конструкцій. Головним керівним документом у сфері проектування споруд на території Європейського Союзу на сьогоднішній день є Єврокоди, які в комплексі визначають всі основні етапи проектування споруд різного призначення. Нормативним документом, який визначає розрахункові моделі та навантаження на мости наразі є ДСТУ-НБ EN 1991-2:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости».

Оцінка втоми взагалі та перевірка рівня напружень, здійснюється згідно з EN 1992, EN 1993 і EN 1994. [24].

Оцінку втоми слід здійснювати на підставі змішування режимів руху, «стандартний рух», «рух з навантаженням 250 кН на вісь» або «легкий змішаний рух» залежно від того, чи змішувався стандарт руху перевезень, в основному рух важкого вантажу або легкий рух. Динамічний фактор враховує динамічне збільшення напружень і коливань конструкції, проте не враховує явище резонансу. Квазістатичні методи, які виходять зі статички і збільшують результати множенням на динамічний коефіцієнт, не можуть передбачувати резонансні явища, що виникають при високошвидкісному русі. Тут для передбачення динамічних явищ і резонансу потрібні динамічні методи розрахунку, які враховують залежність навантаження від часу в рамках високошвидкісної розрахункової моделі (HSLM), тобто шляхом розв'язання рівнянь руху [24].

Ймовірнісний підхід на початкових етапах розвитку теорії ймовірностей застосовували переважно в ситуаціях, коли можна було стверджувати про повторюваність подій. У технічних та фізичних застосуваннях ймовірність практично ототожнювалася з частотою.

Як показали фундаментальні дослідження [16], ймовірності можна дати інтерпретацію, яка відмінна від статистичної. Уточнення результату прогнозування залишкового ресурсу конструкції може бути забезпечене використанням ймовірнісного розрахунку конструкції (міцності, стійкості). Ймовірнісний розрахунок дозволяє врахувати фактичні значення параметрів конструкцій та їх мінливість, отримані при виконанні обстеження.

### Наукова новизна та практична значимість

Наукова зацікавленість полягає в тому, що при достатньому досвіді будівництва та експлуатації штучних споруд, використанні сучасних технологій та матеріалів на цей час аварії мостів – явище не рідке. Тому досвід аварій штучних споруд треба вивчати, аналізувати та використовувати в подальших рішеннях.

Доведення, що ймовірнісний підхід може бути використаний при розрахунках, а також застосування норм Єврокодів – це можливий

шлях до вирішення питання узаконення ймовірнісного підходу.

### Висновки

На основі виконаного аналізу, враховуючи досвід аварійності мостів, можна засвідчити, що фактори втрати стійкості окремими елементами конструкції та втома матеріалів вивчені не досить достатньо, втомні властивості слід досліджувати, для формування висновків, отриманих з досвіду аварій мостів, щоб допомогти в усуненні причин, що їх спричинили.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ackermann, H. Brückeneinstürze und ihre Folgen. (see also other sources in Section 3.7) – Bauing, 1972. – pp. 9-11.
2. Elskes, E. Rupture des ponts métalliques. Lausanne : Georges Bridel, 1894.
3. Foerster, M. Der Einsturz der Dachkonstruktion der Görlitzer Stadthalle. – Eisenbau 1, 1908. – pp. 163-166.
4. Gibalenko, A. N. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard / A. N. Gibalenko, V. Korolov, J. Filatov // Aktualnie problem konstrukcji metalowych : Abstr. II Polish-Ukrainian International Conference APMK (27.11–28.11.2014) / University of Technology. – Gdansk, 2014. – pp. 98-102.
5. Газета «Дело» [Електронний ресурс] <http://delo.ua/business/dvizhenie-na-meste-v-2016-godu-ukrzaliznycja-planiruet-velichit-312178/delo.ua>
6. [Електронний ресурс] – Режим доступа: [http://om.net.ua/8/8\\_8/8\\_84143\\_sistema-pan-evropeyskih-transportnih-koridorov.html](http://om.net.ua/8/8_8/8_84143_sistema-pan-evropeyskih-transportnih-koridorov.html)
7. [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://politikus.ru/articles/83918-sovetskiy-resursischerpan-na-ukraine-nachinaetsya-massovoe-obrushenie-mostov.html>
8. [Електронний ресурс] – Режим доступа: <https://strana.ua/articles/analysis/181230-ukrainamozhet-poterjat-hihantskie-sredstva-ot-tranzitnykh-perevozok-mezhdu-kitaem-i-evropoj.html>].
9. Imhof, D. 2004. Risk assessment of existing bridge structures. *PhD Thesis*. University of Cambridge, UK.
10. Андреева, Л. Сезонная диагностика [Електронний ресурс] / Л. Андреева // Газета «Магістраль», 09.04.2014. – Режим доступа: <http://www.magistral-uz.com.ua>



## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

11. Безпалов, Л. Н. Оценка влияния отклонений от проектных решений в конструкции ортотропной плиты металлического пролетного строения на НДС и усталостную долговечность [Текст] / Л. Н. Безпалов, М. Г. Мальгин // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Київ : – НТУ, 2009. – Вип. 77. – С. 9-15.
12. Бокарев, С. А. Содержание искусственных сооружений с использованием информационных технологий : учеб. пособие для вузов ж.-д. тр-та [Текст] / С. А. Бокарев, С. С. Прибытков., А. Н. Яшнов. – Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 195 с.
13. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи [Текст]. – Надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 83 с.
14. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Надано чинності 2007-02-01. – Київ : Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
15. ДБН В.2.3-6-2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування [Текст]. – Надано чинності 2010-03-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 42 с.
16. Дмитриев, Ф. Д. Крушение инженерных сооружений [Текст] / Ф. Д. Дмитриев. – Москва : Госстройиздат, 1953. – 188 с.
17. Загора, А. Л. Анализ причин аварий мостовых конструкций [Текст] / А. Л. Загора, С. В. Ключник, В. В. Марочка, Р. С. Железняк, Т. В. Фесенко // Диагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. Збірник наукових праць. Вип. 6, Львів, 2009. – С. 616-623.
18. Інструкція з визначення умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних залізничних мостах [Текст]. – Надано чинності 2002-06-10. Головне управління колійного господарства Укрзалізниці. – Київ : Мін. транспорту України, 2002. – 301 с.
19. Інструкція по утриманню штучних споруд [Текст]. – Надано чинності 1999-04-27. / В. Ф. Сушков, Л. П. Ватуля, М. М. Літвінов і ін. – Київ : Мін. транспорту України, 1999. – 96 с.
20. Линник, Г. О. Відновлення експлуатаційного ресурсу та підвищення несучої здатності прогонових будов залізничних мостів [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.01 / Линник Георгій Олегович; Придніпровська. державна академія будівництва та архітектури, 2011. – С. 15-16.
21. Линник, Г. О. Шляхи удосконалення системи управління станом штучних споруд на залізницях України [Текст] / Г. О. Линник, В. І. Соломка // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 3. – С. 106-110.
22. Мирошник, В. А. Проблемы аварийности мостовых конструкций [Текст] / В. А. Мирошник, С. В. Ключник, М. К. Журбенко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 1. – С. 55-59.
23. Міжнародний техніко-економічний журнал «Українська залізниця», 2016 р. – №7.
24. Національний стандарт України ДСТУ-НБ EN 1991-2:2010. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости (EN 1991-2:2003). – Надано чинності 2013-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2003. – 217 с.
25. Положение по оценке состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах СССР [Текст]. – Москва : Транспорт, 1991. – 12 с.
26. Рекомендации по расчету стальных конструкций по критериям ограниченных пластических деформаций. ЦНИИ Проектстальконструкция им. Мельникова [Текст]. – Москва, 1985. – С. 3-4.
27. Рузов, А. М. Эксплуатация мостового парка : учеб. пособие для студ. высш. учебн. заведений [Текст] / А. М. Рузов. – Москва : Издательский центр «Академия», 2007. – 176 с.
28. Совместное исследование о развитии евроазиатских транспортных связей. ООН [Текст]. – Нью-Йорк и Женева, 2008. – 275 с.
29. Солдатов, К. И. Курс на усиление и реконструкцию эксплуатируемых искусственных сооружений железных дорог Украины [Текст] / К. И. Солдатов, С. Е. Блохин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 262-271.
30. Пшінько, О. М. Аналіз сучасних підходів до організаційно-технологічної надійності транспортних споруд [Текст] / О. М. Пшінько, А. В. Радкевич, І. В. М'якенька // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 1. – С. 88-93.

С. В. КЛЮЧНИК\*

\* Кафедра «Мости та тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпр, Україна, 49010, тел. +38 (050) 667 40 49, ел. пошта ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

**Цель.** Целью данной работы является анализ современного состояния и аварийности металлических пролетных строений железнодорожных мостов. **Методика.** Сбор данных аварийных событий на искусственных сооружениях. Изучение опыта аварий металлических мостов для извлечения уроков, которые помогут в устранении причин, их повлекших. **Результаты.** Результатом данной работы является собранные данные о состоянии и аварии искусственных сооружений различных источников. **Научная новизна.** Научная заинтересованность заключается в том, что при достаточном опыте строительства и эксплуатации искусственных сооружений, использовании современных технологий и материалов в настоящее время аварии мостов – явление не редкое. Поэтому опыт аварий искусственных сооружений следует изучать, анализировать и использовать в дальнейших решениях. Доказательства, что вероятностный подход может быть использован при расчетах, а также применение норм Еврокодов – это возможный путь к решению вопроса узаконивания вероятностного подхода. **Практическая значимость.** Опираясь на полученные данные можно сделать вывод, что факторы потери устойчивости отдельными элементами конструкции и усталость материалов изучены недостаточно, усталостные свойства следует исследовать, для формирования выводов, полученных из опыта аварий мостов, чтобы помочь в устранении причин, их повлекших.

**Ключевые слова:** металлические пролетные строения, искусственные сооружения, аварии мостов, усталость материалов, европейские стандарты

S. V. KLUTCHNIK\*

\*Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 667 40 49, e-mail ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

## ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF METAL RUNWAYS OF RAILWAY BRIDGES

**Purpose.** The purpose of this work is to analyze the current state and accident rate of metal span structures of railway bridges. **Methodology.** Data collection of emergency events on artificial structures. Studying the experience of accident of metal bridges for taking lessons that will help to eliminate the causes that caused them. **Findings.** The result of this work is the collected data on the state and accident of artificial structures of various sources. **Originality.** The scientific interest is that with sufficient experience in the construction and operation of artificial structures, the use of modern technologies and materials at this time of bridge crash is not a rare phenomenon. Therefore, the experience of accidents in artificial constructions should be studied, analyzed and used in future decisions. Proving that a probabilistic approach can be used in calculations, as well as the application of norms Eurocodes – this is a possible way to address the question of legitimizing the probabilistic approach. **Practical value.** Based on the data obtained, it is possible to conclude that the factors of the loss of stability of the individual elements of construction and the fatigue of the materials have not been sufficiently studied, the fatigue properties should be investigated, in order to draw conclusions derived from the experience of bridges in order to help eliminate the causes that caused them.

**Keywords:** metal runners, pieces, dispute, avari most, vtom materiy, evropijsk standarti

### REFERENCES

1. Ackermann H. Brückeneinstürze und ihre Folgen (see also other sources in Section 3.7). Bauing, 1972, pp. 9-11.
2. Elskes E. Rupture des ponts métalliques. Lausanne: Georges Bridel, 1894.
3. Foerster M. Der Einsturz der Dachkonstruktion der Görlitzer Stadthalle. Eisenbau 1, 1908, pp. 163-166.
4. Gibalenko A. N., Korolov V., Filatov J. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard. Aktualnie problem konstrukcji metalowych, Abstr. II Polish-Ukrainian International Conference APMK (27.11-28.11.2014). University of Technology. Gdansk, 2014, pp 98-102.
5. [Electronic resource]. Available at: <http://delo.ua/business/dvizhenie-na-meste-v-2016-godu-ukrзалiznycja-planiruet-uvelichit-312178/delo.ua>

© С. В. Ключник, 2017

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

6. [Electronic resource]. Available at: [http://om.net.ua/8/8\\_8/8\\_84143\\_sistema-pan-evropeyskih-transportnih-koridorov.html](http://om.net.ua/8/8_8/8_84143_sistema-pan-evropeyskih-transportnih-koridorov.html)
7. [Electronic resource]. Available at: <http://politikus.ru/articles/83918-sovetskiy-resurs-ischerpan-na-ukraine-nachinaetsya-massovoe-obrushenie-mostov.html>
8. [Electronic resource]. Available at: <https://strana.ua/articles/analysis/181230-ukraina-mozhet-poterjat-ihantskie-sredstva-ot-tranzitnykh-perevozok-mezhdu-kitaem-i-evropoj.html>.
9. Imhof D. Risk assessment of existing bridge structures. PhD Thesis. University of Cambridge, UK. 2004.
10. Andreeva Lada «Sezonnaja diagnostika», gazeta «Magistral'», 09.04.14. [«Seasonal diagnostics», newspaper «Magistral'». 04.09.14]. [Electronic resource]. Available at: <http://www.magistral-uz.com.ua>.
11. Bezpalov L. N., Mal'gin M. G. Ocenka vlijanija otklonenij ot proektnyh reshenij v konstrukcii ortotropnoj plity metallicheskogo proletnogo stroenija na NDS i ustalostnuju dolgovechnost' [Assessment of the influence of deviations from design solutions in the design of an orthotropic slab of a metal span structure on VAT and fatigue durability] *Avtomobil'ni dorogi i dorozhne budivnictvo – Roads and road construction*. Kyjiv, NTU Publ., 2009, issue 77, pp. 9-15.
12. Bokarev S. A., Pribytkov S. S., Jashnov A. N. *Soderzhanie iskusstvennyh sooruzhenij s ispol'zovaniem informacionnyh tehnologij: ucheb. posobie dlja vuzov zh.-d. tr-ta* [The content of artificial structures using information technology: studies. manual for universities of railway transport]. Moscow, GOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniju na zheleznodorozhnom transporte», 2008. 195 p.
13. *DBN V.1.2-15:2009. Mosty ta truby. Navantazhennja ta vplyvy* [Bridges and pipes. Loads and effects]. Kyjiv, Minregionbud Ukrainy Publ., 2009. 83 p.
14. *DBN V.2.3-14-2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannja* [State Standard V.2.3-14-2006. Transport constructions. Bridges and pipes. Design rule]. Kyjiv, Ministerstvo budivnytstva, arhitektury i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 359 p.
15. *DBN V.2.3-6-2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennja i vyprovuvannja* [State Standard V.2.3-6-2009. Transport constructions. Bridges and pipes. Inspection and testing]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2009. 42 p.
16. Dmitriev F. D. *Krushenie inzhenernyh sooruzhenij* [Crash of engineering structures]. Moscow, Gosstrojizdat Publ., 1953. 188 p.
17. Zakora A. L., Kljuchnik S. V., Marochka V. V., Zheleznyak R. S., Fesenko T. V. Analiz prichin avarij mostovyh konstrukcij [Analysis of the causes of accidents of bridge structures]. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstruktsiia mostiv i budivnykh konstruktzii – Diagnostics, durability and reconstruction of bridges and building constructions*. Issue 6, Lviv, 2009. pp. 616-623.
18. *Instruktsiia z vyznachennia umov propusku rukhomoho skladu po metalevykh ta zalizobetonnykh zaliznychnykh mostakh* [Instruction on determining the conditions for passing the rolling stock on metal and reinforced concrete bridges]. Holovne upravlinnia koliinoho hospodarstva Ukrzaliznytsi [The main department of the railways of Ukrzaliznytsia]. Kyjiv, Ministerstvo transportu Ukrainy Publ., 2002. 301 p.
19. Sushkov V. F., Vatulia L. P., Litvinov M. M. i in. *Instruktsiia po utrymanniu shtychnykh sporud* [Instruction on the maintenance of artificial structures]. Kyjiv, Transport Ukrainy Publ., 1999. 96 p.
20. Lynnyk H. O. *Vidnovlennia ekspluatatsiinoho resursu ta pidvyshchennia nesuchoi zdatnosti prohonovykh budov zaliznychnykh mostiv*. Avtoreferat Diss. [Restoration of operational resource and increase of bearing capacity of runways of railway bridges. Author's abstract.], Dnipropetrovsk, 2011. 16 p.
21. Lynnyk H. O. Shliakhy udoskonalennia systemy upravlinnia stanom shtuchnykh sporud na zaliznytsiakh Ukrainy [Ways of improvement of the system of management of the state of artificial structures on the railways of Ukraine]. *Mosty ta tuneli: teoriija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 106-110.
22. Miroshnik V. A., Kljuchnik S. V., Zhurbenko M. K. Problemy avarijnosti mostovyh konstrukcij [Accident problems of bridge structures]. *Mosty ta tuneli: teoriija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 1, pp. 55-59.
23. *Mizhnarodnyi tekhniko-ekonomichnyi zhurnal «Ukrainska zaliznytsia» – International technical and economic magazine "Ukrainian Railway"*, 2016. Num. 7.
24. *Nacionaljnij standart Ukrainy DSTU-NB EN 1991-2:2010. Jevrokod 1. Dijj na konstrukciji. Chastyna 2. Rukhomi navantazhennja na mosty (EN 1991-2:2003)* [National Standard of Ukraine DSTU-NB EN 1991-2:2010. Eurocode 1. Actions on the design. Part 2. Moving load on bridges (EN 1991-2:2003)]. Kyjiv, Minregionbud Ukrainy Publ., 2003. 217 p.

25. Polozhenie po ocenke sostojanija i soderzhanija iskusstvennyh sooruzhenij na zheleznyh dorogah SSSR [Regulation on the assessment of the status and maintenance of artificial structures on the railways of the USSR]. Moscow, Transport Publ., 1991. 12 p.
26. Rekomendacii po raschetu stal'nyh konstruk-cij po kriterijam ogranicennyh plasticheskikh deformacij. CNII Proektstal'konstrukcija im. Mel'nikova [Recommendations for the calculation of steel structures according to the criteria of limited plastic deformations. Central Research Institute Design Melnikova]. Moscow, 1985. pp. 3-4.
27. Ruzov A. M. Jekspluatacija mostovogo parka: ucheb. posobie dlja stud. vyssh. uchebn. zavedenij [Operation of the bridge park: studies. allowance for stud. higher studies institutions]. Moscow, Izdatel'skij centr «Akademija» Publ., 2007. 176 p.
28. Sovmestnoe issledovanie o razvitii evro-aziatskikh transportnyh svjazej. OON [Joint study on the development of Euro-Asian transport links. UN]. N'ju-Jork i Zheneva, 2008. 275 p.
29. Soldatov K. I., Blohin S. E. Kurs na usilenie i rekonstrukciju jekspluatiruemyh iskusstvennyh sooruzhenij zheleznyh dorog Ukrainy [The course on strengthening and reconstruction of the operated artificial structures of Ukraine's railways]. *Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zalizničnogo transportu imeni akademika V. Lazarjana – Herald of the Dnipropetrovsk National University of Transport Transport and Academicians V. Lazaryan*. Dnipropetrovsk, 2010. Issue. 33. pp. 262-271.
30. Pshinjko O. M., Radkevych A. V., M'jakenjka I. V. Analiz suchasnykh pidkhodiv do orghanizacijno-tehnologhichnoji nadijnosti transportnykh sporud [Analysis of modern approaches to the organizational and technological reliability of transport facilities]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 88-93.

Надійшла до редколегії 24.10.2017

Прийнята до друку 03.11.2017