

**Редакційна колегія**

Головний редактор – Вовк Руслан Володимирович, доктор фізико-математичних наук, професор, УкрДУЗТ

Випусковий редактор – Кравець Андрій Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, УкрДУЗТ

**Залізничний транспорт (273)**

Пузир В. Г., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Фомін О. В., д.т.н., доцент (ДУІТ, м. Київ)  
Путято А. В., д.т.н., доцент (БДУТ, Білорусь)  
Горобченко О. М., д.т.н., доцент (ДУІТ, м. Київ)  
Дацун Ю. М., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Мартинов І. Е., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Vureika G., dsc, professor (VGTU, Литва)  
Михалків С. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Ловська А. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)

**Будівництво та цивільна інженерія (192)**

Бліхарський З. Я., д.т.н., професор  
(НУ Львівська політехніка)  
Борзяк О. С., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Ватуля Г. Л., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Лобяк О. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Орел Є. Ф., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Плугін А. А., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Плугін Д. А., д.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Пушкарьова К. К., д.т.н., професор (КНУБА)  
Толмачов С. М., д.т.н., професор (ХНАДУ)  
Трикоз Л. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Шабанова Г. М., д.т.н., професор (НТУ ХП)  
Шмуклер В. С., д.т.н., професор (ХНУМГ)  
Fisher Hans-Bertram., dr. ind., professur (Bauhaus-  
Universität Weimar F.A., Німеччина)  
Опанасенко О. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)

**Механічна інженерія (131, 132, 133)**

Астанін В. В., д.т.н., професор (НАУ м. Київ)  
Воронін С. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Геворкян Е. С., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Ковальова І. М., к.т.н., доцент (НАНБ, Білорусь)  
Онопрейчук Д. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Стефанов В. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Тимофеев С. С., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Тимофеева Л. А., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Федориненко Д. Ю., д.т.н., професор (ЧНТУ,  
м. Чернігів)

**Транспортні технології (275)**

Панченко С. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Бутько Т. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Прохорченко А. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Шраменко Н. Ю. д.т.н., професор (ХНТУСГ)  
Мороз М. М. д.т.н., професор (КНУ, м. Кременчук)  
Кириллова О. В., д.т.н., доцент (ОНМУ, м. Одеса)  
Бабаєв М. М., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Лаврухін О. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Потапов Д. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Ходаківський О. М., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)

**Геодезія та землеустрій (193)**

Eimuntas Paršeliūnas, Prof. Habil Dr. (VGTU, Литва)  
Jūrate Sužiedelytė Visockienė, Assoc. Prof. Dr.  
(VGTU, Литва)  
Угненко Є. Б., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Маланчук М. С., д.т.н., доцент (НУ «Львівська  
політехніка»)  
Церклевич А. Л., д.т.н. професор (НУ «Львівська  
політехніка»)  
Viselga Gintas, Assoc. Prof. Dr. (VGTU, Литва)  
Мамонов К. А., д.е.н., професор (ХНУМГ)  
Савенко В. Я., д.т.н., професор (НТУ, м. Київ)

**Теплоенергетика (144)**

Каграманян А. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Мороз В. І., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Фалендиш А. П., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)  
Грицук І. В., д.т.н., доцент (ХМДА, м. Херсон)  
Сотник М. І., д.т.н., доцент (СДУ, м. Суми)  
Дешко В. І., д.т.н., професор (НТУ, м. Київ)  
Володарець М. В., к.т.н., старш. викл. (УкрДУЗТ)  
Бабіченко Ю. А., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)  
Pavlenko A., dsc. tech., profesor (KUT, Poland)  
Bartoszewicz J., dsc. tech., profesor (PUT, Poland)  
Tomaszewski F., phd, profesor (PUT, Poland)



## ЗМІСТ

### **Будівництво та цивільна інженерія (192)**

- Ковальчук О. Ю., Зозулинець В. В.* Вплив лужного компонента зміни показника лужності системи шлаколужного цементу при взаємодії з активними заповнювачами 6
- Плугін А. А., Мірошніченко С. В., Калінін О. А., Ляху Л. В., Ганжела С. Ю.* Експериментальні дослідження тріщиностійкості залізобетонних шпал з безпідкладковим пружним рейковим скріпленням 11

### **Залізничний транспорт (273)**

- Крашенінін О. С., Мацегора Д. О., Саченко Є. О., Блохін Я. С.* Концепція подовження термінів експлуатації локомотивів 24
- Баранов І. О., Мірошникова М. В.* Дослідження показників роботи вагоноремонтного комплексу і безпеки руху 32

### **Транспортні технології (275)**

- Тарандушка Л. А.* Дослідження зміни показника якості технологічних процесів з урахуванням взаємного впливу функціональних елементів системи автосервісу 45
- Ковальов А. О., Продащук С. М., Слободянюк В. О., Шульженко І. І., Горбатенко О. В.* Організація високошвидкісного руху на напрямку 52

**БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ (192)**

---

УДК 691.5

**ВПЛИВ ЛУЖНОГО КОМПОНЕНТА ЗМІНИ ПОКАЗНИКА ЛУЖНОСТІ СИСТЕМИ  
ШЛАКОЛУЖНОГО ЦЕМЕНТУ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З АКТИВНИМИ  
ЗАПОВНЮВАЧАМИ**

Канд. техн. наук О. Ю. Ковальчук, асп. В. В. Зозулинець

**INFLUENCE OF THE ALKALINE COMPONENT ON THE KINETICS OF STRENGTH  
GAIN OF ONE-COMPONENT ALKALINE CEMENTS WHEN INTERACTING WITH  
ACTIVE AGGREGATES**

PhD (Tech.) O. Yu. Kovalchuk, postgraduate student V. V. Zozulynets

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.192.2021.223728>

---

***Анотація.** У сучасному світі гостро виникає проблема якісних сировинних компонентів для будівельних матеріалів, зокрема бетонної промисловості. Родовища якісних заповнювачів вичерпуються, а використання низькоякісних матеріалів, зокрема тих, які містять активні елементи, призводить до зниження якості будівельної продукції, її довговічності, а в окремих випадках техногенних катастроф. Однак вирішення такої проблеми можливе шляхом спрямованого управління структурою і властивостями таких матеріалів. Досліджено можливість спільної роботи матриці лужних цементів і активних заповнювачів, представлених базальтовим заповнювачем, досліджено закономірності зміни рН середовища лужного цементу при різному вмісті лужного компонента та виду заповнювача. Встановлено, що при використанні лужного компонента в сухому вигляді відбувається процес нейтралізації лугів кремнієвою кислотою зі складу активного заповнювача. При цьому такий процес носить незворотний характер, і тверднення системи не відбувається. За рахунок підвищення вмісту лужного компонента в системі є можливість регулювати кінетику набору міцності лужних цементів з використанням активних заповнювачів і нівелювати їхній негативний вплив на кінетику набору міцності. На основі отриманих закономірностей запропоновано підходи до проектування складів лужних бетонів із застосуванням лужних заповнювачів при використанні лугів у сухому вигляді.*

***Ключові слова:** лужний цемент, лужна корозія заповнювача, реакція ASR.*

***Abstract.** In the modern world, the problem of high-quality raw materials for building materials, in particular, for the concrete industry, arises. Deposits of high-quality aggregates are drying up, and the use of low-quality materials, in particular, containing active elements, leads to a decrease in the quality of construction products, durability, and in some cases, man-made disasters. However, the solution to such a problem is possible by directional control of the structure and properties of such materials. It was studied possibility of joint work of alkali activated cement matrix with active aggregate, represented by basalt aggregate, regularities of pH changes of alkali activated cement environment depending from quantity of alkaline component and aggregate type are investigated. It is stated that using alkaline component in dry state results in neutralization of alkalis at initial stages of hardening by siliceous acid from the active aggregate composition. The hardening of system in this case is not taking place. Increasing alkaline component content in the system makes*

*it is possible to regulate alkali activated cements strength gain using active aggregates and to neutralize their negative influence on strength gain. Thus, increasing of alkali content up to 8-10 % by mass leads to the normal hardening of the mortar. The pH value of the media varies after 1 hour of hardening from 10 (for 0 % additional alkalis) to 11.5 (in case of 10 % of additional alkalis).*

*Taking into account obtained regularities there were proposed approaches for alkali activated concretes mix design using active aggregates and alkaline component in dry state. This could be introduction of active alumina and silica into the materials composition, increasing of alkalis content in the composition, using of different alkalis reach wastes and by-products, e.t.c.*

**Keywords:** *alkaline cement, alkaline corrosion of aggregate, ASR reaction.*

**Вступ.** На сьогодні гостро постає питання розширення сировинної бази виробництва будівельних матеріалів, зокрема бетонних виробів і конструкцій. Підвищення ціни на традиційні якісні сировинні матеріали, зокрема на заповнювачі, змушує виробників звертати увагу на більш дешеві, але водночас менш якісні матеріали. Серед заповнювачів такої категорії є висока ймовірність наявності активних зерен заповнювача (активного кремнезему), що здатний брати участь у реакції з матрицею цементу і призводить до виникнення проблем, а у певних випадках – техногенних катастроф.

Проблема протікання лужної корозії заповнювача в бетонів є також суттєвою з тієї точки зору, що дослідження таких показників фактично відсутні в картах вхідного контролю виробників бетонів і залізобетонних конструкцій, а виявлення проблеми лужної корозії часто є можливим вже на стадії експлуатації виробу чи конструкції, коли вживати яких-небудь технологічних заходів уже запізно.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема зниження якості і підвищення активності заповнювачів останнім часом набуває досить серйозних розмірів. Справа в тому, що перехід на використання вугілля при виробництві портландцементного клінкеру призвів до збільшення кількості з'єднань Na і K в цементі [1], що в комплексі зі збільшенням активності заповнювача призводить до розвитку деструктивних процесів у бетоні безпосередньо в період експлуатації [2]. У тілі затверділого бетону виникають реакції

«луг – активний кремнезем» (ASR), які призводять до появи в порах затверділого цементного каменю новоутворень, що перевищують об'єм цих пор [3]. Це стає причиною у свою чергу появи внутрішніх напружень у матеріалі і може призвести до появи тріщин і руйнування конструкції.

Результати проведених досліджень показали, що існують шляхи зниження рівня розвитку ASR в бетоні шляхом введення активних мінеральних добавок [4], які дозволяють регулювати процеси структуроутворення і переводити протікання процесів, що виникають внаслідок описаної реакції, у безпечне русло [5]. Найбільш ефективними системами в даному напрямі стали лужні цементы [6], які дозволяють переводити механіку процесу ASR з деструктивного характеру в конструктивний, зміщуючи в часі момент протікання реакції на ранні терміни структуроутворення і не призводити до виникнення критичних напружень [7].

У той же час проведені дослідження стосувалися переважно використання лужних цементів за двокомпонентною технологією, у якій лужний компонент був представлений у рідкому вигляді [8]. Такі системи досить ефективні, проте технологічність їх застосування не є ідеальною. Сучасний ринок вимагає використання лужних цементів у вигляді однокомпонентної системи, яка елементарно затворюється водою.

Проблемою використання такої системи спільно з використанням активних наповнювачів може бути те, що розчини лужних компонентів (за старою

технологією) містять питомо значно більшу кількість лугів у системі [9], і в однокомпонентних системах присутніх лугів може виявитися недостатнім для компенсації негативного впливу активного заповнювача. Використання ж надмірної кількості лугів у сухому вигляді також небажано через можливість підвищеного вилугування системи і розвитку деструктивних процесів [10].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою наведеного дослідження є встановлення закономірностей зміни лужного середовища лужного цементу при використанні активних заповнювачів, а також розроблення технологічних методів усунення проблеми спільної роботи матриці лужного цементу при використанні лужного компонента в сухому вигляді і заповнювача, що містить активний кремнезем.

Основним завданням дослідження є вирішення вищенаведеної проблеми шляхом підбору оптимального складу лужного компонента в однокомпонентній

системі лужного цементу. Для цього передбачається визначення показника лужності системи в різні строки тверднення цементу за присутності активного заповнювача при різному відсотковому вмісті лужного компонента в системі. Баланс між мінімальним вмістом луку в системі та мінімальним показником зниження лужності дозволить визначити оптимальний вміст лужного компонента в цементі.

**Основна частина дослідження.** Методи дослідження та сировинні матеріали. Як основний алюмосилікатний компонент лужного цементу використовували шлак доменний гранульований Маріупольського металургійного комбінату імені Ілліча, розмелений до питомої поверхні 450 м<sup>2</sup>/кг, за Блейном.

Як модельний активний заповнювач використовували базальт Рівненського родовища, представлений фракцією 1–2,5 мм. Хімічний склад матеріалів подано в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад сировинних матеріалів

Матеріал	Склад оксидів, % за масою								Σ, %	M <sub>o</sub>	M <sub>a</sub>
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MnO	в.п.п.			
Шлак ММК	39,0	5,9	47,7	5,56	0,29	1,48	0,1	0,5	100,5	1,19	0,151
Базальт	50,2	14	8,53	6,6	15,0	0,08	0,24	0,55	95,16	0,24	–

Лужний компонент однокомпонентного лужного цементу представлений карбонатом кальцію (кальцинованою содою).

Показники лужності системи (рН) визначали через 1, 2, 3, 4, 5 і 24 години тверднення шляхом вимірювання характеристик 10 % водної витяжки на рН-метрі PL-700al (рН/ORP/Conductivity/TDS/Salt/DO/Temp).

Для визначення оптимального вмісту лужного компонента в однокомпонентній цементній системі з використанням активного заповнювача використовували лужний цемент ЛЦЕМ 1 за ДСТУ Б В.2.7-181, до

якого додатково вводили лужний компонент у вигляді кальцинованої соди в кількості 2, 4, 6, 8 і 10 %.

*Отримані результати дослідження.* Дослідження зміни показника лужності системи проводили в цементному тісті. Початковий вміст лужного компонента у складі цементу склав 4,5 % (2,5 % у перерахунку на Na<sub>2</sub>O). Таким чином, максимальний вміст луку в системі становив 7,54 % у перерахунку на Na<sub>2</sub>O. Таке суттєве підвищення лужності системи і перевищення нормативних показників за вмістом лугів було спрямоване на компенсацію

негативного впливу саме активного заповнювача на структурні показники системи.

Результати наведених випробувань показано в табл. 2 і на рисунку.

Таблиця 2

Вплив вмісту лужного компонента на зниження загальної лужності системи

	Показник рН системи					
	ЛЦ	ЛЦ+2%	ЛЦ+4%	ЛЦ+6%	ЛЦ+8%	ЛЦ+10%
–	10,0	10,0	11,0	11,5	11,7	11,7
1 год	9,0	10,0	11,0	11,5	11,5	11,5
2 год	9,0	9,5	10,5	11,0	11,5	11,5
3 год	9,0	9,2	10,5	11,0	11,2	11,2
4 год	8,7	9,0	10,2	11,0	11,2	11,2
5 год	8,7	9,0	10,2	11,0	11,0	11,2
6 год	8,5	8,7	10,2	11,0	11,0	11,0
24 год	7,5	7,8	7,8	11,0	11,0	11,0

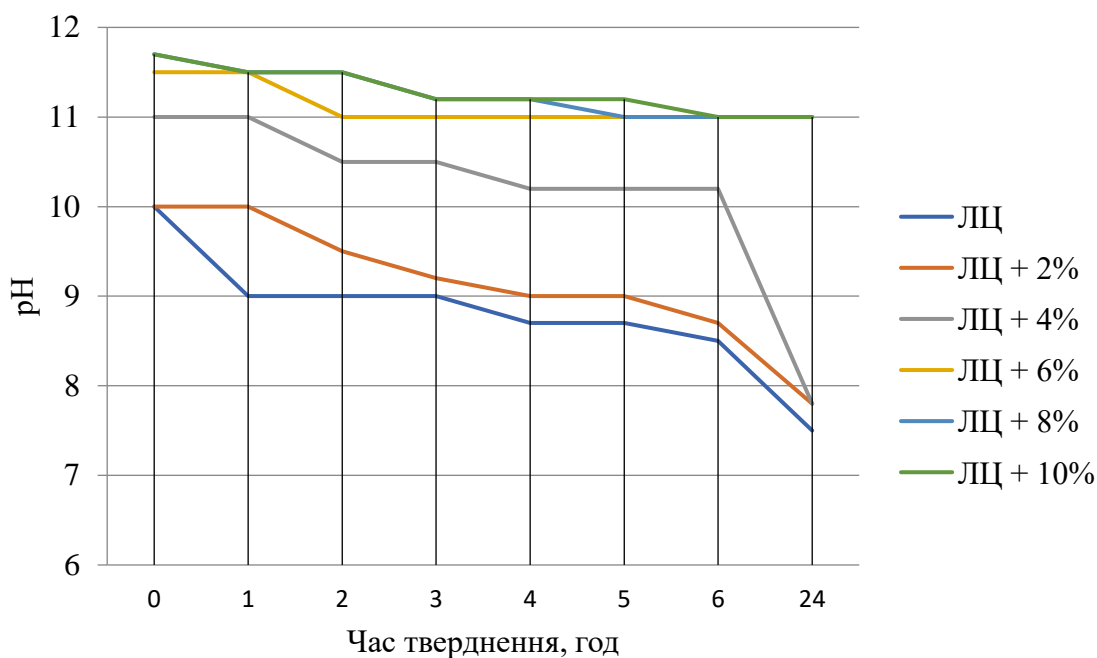


Рис. Зміна рН системи залежно від вмісту лужного компонента

Аналіз отриманих результатів показав, що при використанні активного заповнювача лужність системи падає вже на початкових строках тверднення. Без додаткового введення луку загальний показник рН вже в початкові строки становить 10 і стрімко зменшується в часі. З точки зору підтримки показника лужності і

забезпечення достатнього його рівня для тверднення системи оптимальним вмістом додаткового лужного компонента є 6 % соди, що забезпечує загалом 5,4 % луку  $Na_2O$  в системі в цілому.

Отримані результати підтвердили припущення, що в умовах використання активного кисло заповнювача стандарт-

ного вмісту луку в однокомпонентному лужному цементі недостатньо. Пояснити цей факт можна протіканням реакції між кремневою кислотою, яка виділяється активним заповнювачем, і лужним компонентом, що призводить до утворення гідросилікатів натрію. У цілому такий процес не носить деструктивного характеру і є конструктивним. Однак зменшення загальної кількості вільного луку в матеріалі і падіння рН призводить до гальмування процесів структуроутворення в лужному цементі або припиняє їх у цілому.

Тому для підтримки загальної лужності системи необхідне введення додаткового лужного компонента в кількості 6–8 %. В умовах використання лужних систем з рідким лужним компонентом загального луку в системі досить для протікання процесів структуроутворення і додаткового луку не потрібно.

Отримані результати дозволяють запропонувати спосіб компенсації негативного впливу активних заповнювачів на бетони на основі однокомпонентного лужного цементу шляхом введення додаткової кількості лужного компонента безпосередньо до складу бетону. Це

дозволить забезпечити необхідну щільність розчину лужного компонента в твердіючому матеріалі і створить умови для формування необхідної структури.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення впливу зміни загальної лужності системи на фізико-механічні властивості матеріалів і їх усадку. Також буде досліджено вплив введення активних мінеральних добавок на властивості матеріалів.

**Висновки.** Показано, що використання активних заповнювачів може істотно ускладнити або зупинити процеси структуроутворення однокомпонентних цементів з використанням активних заповнювачів (на прикладі базальту). Встановлено, що звичайного вмісту луку в таких системах недостатньо для нормального протікання процесів структуроутворення, а загальна лужність системи падає вже в початкові терміни і в подальшому має стійку тенденцію до зменшення. Оптимальний додатковий вміст луку в системі становить 6–8 %, що забезпечує високі початкові показники рН (11.5–11.7), а також збереження показника рН в часі (до показника 11 в перебігу 4–24 годин).

### Список використаних джерел

1. Pluhin O., Plugin A., Plugin D., Borziak O., Dudin O. (2017). The effect of structural characteristics on electrical and physical properties of electrically conductive compositions based on mineral binders. *Matec Web of Conference* 116 01013.
2. Kropyvnytska T., Semeniv R., Ivashchyshyn H. (2017). Increase of brick masonry durability for external walls of buildings and structures. *MATEC Web of Conferences*. 116. 01007.
3. Stanton T. E. (1940). Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *J. Amer. Soc. Eng.* 66. 1781-1811.
4. Krivenko P., Petropavlovsky O., Kovalchuk O., Pasko A., Lapovska S. (2018). Design of the composition of alkali activated Portland cement using mineral additives of technogenic origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4/6 (94). 6-15.
5. Kovalchuk O., Grabovchuk V., Govdun Ya. (2018). Alkali activated cements mix design for concretes application in high corrosive conditions. *MATEC Web of conferences*. 230. 03007.
6. Krivenko P., Petropavlovsky O., Kovalchuk O. (2018). A Comparative study on the influence of metakaolin and kaolin additives on properties and structure of of alkali-activated slag cement and concrete. *J. Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 1/6 (91). 33–39.
7. Krivenko P., Drochytka R., Gelevera A., Kavalerova E. (2014). Mechanism of preventing the alkali–aggregate reaction in alkali activated cement concretes. *J. Cement and Concrete Composites*. 45. 157–165.



8. Lu D., Mei L., Xu Z., Tang M., Fournier B. Alteration of alkali reactive aggregates autoclaved in different alkali solutions and application to alkali–aggregate reaction in concrete:(I) Alteration of alkali reactive aggregates in alkali solutions. *J. Cement and concrete research*. 36(6) (2006). P. 1176–1190.

9. Shi Z., Shi C., Zhao R., Wan S.(2015). Comparison of alkali–silica reactions in alkali-activated slag and Portland cement mortars. *J. Materials and Structures*. 48 (3). P. 743–751.

10. Ramlochan T. Thomas M., Gruber K. (2000). The Influence of Metakaolin on ASR in Concrete. *J. Cement and Concrete Research*. 30(3). P. 339–344.

---

Ковальчук Олександр Юрійович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: +380443454830 E-mail: kovalchuk.oyu@gmail.com. ORCID iD: 0000-0001-6337-0488.

Зозулинець Вікторія Василівна, аспірант, молодший науковий співробітник Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: +380442415492. E-mail: zozulnets555@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-8066-2033.

Kovalchuk Oleksandr, PhD (Tech.), Senior Researcher of the Scientific Research Institute for Binders and Materials, Kyiv national university of construction and architecture. Tel.: +380442454830. E-mail: kovalchuk.oyu@gmail.com. ORCID iD: 0000-0001-6337-0488.

Zozulynets Viktoriia, Postgraduate Student, Junior Researcher of the Scientific Research Institute for Binders and Materials, Kyiv national university of construction and architecture. Tel.: +380442415492. E-mail: zozulnets555@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-8066-2033.

Статтю прийнято 07.09.2020 р.

УДК 625.1:691.328

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИЩИНОСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ З БЕЗПІДКЛАДКОВИМ ПРУЖНИМ РЕЙКОВИМ СКРІПЛЕННЯМ

Д-р техн. наук А. А. Плуґін, кандидати техн. наук С. В. Мірошніченко, О. А. Калінін,  
магістранти Л. В. Ляху, С. Ю. Ганжела

## THE CRACK RESISTANCE OF REINFORCED-CONCRETE SLEEPERS' WITH ELASTIC RAIL FASTENING SYSTEMS WITHOUT BASE-PLATE. EXPERIMENTAL RESEARCH

D. Sc. (Tech.) A. Plugin, PhD (Tech.) S. Miroshnichenko, PhD (Tech.) O. Kalinin,  
master L. Liakhu, master S. Hanzhela

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.192.2021.223738>

---

*Анотація.* З метою встановлення впливу різних чинників на пошкодження залізобетонних шпал з проміжними рейковими скріпленнями безпідкладкового типу та підвищення їхньої тріщиностійкості виконано експериментальні дослідження, які включали натурні обстеження та випробування статичними і динамічними навантаженнями. У результаті випробувань шпал статичним навантаженням встановлено вплив відхилення арматурного пакета від проєктного положення і висоти перерізів шпал від проєктних величин на показник їхньої тріщиностійкості. У результаті випробувань шпал динамічними

навантаженнями встановлено, що за рахунок підвищення класу бетону ресурс шпал до утворення пошкоджень підвищується. Для шпал з проміжними рейковими скріпленнями безпідкладкового типу рекомендовані заходи щодо зниження пошкоджуваності та підвищення їхнього ресурсу.

**Ключові слова:** залізобетонна шпала, проміжне рейкове скріплення, тріщиностійкість, клас бетону, пошкодження.

**Abstract.** In order to establish the influence of various factors on the reinforced-concrete sleepers with elastic rail fastening systems without base-plate and to increase their crack resistance, experimental researches were carried out, including field examinations and tests of static and dynamic (shock and vibration) loads. The full-scale research was made on rail sections under standard operational modes and on a test track section with sleepers of the concrete grades C32/40, C35/45 and C40/50. As a result of the studies, a weak correlation was noted between the tonnage transported and the number of damaged sleepers. The correlation between the traffic density and the number of damaged sleepers was not identified.

Static load tests on sleepers showed the influence of the deviation of the reinforcement package from the design position and the height of the cross-sections on the indicator of sleepers' crack resistance. For the under-rail section, the displacement of the reinforcement package by 5 mm down causes a decrease in the crack resistance limit by 9%, and the strength's decrease of redistribution by 13 %. The downward displacement, on the contrary, causes an increase in the crack resistance and ultimate strength. A decrease of the rail section from 218 to 185 mm leads to a decrease in the crack resistance limit by 33 %, and the ultimate strength by 48 %.

Dynamic load tests on sleepers showed increasing resource of sleepers

due to an increase in the class of concrete from C32 / 40 to C35 / 45 and, especially, C40 / 50. We have found the incensement of sleepers' resources before damage: in case of shock impacts - by 14 i 32 %, in case of vibration impacts - by 33 i 187 %. Measures are recommended to reduce damage and increase the resource of reinforced-concrete sleepers with elastic rail fastening systems without base-plate.

These measures include:

- the manufacture of concrete sleepers C35 / 45 (compressive strength);
- a recommendation to manufacturers to observe strictly the requirements for the quality of aggregates, in particular, for the content of reactive silica, as well as requirements for the strength and frost resistance of concrete, crack resistance of sleepers;
- revise the downwarding of the norms' of operating time for corrective-tamping work.

**Keywords:** reinforced concrete sleeper, intermediate rail fastening, crack resistance, concrete class, damage.

**Вступ.** Найбільш масовим типом залізобетонних шпал на залізницях України є армовані високоміцним дротом попередньо напружені шпали типу ШІ для клемно-болтових рейкових скріплень марки КБ [1]. У цій конструкції між подошвою рейки та підрейковою площадкою шпала встановлюється сталева підкладка з гумовою прокладкою, яка перерозподіляє навантаження по великій площі бетону. Починаючи з 1990-х рр. на залізницях

України впроваджуються шпали типу СБЗ (рис. 1) для безпідкладкових пружних рейкових скріплень КПП-5, привабливих своїми малодетальністю, низькими металомісткістю та експлуатаційною трудомісткістю. Прототипом цих скріплень були польські скріплення СБ-3. Шпали СБЗ відрізняються від ШІ наявністю замуrowаних у бетон анкерів замість отворів для закладних болтів і більшою висотою підрейкового перерізу.

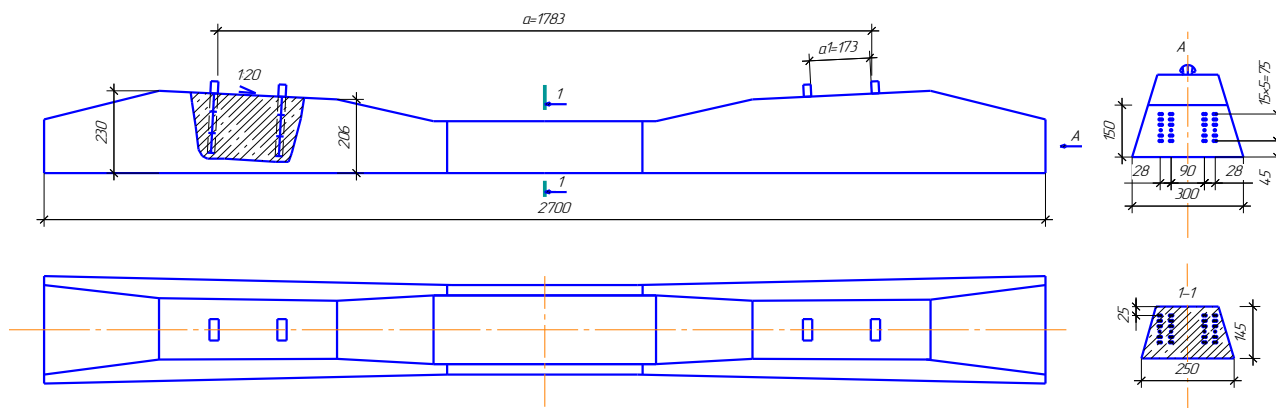


Рис. 1. Конструкція шпал типу СБЗ

Шпали запроєктовані з бетону класу С32/40 на відповідність максимальним навантаженням від рухомого складу 232 кН/вісь [2], проходять вихідний контроль згідно з роботою [1]. Проте під час експлуатації з напрацюванням, яке оцінюється пропущеним тоннажем, у шпалах утворюються тріщини та інші пошкодження (дефекти) [3]. Починаючи з 2000-х рр. відмічаються й нові види пошкоджень, наприклад сітка тріщин, яка, як правило, виникає через 1-3 роки експлуатації, у подальшому розвивається в більші тріщини та призводить до руйнування. У фахівців колійного господарства склалося стійке враження, що шпали типу СБЗ є менш надійними, ніж шпали типу Ш1, а їхня пошкоджуваність залежить від вантажонапруженості ділянки. Через це на залізницях України шпали з безпідкладковими пружними рейковими скріпленнями укладаються лише на ділянках з вантажонапруженістю не більше 30 млн т бруто/р. Проте авторам не вдалось знайти обґрунтованого кількісного аналізу, який би це довів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Тріщини в залізобетонних шпалах відзначались практично з початку їх застосування [4-7]. У роботі [4] обґрунтовано умови, за яких не розкриватимуться силові тріщини, і розроблено найбільш тріщиностійку конструкцію шпал, а в роботах [5-7] з метою забезпечення їхньої тріщиностійкості та

довговічності удосконалено технологію їх виробництва. У роботах [8-12] утворення сітки тріщин у шпалах справедливо пов'язується з корозією бетону від взаємодії луг цементу з реакційно здатними заповнювачами [13-18]. Проте в роботах [4-7] не досліджувались шпали з безпідкладковими пружними скріпленнями. У роботах [8-12] досліджено вплив лужної корозії, а в роботі [19] – динамічних навантажень, проте недостатньо уваги приділено іншим чинникам, що можуть спричиняти пошкодження. Авторам не вдалось знайти даних щодо залежності пошкоджуваності шпал від класу бетону, хоча відомо, що в більшості країн застосовуються більш високі класи бетону, ніж в Україні [19].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Мета дослідження – встановлення впливу різних чинників на пошкодження залізобетонних шпал з проміжними рейковими скріпленнями безпідкладкового типу та підвищення їхньої тріщиностійкості.

Завдання досліджень: виконати статистичний аналіз пошкоджуваності шпал; провести статичні випробування шпал зі штучно створеним відхиленням арматурного пакета від проектного положення і штучно зниженою висотою перерізів; провести випробування моделей шпал із бетону різного класу динамічними ударним та вібраційним навантаженнями; розробити рекомендації щодо підвищення

тріщиностійкості та зниження пошкоджуваності шпал.

**Основна частина дослідження**

*Статистичний аналіз пошкоджуваності шпал.* У результаті натурних

досліджень ділянок колії і статистичного аналізу їхніх результатів встановлено характерні пошкодження шпал, наведені в таблиці.

Таблиця

Розповсюдженість пошкоджень шпал з безпідкладковими пружними рейковими скріпленнями, % шпал з пошкодженням від усіх пошкоджених шпал

Номер	Пошкодження (дефект)	%	Причина пошкодження, примітка
1	Стирання кінця шпали баластом (рис. 2, а)	41,4	Осідання баласту під кінцями шпали та підрейковими площадками, коливання кінців шпали від вертикального динамічного навантаження (призводить до виникнення поперечних тріщин біля анкерів і посередині шпали)
2	Поперечні тріщини посередині шпали (рис. 2, б)	24,1	Осідання баласту під підрейковими площадками, вигин шпали від вертикального навантаження (з часом за цими тріщинами може відбутись злам шпали)
3	Поперечні тріщини біля анкерів (рис. 2, в)	20,0	Утворення тріщин від впливу горизонтальної складової навантаження на анкер. Цьому пошкодженню сприяє осідання баласту під підрейковими площадками (з часом призводить до повного руйнування шпали в зоні анкера)
4	Подовжні тріщини на кінцях шпали (рис. 2, г)	19,4	Нерівномірне осідання баласту під рейковими нитками, утворення дотичних напружень, тріщин і відколу від нерівножорсткості основи (з часом за цими тріщинами може відбутись розколювання шпали)
5	Сітка тріщин на кінцях шпали, рідше – по всій шпалі (рис. 2, д)	18,0	Утворення сітки тріщин від корозії заповнювачів лугами цементу, їх розвиток від позмінного заморожування та відтавання (з часом за цими тріщинами може відбутись повне роздроблення бетону)
6	Поперечні тріщини під підрейковим перерізом	4,5	Осідання баласту під підрейковими площадками, утворення тріщин від вертикального навантаження
7	Подовжня тріщина крізь анкери	2,4	Утворення тріщин від впливу горизонтальної складової навантаження на анкер. З часом за цими тріщинами може відбутись розколювання шпали
8	Подовжні тріщини в середній частині (рис. 2, е)	2,1	Корозія заповнювачів лугами цементу, утворення тріщин від попереднього натягу арматури внаслідок втрати бетоном міцності (призводить до розколювання шпали або повного роздроблення бетону)

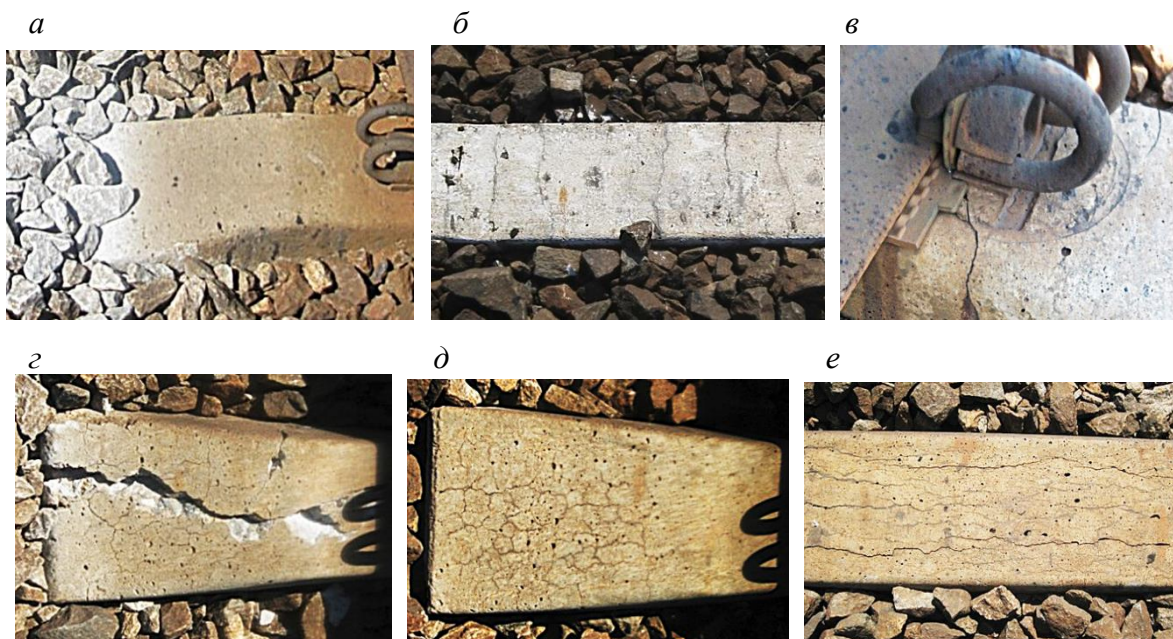


Рис. 2. Пошкодження шпал з безпідкладковими пружними рейковими скріпленнями

Залежність пошкоджуваності шпал від пропущеного тоннажу наведена на рис. 3, 4, а, а від вантажнапруженості ділянки – на рис. 4, б. Спостерігається слабка кореляція, за Чеддоком (квадрат коефіцієнта кореляції  $R^2$  не перевищує 0,3), між пропущеним

тоннажем і кількістю пошкоджених шпал, якій у найбільшому ступені відповідає лінійна залежність. Залежності пошкоджуваності шпал, шт./км×млн т, від вантажнапруженості не виявлено.

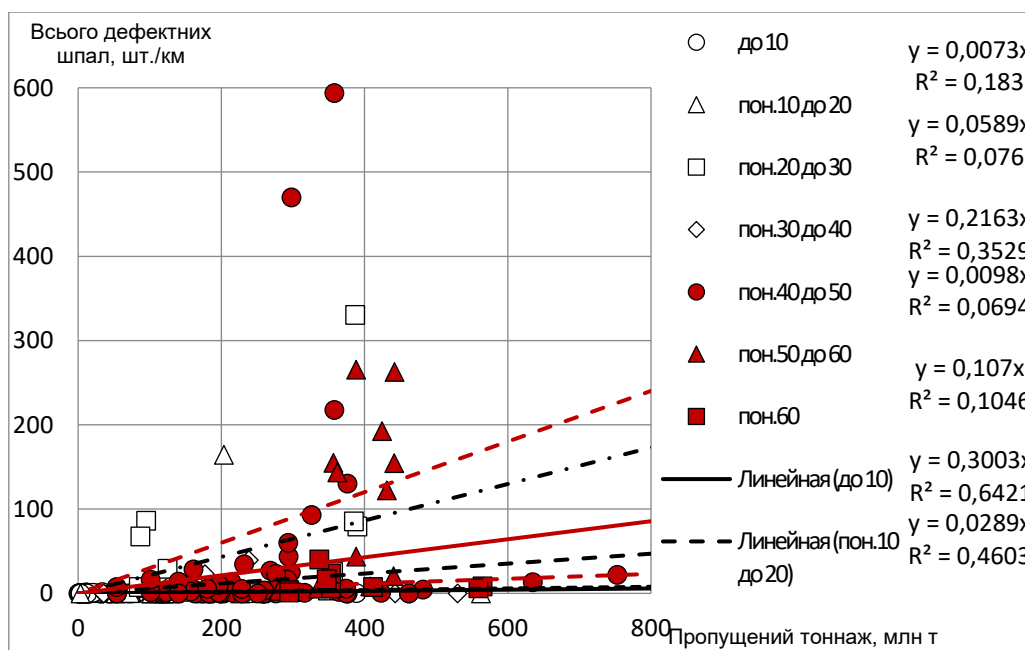


Рис. 3. Залежність кількості дефектних шпал, шт./км, від пропущеного тоннажу, млн т бруто, на ділянках з вантажнапруженістю до 10, понад 10 до 20, понад 20 до 30, понад 30 до 40, понад 40 до 50, понад 50 до 60, понад 60 млн т/р.

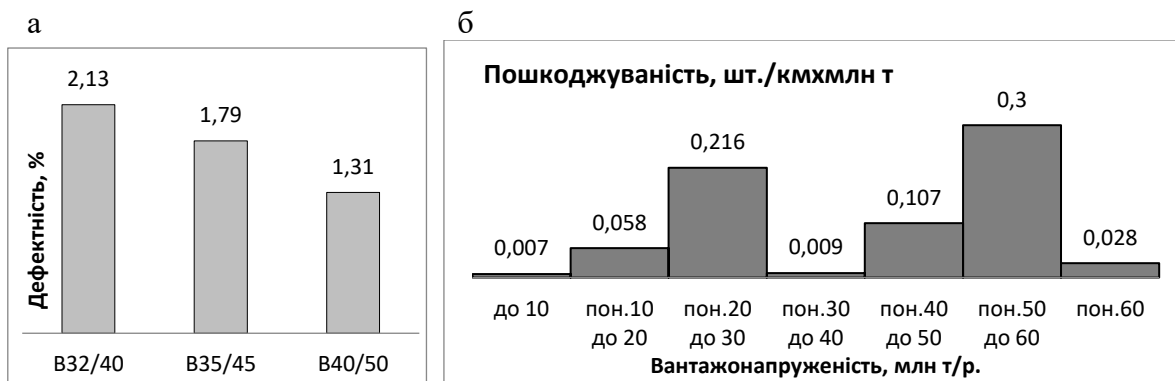


Рис. 4. Залежність кількості шпал з поперечними тріщинами біля анкерів після пропущеного тоннажу 107 млн т бруто від класу бетону (а), залежність пошкоджуваності шпал від вантажнапруженості (б)

*Експериментальні дослідження.* Проведено статичні випробування шпал спеціально виготовленої експериментальної партії (17 шт.) зі штучно створеним відхиленням арматурного пакета від проектного положення і штучно зниженою висотою перерізів. Шпали випробували статичним

навантаженням за допомогою гідравлічного преса за схемами, наведеними на рис. 5.

Результати дослідження тріщиностійкості та міцності шпал експериментальної партії випробуванням статичним навантаженням наведені на рис. 6.

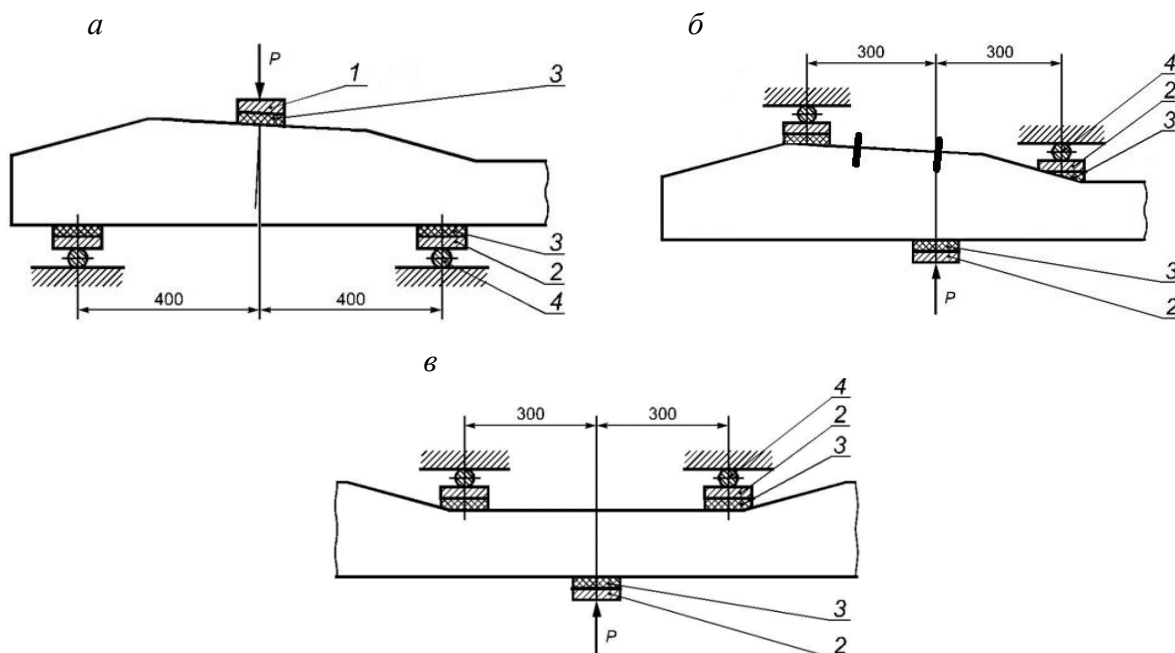


Рис. 5. Схеми випробувань шпали на тріщиностійкість і міцність: а – підрейкового перерізу у стандартному положенні; б – підрейкового перерізу в перегорнутому положенні (сила прикладається під внутрішнім анкером); в – середнього перерізу; 1 – сталевая пластина з ухилом нижньої основи 1:20 розміром 250×100 мм середньої товщини 25 мм; 2 – сталевая пластина розміром 250×100×25 мм; 3 – гумова прокладка розміром 250×100×10 мм; 4 – сталевий валик діаметром 40 мм і довжиною 250 мм

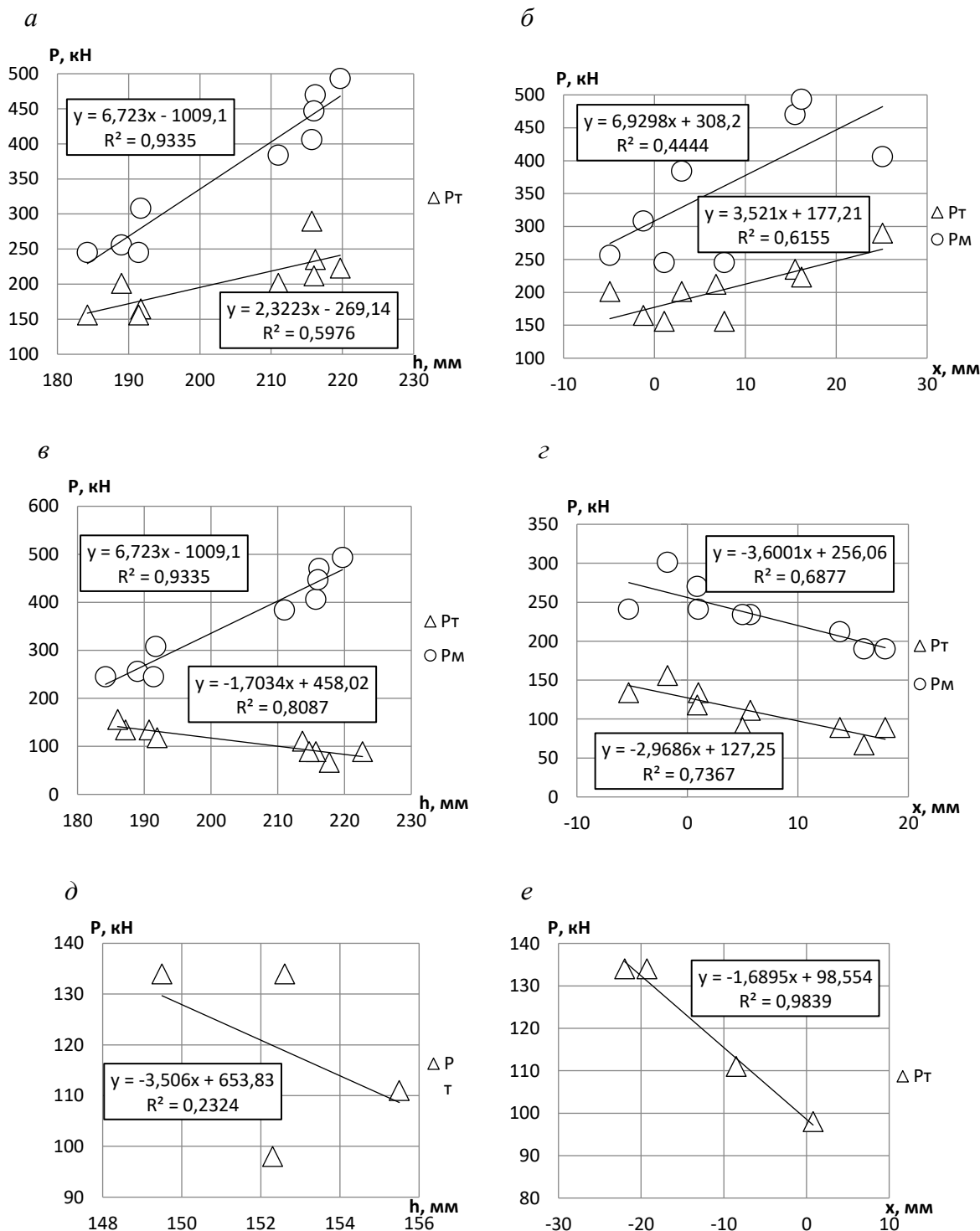


Рис. 6. Залежність границі тріщиностійкості  $P_T$ , кН, і границі міцності  $P_M$ , кН, шпали в разі навантаження: а, б – підрейкового перерізу зверху від його висоти  $h$  (а) і зміщення арматурного пакета  $x$  (б); в, г – підрейкового перерізу знизу від його висоти  $h$  (в) і зміщення арматурного пакета  $x$  (г); д, е – середнього перерізу знизу від його висоти  $h$  (д) і зміщення арматурного пакета  $x$  (е)

Таким чином, внаслідок статичних випробувань встановлено, що в разі навантаження підрейкового перерізу шпал зверху, що відповідає вертикальній складовій навантаження від рухомого складу, зниження висоти підрейкового перерізу від 218 до 185 мм обумовлює зниження границі тріщиностійкості на 33 %, а границі міцності – на 48 %. Зміщення арматурного пакета вгору на 5 мм обумовлює зниження границі тріщиностійкості на 9 %, а границі міцності – на 13 %. Зміщення арматурного пакета вниз обумовлює підвищення границі тріщиностійкості та границі міцності.

У разі навантаження перерізу шпал під внутрішнім анкером знизу, що моделює вплив горизонтальної складової навантаження від рухомого складу на анкер, зниження висоти підрейкового перерізу від 218 до 185 мм обумовлює збільшення границі тріщиностійкості на 75 %, а границі міцності – зниження на 104 %. Зміщення арматурного пакета вгору обумовлює збільшення границі тріщиностійкості та границі міцності. Зміщення арматурного пакета вниз на 25 мм обумовлює зниження границі тріщиностійкості на 40 %, а границі міцності – на 38 %.

У разі навантаження середнього перерізу шпал знизу, що моделює осідання баласту під підрейковим площадками, збільшення висоти середнього перерізу від 145 до 155 мм обумовлює зниження границі тріщиностійкості на 16 %. Зміщення арматурного пакета вгору обумовлює збільшення границі тріщиностійкості.

Проведено випробування моделей шпал із бетону класу С20/25, С32/40, С35/45, С40/50 динамічним (ударним) навантаженням. Випробування проведено за допомогою копра шляхом багатократного скидання вантажу масою 10 кг з висоти 0,4 м (рис. 7, а). Моделі мали вигляд зразків кубів з розміром ребра 150 мм, у які під час формування встановлені анкери. У бетоні під анкером зроблено надрізи (рис. 7, б–е). Внаслідок скидання ударний ніж вантажу

наносив удар по анкеру в напрямку, що відповідає горизонтальній поперечній силі в колії.

Із кожного класу бетону випробувано по 3 моделі. Для кожної моделі та виду пошкодження в ній визначено енергію  $E$ , витрачену на утворення цього пошкодження:

$$E = Nmgh/1000, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість ударів, після яких утворилось пошкодження;

$m$  – маса вантажу, що вільно падає, 10 кг;  
 $g$  – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$h$  – висота падіння вантажу, 0,4 м;

1000 – коефіцієнт переведення джоулів у кілоджоулі.

Критерієм, який характеризує збільшення ресурсу або довговічності шпал за рахунок підвищення класу бетону, визначено збільшення енергії руйнування у процентному відношенні до контролю (бетону класу С32/40):

$$\Delta P_{C35/45} = 100 \times (E_{C35/45} - E_{C32/40}) / E_{C32/40}; \quad (2)$$

$$\Delta P_{C40/50} = 100 \times (E_{C40/50} - E_{C32/40}) / E_{C32/40}. \quad (3)$$

Результати дослідження наведені на рис. 8. Залежності апроксимовані: для первинних пошкоджень (тріщин і відколів) – лінійними залежностями; для значних відколів і повного руйнування – ступеневими.

Аналіз цих залежностей показує, що для первинних пошкоджень кореляція між міцністю бетону та кількістю ударів (енергією), за шкалою Чеддока, є дуже слабкою, для значних відколів ( $R^2 = 0,57$ ;  $R = 0,75$ ) – помітною, для повного руйнування ( $R^2 = 0,92$ ;  $R = 0,96$ ) – дуже високою.

Результати оцінювання збільшення ресурсу наведені на рис. 9, із якого видно, що в середньому ресурс шпал до утворення пошкоджень за рахунок підвищення класу бетону з С32/40 до С35/45 і С40/50 збільшиться на 33 і 187 % відповідно.



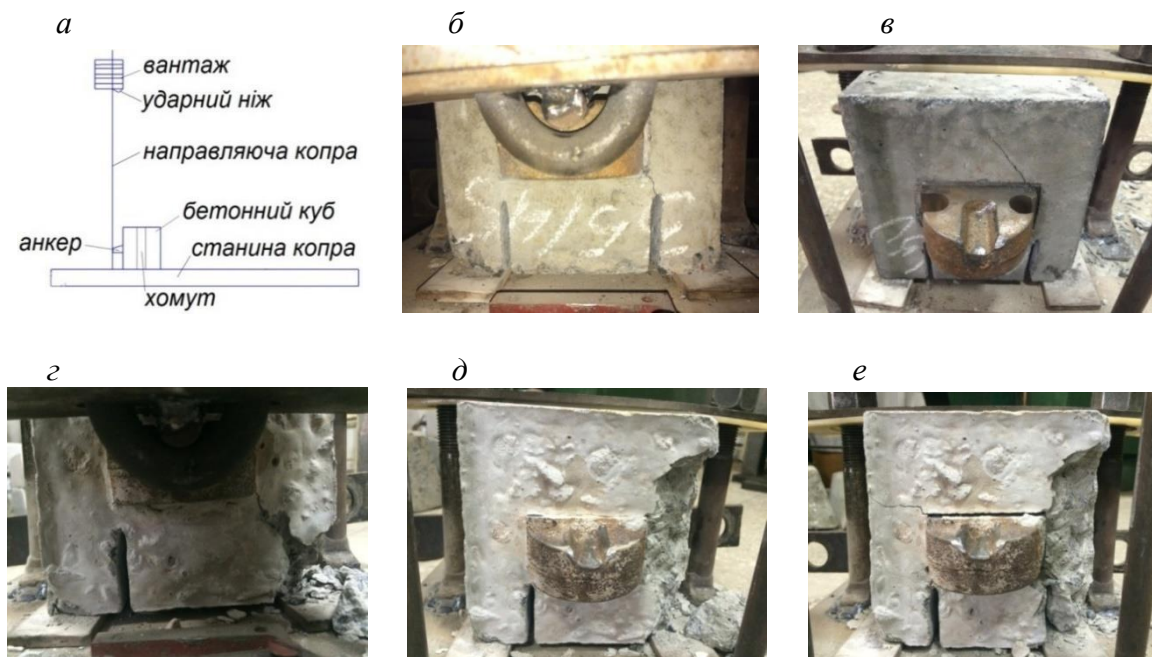


Рис. 7. Випробування моделей шпал динамічним (ударним) навантаженням: *a* – схема копра для випробувань; *б-е* – моделі шпал з пошкодженнями: первинними тріщинами (*б, в*, бетон класу С35/45 і С40/50 відповідно); первинним відколом, значними відколами, повним руйнуванням з відділенням анкера від бетону (*г, д, е* відповідно бетон класу С20/25)

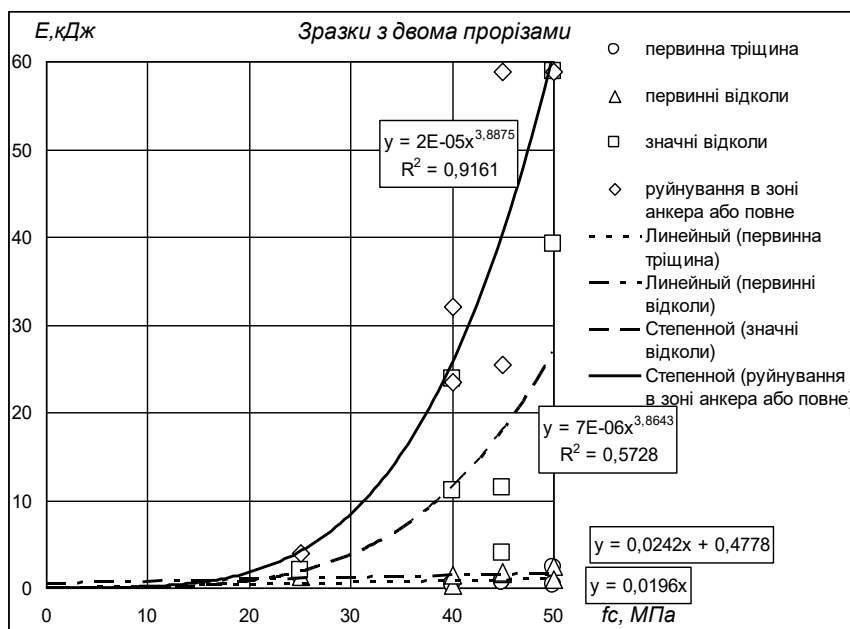


Рис. 8. Залежність енергії  $E$ , витраченої на утворення пошкоджень (первинної тріщини, первинних відколів, значних відколів, повного руйнування), від міцності бетону на стиск  $f_c$

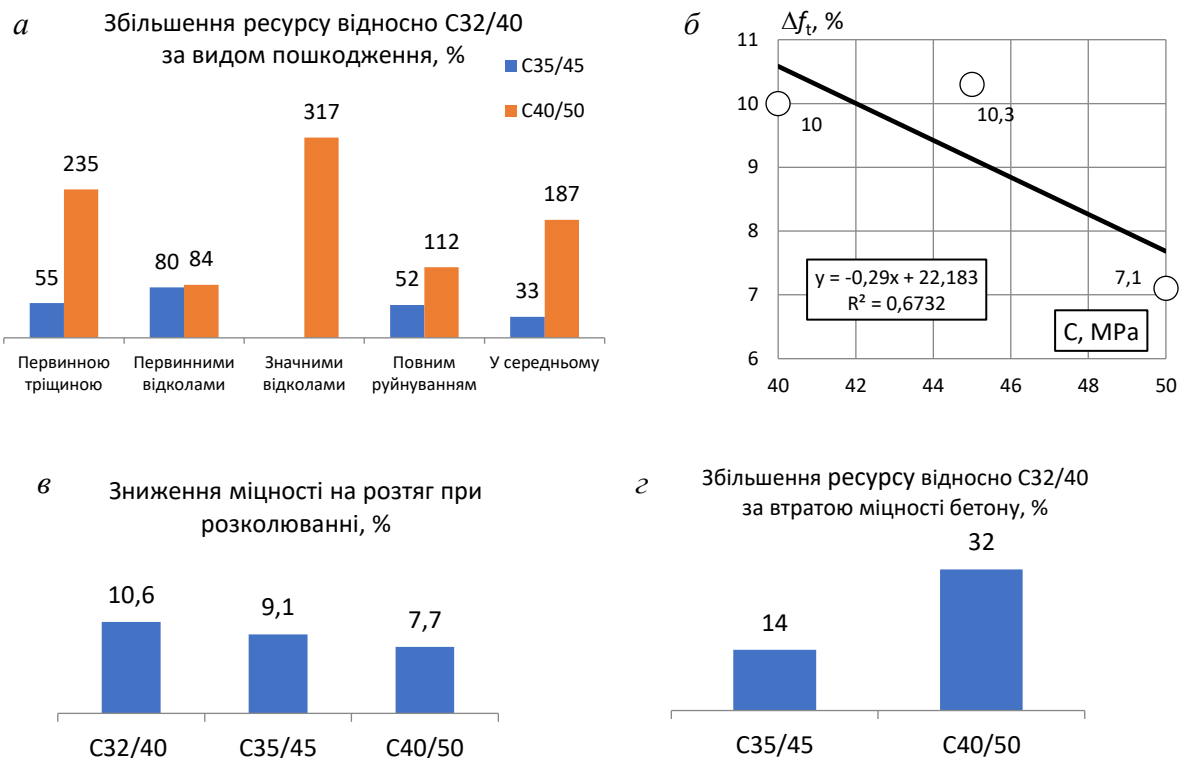


Рис. 9. Результати випробувань моделей шпал динамічним навантаженням: а – ударним – збільшення ресурсу шпал до утворення пошкоджень за рахунок підвищення класу бетону від С32/40 до С35/45 і С40/50; б–г – вібраційним: залежність зниження міцності на розтяг при розколюванні  $\Delta f_t$  від класу бетону С (за показником міцності зразків-кубів, б, в); збільшення ресурсу шпал за втратою міцності бетону при розколюванні за рахунок підвищення класу бетону від С32/40 до С35/45 і С40/50

Проведено випробування моделей шпал із бетону класу С20/25, С32/40, С35/45, С40/50 динамічним (вібраційним) навантаженням. Моделями були напівшпали з фрагментом рейки і зібраною парою скріплень, у якій один полімерний вкладиш замінено на сталевий, що забезпечує безпосереднє передавання горизонтальної складової навантаження на анкер і через нього – на бетон (рис. 10, а, б). Випробування напівшпали з рейкою і парою скріплень проводили вертикальною силою – 22,5 тс з частотою прикладання 9 Гц за допомогою динамічної машини МУП-50, оснащеної підставкою (рис. 10, а), яка забезпечує встановлення напівшпали під кутом 15° до горизонту і відповідне розкладання сили відносно шпали на

нормальну і поперечну складові (аналогі вертикальної і горизонтальної сил у колії).

Після 1,5 млн циклів вібраційного впливу з моделей кільцевим свердлом відбирали керни діаметром 85 мм: із зон біля анкера, у яких динамічний вплив був максимальним (ліворуч на рис. 10, б) і зон, у яких динамічний вплив був мінімальним (праворуч на рис. 10, б). Керни досліджували методом люмінесцентної дефектоскопії, виготовляли з них зразки-циліндри висотою 77–113 мм і визначали за ними найбільш чутливу до впливу мікротріщин фізико-механічну характеристику – міцність на розтяг при розколюванні (рис. 10, г) і її зниження після вібраційного впливу в зоні максимального впливу порівняно з зоною з мінімальним впливом у відсотках.

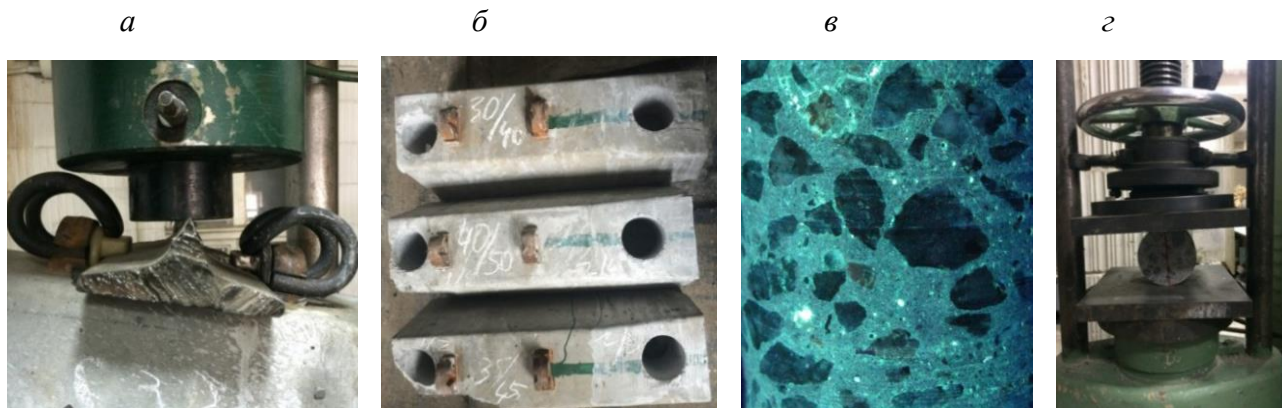


Рис. 10. Динамічні випробування моделі шпали з вузлом скріплення:

- а* – встановлена модель на машині МУП-50 під кутом 15° (правий вкладиш сталевий);  
*б* – моделі після відбору кернів; *в* – вигляд в ультрафіолетовому світлі керна бетону С32/40, обробленого розчином органічного люмінофору жовто-зеленого світіння у вазеліновій олії;  
*г* – визначення міцності бетону на розтяг при розколюванні

За результатами люмінесцентної дефектоскопії встановлена зміна структури бетону класу С32/40 в зоні біля анкера (у лівій верхній частині керна рис. 10, *в*) у вигляді звивистої системи тріщин, що свідчить про початок розшарування бетону біля нього. У бетоні класу С35/45, С40/50 змін структури не відзначено. Зниження міцності в зоні максимального динамічного впливу (рис. 9, *б*) визначене за отриманим рівнянням регресії  $\Delta f = -0,29C + 22,18$  (рис. 9, *б*) склало для бетону класу С32/40 – 10,6 %, С35/45 – 9,1 %, С40/50 – 7,7 %. Відповідно збільшення ресурсу шпал за рахунок підвищення класу бетону можна оцінити як 14 % для С35/45 і 32 % для С40/50.

**Висновки.** У результаті статистичного аналізу пошкоджуваності шпал встановлена слабка кореляція між пропущеним тоннажем і кількістю пошкоджених шпал, якій у найбільшому ступені відповідає лінійна залежність. Кореляції між пошкоджуваністю шпал, шт/км×млн т, і вантажонапруженістю не виявлено.

У результаті випробувань шпал статичним навантаженням встановлено

вплив відхилення арматурного пакета від проектного положення та висоти перерізів шпал від проектних величин на показник їхньої тріщиностійкості в підрейкових і середньому перерізі.

У результаті випробувань шпал динамічними навантаженнями встановлено, що за рахунок підвищення класу бетону з С32/40 до С35/45 і С40/50 ресурс шпал до утворення пошкоджень підвищується відповідно:

- у разі ударних навантажень – на 14 і 32 %;
- вібраційних навантажень – на 33 і 187 %.

Для шпал зі скріпленнями безпідкладкового типу рекомендовано:

- виготовляти їх із бетону класу за міцністю на стиск не менше С35/45;
- підприємствам–виробникам суворо дотримуватись вимог до якості заповнювачів, зокрема до вмісту реакційноздатного кремнезему, а також вимог до показників міцності та морозостійкості бетону, тріщиностійкості шпал, посиливши всі види контролю;
- для ділянок колії на шпалах зі скріпленнями безпідкладкового типу пере-

глянути норми напрацювання на виправно-підбивні роботи в бік зниження, у разі виявлення ознак обтрушування невідкладно

здійснювати підбивання шпал з такими ознаками під час поточного утримання.

### Список використаних джерел

1. ДСТУ Б В.2.6-209:2016. Шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм. Технічні умови. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=64108](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64108).
2. ДСТУ 7571:2014. Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=63585](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63585).
3. Технічні вказівки з використання старопридатних матеріалів верхньої будови колії на залізницях України (ЦП-0150) / НКТБ ЦП Укрзалізниці. Київ, 2006. 56 с.
4. Железобетонные шпалы для рельсового пути / А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев и др.; под ред. А. Ф. Золотарского. Москва: Транспорт, 1980. 270 с.
5. Железобетонные шпалы (вопросы изготовления и эксплуатации) / под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. Труды ХИИТа. 1966. Вып.86. 64 с.
6. Железобетонные шпалы (проблемы надежности и долговечности) / под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. Труды ХИИТа. 1969. Вып.109. 64 с.
7. Технологическое обеспечение долговечности железобетонных шпал / под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. Труды ХИИТа. 1971. Вып.122. 64 с.
8. Проведення досліджень по встановленню причин руйнування залізобетонних шпал та розробка рекомендацій по підвищенню міцності бетону: звіт про НДР / В. В. Рибкін, Ю. Л. Заяц, В. П. Лисняк та ін. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2011. 164 с.
9. Дослідження причин передчасного руйнування залізобетонних шпал Ш1-3 виробництва ПрАТ «Коростенський завод ЗБШ»: звіт про НДР / В. В. Коваленко, С. В. Коваленко, Ю. Л. Заяць. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2015. 33 с.
10. Пшінько П. О. Підвищення надійності залізничних залізобетонних шпал: автореф. дис... канд. техн. наук 05.23.01. Дніпропетровськ: ПДАБА, 2012. 20 с.
11. Провести фізико-хімічні дослідження бетону залізобетонних шпал та надати висновок щодо причин його корозії: звіт про НДР / Л. О. Шейніч, М. Г. Миколаєць, Є. О. Крилов, М. С. Мудрик. Київ: НДІБК, 2019. 129 с.
12. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев, Ф. М. Иванов, С. Модры, П. Шисль; под ред. Ф. М. Иванова. Москва: Стройиздат, 1990. 320 с.
13. Штарк Йохан, Вихт Бернд. Долговечность бетона / пер. с нем. А. Тулаганова; под ред. П. Кривенко. Киев: Оранта, 2004. 295 с.
14. Штарк Йохен. Щелочная коррозия бетона / пер. с нем. А. Тулаганова; под ред. П. Кривенко. Киев, 2010. 166 с.
15. Розенталь Н. К., Любарская Г. В. Коррозия бетона при взаимодействии щелочей с диоксидом кремния заполнителя. *Бетон и железобетон*. 2012. № 1(6). С. 50-60.
16. Исследования основных производственных факторов, определяющих расходы цемента при изготовлении железобетонных конструкций: отчет о НИР / А. Н. Плугин, О. А. Калинин, А. А. Плугин и др. Харків: ХарДАЖТ, 1998. 36 с.
17. Davies G., Oberholster R. E. Alkali-silica reaction products and their development. *Cement and Concrete Research*. 1988. 18 (4). P. 621–635. doi: 10.1016/0008-8846(88)90055-5.
18. Wang H., Gillott J. E. Mechanism of alkali-silica reaction and the significance of calcium hydroxide. *Cement and Concrete Research*. 1991. 21 (4) P. 647–654. doi:10.1016/0008-8846(91)90115-X.

19. Kaewunruen S., Remennikov A. M. Dynamic Crack Propagations in Prestressed Concrete Sleepers in Railway Track Systems Subjected to Severe Impact Loads. *Journal of Structural Engineering*. 2010. 136 (6). doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000152.

---

Плугін Андрій Аркадійович, доктор технічних наук, завідувач кафедри залізничної колії і транспортних споруд Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-6941-2076.

Тел.: (057)730-10-58. E-mail: plugin\_aa@kart.edu.ua.

Мірошніченко Сергій Валерійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-7328-5209. Тел.: (057)730-10-64. E-mail: Miroshnichenko@kart.edu.ua.

Калінін Олег Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-3063-5659.

Тел.: (057)730-10-68. E-mail: kalinin@kart.edu.ua.

Ляху Ліліан Володимирович, магістрант, група 212-зс-319 Українського державного університету залізничного транспорту.

Ганжела Сергій Юрійович, магістрант, група 212-зс-319 Українського державного університету залізничного транспорту.

Plugin Andrii, D. Sc. (Tech.), Professor, Head of Department, Department the Railway Track and Transport Structures, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID ID: 0000-0002-6941-2076. Tel.:(057)730-10-58.

E-mail: plugin\_aa@kart.edu.ua.

Miroshnichenko Sergii, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Building Materials and Structures, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-7328-5209. Tel.:(057)730-10-64.

E-mail: Miroshnichenko@kart.edu.ua.

Kalinin Oleh, PhD (Tech). Associate Professor, Department Building Materials and Structures, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-3063-5659. Tel.:(057)730-10-68.

E-mail: kalinin@kart.edu.ua.

Liakhu Lilian, master, Group 212- RS-319, Ukrainian State University of Railway Transport.

Hanzhela Sergii, master, Group 212- RS-319, Ukrainian State University of Railway Transport.

Статтю прийнято 11.09.2020 р.

## ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)

---

УДК 629.4.016

### КОНЦЕПЦІЯ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛОКОМОТИВІВ

Д-р техн. наук О. С. Крашенінін, асп. Д. О. Мацегора,  
магістри Є. О. Саченко, Я. С. Блохін

### THE CONCEPT OF EXTENDING THE TERMS OF LOCOMOTIVE OPERATION

D. Sc. (Tech.) O. S. Krashenin, postgraduate student D. O Matsegora,  
masters E. O. Sachenko, Y. S. Blokhin

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.192.2021.223743>

---

**Анотація.** Завдяки закладеним при проектуванні локомотивів нормативам, що забезпечують надійність, навіть при досягненні або перевищенні нормативного терміну експлуатації для більш ніж 90 % локомотивів залізничний транспорт продовжує виконувати свої функції. Як показує світовий і вітчизняний досвід експлуатації ТРС, потрібні термінові зміни в усіх ланках промисловості і експлуатації.

У статті розглядається концепція відносно загальних підходів подовження термінів експлуатації локомотивів.

**Ключові слова:** локомотив, тяговий рухомий склад (ТРС), термін експлуатації, подовження терміну експлуатації.

**Abstract.** Due to the reliability standard set during the design and even when it reaches or exceeds the standard service life of more than 90 % of locomotives, railway transport continues to perform its functions. Many years of experience in the operation of locomotives confirm the correctness of the norms laid down in the standards for their design to the design loads and indicators of dynamics and strength of load-bearing structures: the standard stock ratio (2) ensures their operation during the service life.

(25 ... 30 years) In many countries, as part of the extension of the service life of TRS at one time had to solve complex scientific and applied problems. For example, most recently in European countries, rolling stock depreciation was up to 65% of service life. In the interaction of TRS producers and users, the concept of repair and modernization of TRS at the facilities of manufacturers was adopted, and the amount of modernization depended on customer requirements. After the modernization of the extension of the service life of TRS, it could be used on certain sections of the railway or in other types of work: economic, export, shunting. In our country, the long-term operation of the TRS of a small number of series led to the fact that the rolling stock was almost not renewed and the problem of extending the service life was not solved. Now difficult political and environmental factors have led to the fact that after some time it will be dangerous to use rail transport. As the world and domestic experience of TRS operation shows, urgent changes in all links of the industry and operation are necessary. The resource of TRS put in production allows to keep and maneuver in a choice of strategy of management of the maintenance of TRS. In connection with the aging of rolling stock and the development of the assigned service life are relevant to the study of the original and residual resources of the structure. To do this, the standards must be clarified and supplemented on the basis of accumulated operating experience and taking into account modern knowledge to assess

and ensure the necessary durability and safety of operation of vehicles. Based on this, the topic of changing the system of extending the service life is relevant. The article considers the concept of general approaches to extending the service life of locomotives.

**Keywords:** locomotive, traction rolling stock (TRS), service life, extension of service life.

**Вступ.** У багатьох країнах у рамках подовження терміну експлуатації ТРС у свій час довелося вирішувати складні наукові і прикладні завдання.

Наприклад, зовсім недавно в Європейських країнах знос рухомого складу складав до 65 % експлуатаційного ресурсу. У взаємодії виробників ТРС і користувачів була прийнята концепція ремонту і модернізації ТРС на потужностях фірм-виробників, причому обсяг модернізації залежав від вимог замовників. Після модернізації і подовження терміну експлуатації ТРС міг використовуватися на окремих ділянках залізниці або в інших видах робіт: господарській, вивізній, маневровій.

У нашій країні багаторічна експлуатація ТРС невеликої кількості серій призвела до того, що рухомий склад майже не оновлювався і проблема подовження терміну експлуатації не вирішувалась [1, 2].

Зараз складні політичні та економічні фактори призвели до того, що через деякий час буде небезпечно використовувати залізничний транспорт.

Як показує світовий і вітчизняний досвід експлуатації ТРС, потрібні термінові зміни в усіх ланках промисловості і експлуатації.

Закладений при виробництві ресурс ТРС дозволяє триматися і маневрувати у виборі стратегії управління утриманням ТРС.

Виходячи з цього тема і зміст статті щодо концепції подовження термінів експлуатації локомотивів носить актуальний характер.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основні дослідження, присвячені проблемі подовження терміну експлуатації ТРС, можна поділити на такі:

- у роботах [3, 5, 6] розглядаються загальні аспекти старіння і зносу машини, вводяться критерії активної і конструктив-

ної частин вичерпання ресурсу технічних об'єктів, коли і користь зводиться до нуля;

- розглядається питання визначення термінів і обсягу модернізації ТРС як з екологічної, так і технічної точки зору [5, 10];

- у роботах [4; 6, 7, 9, 10] розглядаються питання термінів експлуатації і стратегії оновлення ТРС. На рівні Кабінету Міністрів прийнята «Концепція державної програми реформування залізничного транспорту України» та «Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України» [1, 2];

- розроблені нормативні документи, що розглядають стратегію подовження терміну експлуатації ТРС [7, 8].

Комплексне поєднання досвіду і наукових розробок у цьому напрямі дає можливість плавного утримання на деякий час галузі відновлення локомотивобудівної і локомотиворемонтної промисловостей.

**Мета та завдання дослідження.** Мета роботи полягає в узагальненні досвіду у вирішенні проблеми подовження терміну експлуатації ТРС. Завданням статті є визначення критеріїв з подовження терміну експлуатації.

**Основна частина дослідження.** Багаторічний досвід експлуатації локомотивів підтверджує правильність закладених у нормах для їх проектування основних вимог до розрахункових навантажень і показників динаміки і міцності несучих конструкцій: нормативний коефіцієнт запасу забезпечує їх роботу протягом призначеного терміну служби (25...30 років) з ризиком близько  $10^{-4}$ .

У зв'язку зі старінням рухомого складу і виробленням призначених термінів служби актуальними є дослідження вихідного і залишкового ресурсів конструкції. Для цього норми мають бути уточнені і доповнені на основі накопиченого досвіду експлуатації і з урахуванням сучасних знань

з оцінювання та забезпечення необхідної довговічності і безпеки експлуатації транспортних засобів. Нормативні терміни служби локомотивів, встановлені для електро- і тепловозів постійного і змінного струму, – 30 років, магістральних тепловозів – 20 років, маневрових і промислових тепловозів з електричною передачею – 25 років, з гідравлічною передачею – 20 років. Крім того, нормативні терміни служби призначені технічними умовами заводів-виготівників на поставку локомотивів, зокрема для тепловозів ТЕМ2, ТЕМ2У, ЧМЕЗ всіх індексів вони складають 32 роки, ТЕМ2УМ – 25 років, ТЕМ 18 – 25 років, ТЕ10М (С) – 26 років, ТЕ10 (УТ) – 20 років, 2ТЕ116 випуску до 1985 р. – 35 років, з 1986 до 1988 р. – 26 років, з 1988 р. – 20 років, М62 всіх індексів – 26 років, з 1988 р. – 20 років, ТЕП70 – 20 років.

При закінченні призначеного терміну служби експлуатація об'єкта має бути припинена незалежно від його технічного стану. Рішення про подальше використання об'єкта – направлення в ремонт, списання, перевірка і встановлення нового призначеного терміну – має бути прийнято відповідно до нормативно-технічної документації.

Для визначення можливості та перспективи подальшої надійної експлуатації локомотива понад термін, встановлений технічними умовами, необхідне оцінювання залишкового ресурсу його базових частин (кузова, головної рами, рам візків) з визначенням обсягу додаткових робіт при проведенні поточного (ПР-3) або капітального ремонтів.

Ці завдання вирішуються розрахунково-експериментальними методами на основі накопичених дослідних даних з проведенням стендових випробувань на несучу здатність і втому рам, що експлуатувалися більше 20...25 років, і розрахуванням їхньої довговічності. Концепція визначення залишкового ресурсу, за який прийнято напрацювання об'єкта від моменту контролю до переходу в непрацездатний (або граничний) стан,

заснована на принципі безпечної експлуатації за технічним станом.

Відповідно до прийнятих критеріїв граничного стану і з урахуванням умов експлуатації локомотивів показниками їхнього технічного стану є:

- механічні характеристики матеріалів (межа плинності, межа міцності, межа витривалості, твердість, характеристики мікроструктури матеріалу);

- коефіцієнти запасу міцності (за кількістю циклів до руйнування або напруги при розрахунках на міцність від втоми);

- експлуатаційні параметри (режими роботи, вібрації, деформації та ін.).

У разі значного погіршення характеристик у тривалій експлуатації старих рам порівняно з новими розробляються технічні рішення з технологічного або конструкторського доопрацювання окремих елементів конструкцій (шворневий вузол, кінцеві частини рами та ін.).

За необхідності виконується розрахункова або експериментальна перевірка внесення змін.

Основні етапи і порядок виконання робіт, пов'язаних з продовженням термінів служби локомотивів, показані на блок-схемі (рис. 1). Вона побудована з урахуванням розробок і вимог науково-технічних і наглядових організацій щодо прогнозування ресурсу потенційно небезпечних об'єктів. При цьому враховується також, що екіпажні частини локомотивів в експлуатації відчувають інтенсивні динамічні циклічні навантаження, які сприяють накопиченню втомних пошкоджень у високонавантажених елементах конструкцій екіпажу, зміни властивостей їхніх матеріалів.

Тільки контроль візуальним або неруйнівними методами, навіть якщо при цьому не виявлено дефектів, не є підставою для прогнозування працездатності і тривалої безпечної експлуатації деталі.

Для методичного та правового забезпечення робіт з продовження термінів служби локомотивів розроблено галузевий стандарт. У стандарті дано нововстанов-



ленні або запозиченні з ДСТУ та інших нормативних документів терміни та визначення, викладено процедуру продовження призначеного терміну служби, вказано методи і наведено перелік типових методик технічного діагностування та необхідних досліджень напружено-деформованого стану та визначення залишкового ресурсу конструкцій.

Кінцевим результатом роботи є узгоджене технічне рішення, де вказано необхідний обсяг роботи (ремонт, модернізація), що виконується за діючими або спеціально розробленими нормативно-

технічними документами, а також граничний термін служби локомотива.

У ряді досліджень визначається, що граничний ресурс слід розглядати як термін ремонтного циклу, по закінченні якого підсумковий залишковий ресурс обладнання локомотивів має мінімальне допустиме значення. Однак слід відзначити, що це не завжди відповідає дійсності. За умови дефіциту ремонтного фонду і необхідності виконання експлуатаційних завдань використовують як старе, так і нове обладнання, що перевищує граничне залишкове допустиме значення ресурсу за окремим обладнанням.



Рис. 1. Структурна схема процедури визначення залишкового ресурсу і продовження терміну служби

Тому слід визначити залишковий і граничний ресурс за базовими вузлами і агрегатами локомотивів, а надлишковий ресурс іншого обладнання необхідно підтримувати за рахунок коректування ТО, ПР в післянормативний термін експлуатації.

Розглянемо задачу таким чином, що потрібно сформулювати ремонтний цикл такого терміну  $L_{\text{ПР}}$ , відносно якого

підсумкова різниця між заданими  $L_1, L_2, \dots, L_N$  значеннями ресурсів і шуканими  $l_1, l_2, \dots, l_N$  міжремонтними напрацюваннями обладнання досягнуть мінімуму.

Скористаємося формулою для визначення втрат від недовикористання ресурсів обладнання

$$H(L_{\text{ПР}}) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{C_i(L_i - l_i)}{L_N} - \frac{C_i \Pi_i (L_i - l_i)}{\text{Ц}_{\text{ТРС}}} \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $C_i$  – витрати на відповідне ТО та ПР обладнання локомотива, грн/км;

$\Pi_i$  – середній прибуток на виконану роботу, грн;

$\text{Ц}_{\text{ТРС}}$  – ціна локомотива, грн.

Спростимо цю формулу, залишивши її першу частину, за умови, що нас цікавлять не витрати, приведені на ціну локомотива, а формування його обґрунтованого терміну служби.

Тоді отримуємо формулу функції втрат

$$H(L_{\text{ПР}}) = \sum_{i=1}^N \frac{L_i - l_i}{L_N} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Окремо зазначимо, що при визначенні шуканих значень ресурсів витримується умова  $l_i \leq L_i$ .

Розрахунки прив'язуємо до довговічності базового обладнання локомотива, причому  $L_{\text{ПР}} < L_N$ . Для простоти розрахунків будемо дотримуватися кратності міжремонтних пробігів  $\frac{l_i}{l_{i-1}} = a_i$ , де  $a_i = 1, 2, \dots$  – ціле число.

Відзначимо, що відносне значення  $H(L_{\text{ПР}})$ , як критерій оптимальності

ремонтного циклу, визначає частку підсумкового залишкового ресурсу обладнання, що припадає на одиницю ресурсу локомотива.

Мінімальне значення цієї величини характеризує граничний рівень ресурсу, при якому його подальше використання недоцільно і небезпечно.

Розв'язання поставленої задачі полягає у визначенні значень  $l_1, l_2, \dots, l_N$  напрацювання між замінами обладнання локомотива, що мінімізують цільову функцію. При цьому значення напрацювання базового обладнання локомотива визначає термін ремонтного циклу і відповідне значення граничного ресурсу за умови, що не передбачаються додаткові обсяги робіт щодо оцінювання його технічного стану і стану окремого обладнання.

Визначити термін служби, за який локомотива реалізує свій ресурс, можна з рівняння

$$T = \frac{L_{\text{ПР}}}{365 \cdot S},$$

де  $S$  – значення середньодобового пробігу локомотива, км/доба.

Для пошуку оптимальних варіантів ремонтного циклу, що визначає обґрунтований ресурс локомотива, будемо дотримуватися умов, що наведені в наказах

АТ «Укрзалізниця», допускають перепробіги для поточних ремонтів і КР у границях 20 %. Для основних серій локомотивів

2ТЕ116, 2ТЕ10М та 2ТЕ10В маємо значення пробігів, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення пробігів для тепловозів 2ТЕ116, 2ТЕ10М, 2ТЕ10В

Вид ТО, ПР, КР	Пробіг, тис.км		
	Мінімальний $L_{\min}$	Нормативний $L_H$	Максимальний $L_{\max}$
ПР-1	42,5	50	60,5
ПР-2	127,5	150	180
ПР-3	255	300	360
КР-1	720	900	1080
КР-2	1440	1800	2160

Відповідно до цих значень міжремонтних пробігів були побудовані міжремонтні цикли для 10 можливих варіантів їх організації. Інші варіанти побудовані за умови зміни  $L_{\text{ПР}1} = 3000$  тис. км до  $L_{\text{ПР}10} = 4500$  тис. км. Для цих варіантів визначено термін  $T$  і граничний ресурс  $L_N = L_{\text{ПР}}$  для значень середньодобового пробігу  $S_1 = 300$  км/доба,  $S_2 = 350$  км/доба,

$S_3 = 400$  км/доба, або у відносних значеннях  $\bar{L}_{\text{ПР}} = \bar{1};1,5$ ;  $\bar{S}_d = \bar{1};1,33$ .

У табл. 2–4 визначено кількість ТО, ПР для кожного з варіантів і відповідні витрати на ТО, ПР, непланові ремонти, паливно-мастильні матеріали. У табл. 5 наведено значення  $H(L_{\text{ПР}})$  для цих варіантів ремонтного циклу.

Таблиця 2

Терміни служби локомотивів залежно від середньодобового пробігу

$L_{\text{ПР}}$ , тис. км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
$T$ при $S_1 = 300$ км/доба	27,40	28,31	29,22	30,14	31,05	33,79	35,62	37,44	40,18	41,10
$T$ при $S_2 = 350$ км/доба	23,48	24,27	25,05	25,83	26,61	28,96	30,53	32,09	34,44	35,23
$T$ при $S_3 = 400$ км/доба	20,55	21,23	21,92	22,60	23,29	25,34	26,71	28,08	30,14	30,82

Так, для першого варіанта були прийняті значення  $l_i$ :  $56 \cdot 10^3$  км,  $57 \cdot 10^3$  км,  $50 \cdot 10^3$  км і відповідно визначено значення  $H(L_{\text{ПР}})$  за формулою

$$H(L_{\text{ПР}}) = \frac{(60 - l_i) \cdot 25 + (120 - 2 \cdot l_i) \cdot 12 + (240 - 4 \cdot l_i) \cdot 8}{3000} + \frac{(720 - 12 \cdot l_i) \cdot 2 + (1440 - 24 \cdot l_i) \cdot 1 + (3000 - 2880)}{3000} = 0,212.$$

Таблиця 3

Витрати на плановий ремонт локомотивів

$L_{\text{ТР}}$ , тис. км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
$\sum C_{\text{пл}}$ , тис. грн	7815	7815	7695	7695	7695	8415	8775	8775	8295	8795

Таблиця 4

Витрати на позапланові ремонти

$L_{\text{ТР}}$ , тис. км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
$\sum C_{\text{пл}}$ , тис. грн	360	360	216	216	216	432	432	540	288	540

Таблиця 5

Витрати від недовикористання ресурсів обладнання

$L_{\text{ТР}}$ , тис. км	3000	3100	3200	3300	3400	3700	3900	4100	4400	4500
$H(L_{\text{ТР}})$ при $S_1=300$ км/доба	0,212	0,237	0,136	0,205	0,228	0,547	0,304	0,184	0,21	0,204
$H(L_{\text{ТР}})$ при $S_2=350$ км/доба	0,169	0,196	0,072	0,142	0,168	0,498	0,232	0,134	0,146	0,62
$H(L_{\text{ТР}})$ при $S_3=400$ км/доба	0,126	0,154	0,008	0,08	0,107	0,449	0,159	0,084	0,082	0,12

На підставі інших результатів розрахунків на рис. 2, 3 для розглянутих варіантів побудовано залежність  $H(L_{\text{ТР}})$ . Мінімум

функції  $H(L_{\text{ТР}})$  отриманий для варіанта 3 ( $T = 22 \div 29$  років), для 8 і 9 варіантів відповідно  $T = 28 \div 37$  років і  $T = 30 \div 40$  років.

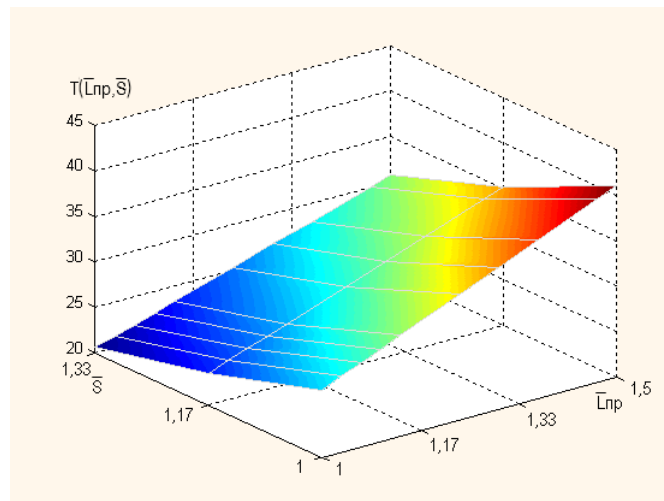


Рис. 2. Геометрична інтерпретація траєкторії еволюції ЖЦ в післянормативний термін експлуатації, де  $T$  – термін служби, р.;  $\bar{S}$  – питомий середньодобовий пробіг;

$\bar{L}_{\text{ТР}}$  – відносний ресурс локомотива

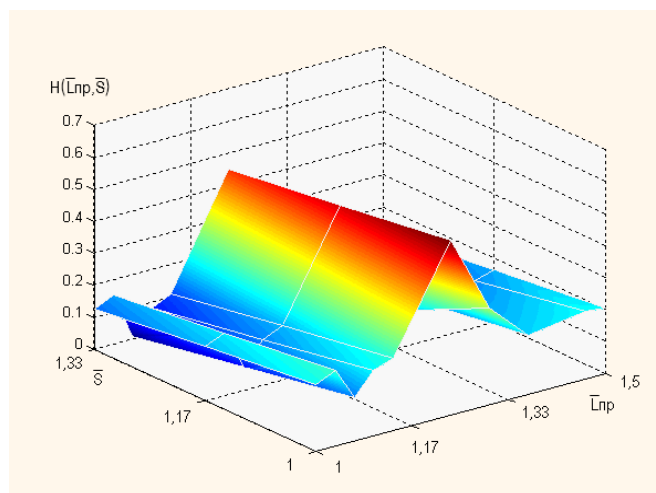


Рис. 3. Динаміка критерію оптимальності довговічності ресурсу обладнання від пробігу (терміну служби) при різній інтенсивності використання локомотивів в експлуатації, де  $H$  – критерій оптимальності;  $\bar{S}$  – питомий середньодобовий пробіг;  $\bar{L}_{\text{ЛПР}}$  – відносний ресурс локомотива

### Висновки

1. Подовження терміну експлуатації за наведеним критерієм визначає, що за відповідних умов його можна подовжити з 22 до 40 років, оскільки ресурс локомотивів залежить від інтенсивності використання (величина середньодобового пробігу  $S_d$ ) і може змінюватись у межах 7÷10 років.

2. Остаточним кроком при визначенні граничного терміну експлуатації локомотивів слід вважати економічні витрати (рис. 2). Дотримання цих вимог дозволить ефективно використати парк локомотивів при подовженні терміну його експлуатації за умови відповідності необхідним технічним характеристикам.

### Список використаних джерел

1. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки: постанова Кабінету Міністрів України 16 грудня 2009 р. № 1390. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1390-2009-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.08.2020).
2. Програма оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012-2016 роки: постанова Кабінету Міністрів України 1 серпня 2011 р. № 840. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/840-2011-%D0%BF#Text> (дата звернення: 10.08.2020).
3. Estimation of the influence of the interaction of factors pairs on the coefficient of route execution possibility / V. Puzyr, O. Krashenin, D. Zhalkin, Y. Datsun, O. Obozny. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. № 659. 012057. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/659/1/012057> (last access: 10.08.2020).
4. Авдонькин Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособ. для вузов. Москва: Транспорт, 1985. 215 с.
5. Белман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. Москва: Наука, 1965. 460 с.
6. Вознюк В. И., Пушкарев И. Ф. Надежность тепловозов. Москва: Транспорт, 1991. 155 с.
7. Головатый А. Г., Лебедев Ю. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов за рубежом. Москва: Транспорт, 1977. 158 с.

8. ГОСТ Р 52944–2008. Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. термины и определения. Действ. от 2008-08-28. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/475/47503.pdf> (дата обращения: 10.08.2020).

9. ГОСТ Р 53334–2009. Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. Общие требования. Действ. от 2009-05-19. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200070163> (дата обращения: 10.08.2020).

10. Крашенінін О. С., Обозний О. М. Визначення граничних термінів довговічності тягового рухомого складу. Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. Харків: УкрДАЗТ, 2011. Вип. 122. С. 134-140.

11. Крашенінін О. С., Фалендиш А. П. Модель визначення термінів заміни рухомого складу. *Вісник Східноукраїнського національного університету*. 2005. № 3(85). С. 126–130.

---

Крашенінін Олександр Семенович, доктор технічних наук, професор кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-7462-3372.

Тел.: +38 (097) 991-70-99. E-mail: [Alsem1512@gmail.com](mailto:Alsem1512@gmail.com).

Мацегора Дмитро Олександрович, аспірант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: +38 (066) 144-56-12. E-mail: [macegoradmitry@gmail.com](mailto:macegoradmitry@gmail.com).

Саченко Є. О., магістрант групи 213-ЛЛГ-Д19 Українського державного університету залізничного транспорту.

Блохін Я. С., магістрант групи 213-ЛЛГ-Д19 Українського державного університету залізничного транспорту.

Krasheninina Alexander Semenovich, D. Sc. (Tech.), Professor, Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-7462-3372. Tel.: +38 (097) 991-70-99.

Email: [Alsem1512@gmail.com](mailto:Alsem1512@gmail.com).

Matsegora Dmytro Oleksandrovych, Postgraduate Student, Department of Operation and Repair of Rolling Stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: +38 (066) 144-56-12. Email: [macegoradmitry@gmail.com](mailto:macegoradmitry@gmail.com).

Sachenko Y.O., master 213-LLG-D19 of the Ukrainian State University of Railway Transport.

Blokhin J.S, master, group 213-LLG-D19 of the Ukrainian State University of Railway Transport.

Статтю прийнято 09.09.2020 р.

**УДК 656.23.03**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ВАГОНРЕМОНТНОГО КОМПЛЕКСУ І БЕЗПЕКИ РУХУ**

**Канд. техн. наук І. О. Баранов, старш. викл. М. В. Мірошникова**

## **STUDY PERFORMANCE INDICATORS OF CAR REPAIR COMPLEX AND TRAFFIC SAFETY**

**PhD (Tech.) I. Baranov, Sr. lecturer M. Miroshnykova**

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.192.2021.223771>

---

*Анотація.* У статті застосовується алгоритм систематизації і структуризації факторів, що впливають на умови безаварійної роботи вагоноремонтного комплексу полігону дослідження. Сформульовано основні фактори, що входять до складу моделі безпечної експлуатації рухомого складу. Побудовано стохастичну модель імовірності виникнення випадків порушення безпеки руху у вагонному господарстві. Розроблене конструктивне рішення моніторингу ступеня професіоналізму фахівців вагонного господарства дозволяє

підвищити рівень безпеки руху на залізничному транспорті. Визначено простір показників інтелектуальної та технологічної безпеки функціонування вагонного господарства.

**Ключові слова:** вагонне господарство, безпека руху, моделювання, інтелектуальна безпека, технологічна безпека, підготовка фахівця.

**Abstract.** The article analyzes structure of cases lack cars, which includes technical aspects and factors labor discipline, attitude managers and executors to issues traffic safety. It has been established that 58% cases marriage are technological nature, 40% are due human factor and only 2% are due to technical reasons. The block diagram of systematization and structuring factors influencing conditions trouble-free work car-repair complex research range is developed and constructed. The main factors are part model safe operation of rolling stock are formulated. Model distribution basic lacks functioning car economy is constructed. Aspects application are determined. A model for monitoring degree professionalism of railway specialists as tool improve traffic safety in railway transport has been developed. The space indicators of intellectual and technological safety functioning car economy branch is defined. To increase length warranty areas, it is planned to create maintenance point system of network value, which has latest maintenance technology. The main types of marriage are: malfunction body and frame car; violation integrity brake line; malfunctions air distributors; adjustment brake lever transmission; malfunction automatic regulators car modes; auto-coupling breakage and cases self-disengagement; axle box failure. Checking consistency theoretical distribution of empirical frequencies is necessary establish adequacy mathematical model to real object study, namely failure rolling stock, which contributes occurrence cases of traffic safety violations. To select and substantiate theoretical laws distribution, the most common faults rolling stock on railway were investigated and statistical models distribution random variables over time were built. According block diagram of systematization and structuring factors influencing conditions accident-free operation car repair complex research site, main factors are 6. Each these factors is broken down into factors more specific content, and they are broken down into more detailed factors. Each factors is characterized by one or another aspect application depending on root cause and nature of occurrence (technical, technological, organizational).

**Keywords:** wagon economy, traffic safety, modeling, intellectual safety, technological safety, specialist training.

**Вступ.** Забезпечення безаварійної роботи вагонного господарства залізниць, неможливе без надійної і ефективної роботи вагонного парку, що цілком обґрунтовано, можна назвати основою економіки всієї залізничної галузі. Вагон – ключова ланка в ланцюзі організації перевізного процесу. Технічний стан його багато в чому визначає надійність і ефективність роботи галузі, виконання найважливіших державних завдань, пов'язаних з розвитком і функціонуванням промисловості, а також підтримкою соціально-необхідного для країни пасажирського комплексу.

Останнім часом істотно змінилися техніко-економічні умови роботи вагонного парку [1, 2]. Внаслідок проведеної

державної тарифної політики знизилася потреба у вагонному парку, практично була припинена закупівля нових вагонів, широко застосовувалася практика повторного використання вузлів і деталей, що знімаються з облікового надлишкового вагонного парку. Однак, незважаючи на деякі позитивні моменти, це стало стримуючим фактором при вступі економіки у фазу зростання і збільшення обсягів перевезень.

В умовах зростання вантажообігу велике значення має забезпечення гарантії безвідмовного проходження вагонів від навантаження до вивантаження. Основним фактором для вирішення цього завдання є стійка робота пунктів підготовки вагонів

(ППВ) і пунктів поточного ремонту (ППР), що забезпечують якісну підготовку вагонів до перевезень.

Для збільшення протяжності гарантійних ділянок передбачено створення системи ПТО мережевого значення, які мають новітню технологію технічного обслуговування. Основними видами несправностей є:

- несправність кузова і рами вагона;
- порушення цілісності гальмівної магістралі;
- несправність гальмівної важільної передачі;
- несправність автоматичних регуляторів режимів гальмування;
- обрив автозчеплення і випадки саморозчеплення;
- несправність буксового вузла.

Аналіз структури вищезазначених випадків несправностей, крім технічних аспектів, характеризує і стан трудової дисципліни, ставлення керівників і виконавців до питань забезпечення безпеки руху [2, 3].

Кількість відмов у роботі технічних засобів є одним з найважливіших показників рівня безпеки руху поїздів, оскільки ці порушення безпеки призводять до затримок поїздів на перегонах і станціях, зривів передачі вагонів по стиках, впливають на загальну експлуатаційну ситуацію на залізниці.

За роботами [3, 4], 58 % випадків несправностей носять технологічний характер, 40 % припадає на людський фактор і лише 2 % відбуваються через технічні причини. Така ситуація властива практично всім господарствам залізничної галузі. Не є винятком і вагонне господарство. Тому виникає необхідність у систематизації та структуризації факторів, що впливають на рівень якості ремонту і обслуговування рухомого складу з урахуванням вимог безпеки руху. Причому найбільшій увазі потребують фактори технологічного та організаційного аспектів [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішенню питань підвищення

безпеки руху на залізничному транспорті присвячені роботи вчених Бабаніна О. Б., Бутько Т. В., Курган М. Б., Куліченка А. Я., Никуліної Н. О., Пузиря В. Г., Розенберга І. Н., Соколова А. М., Салли Дж., Тартаковського Е. Д., Шмарова П. П. та ін.

У роботах Розенберга І. Н., Замишляєва А. М. розглянуто методи і геоінформаційні технології підвищення безпеки руху в службі перевезень [1].

Певний інтерес мають роботи Шабаліна М. Г., які відображують умови функціонування, ознаки і аспекти багаторівневої системи управління і забезпечення безпеки руху поїздів, але не містять алгоритму моніторингу організаційних і профілактичних заходів щодо підвищення безпеки руху у вагоноремонтному комплексі.

У роботах Зябірова Х. Ш. відзначено, що система управління безпекою на залізничному транспорті забезпечує найвищі показники безпеки порівняно з іншими видами транспорту.

Вченими приділяється значна увага оцінюванню безпеки несучих вагонних конструкцій [2, 3]; надійності рухомого складу [6]; організації технічного обслуговування і ремонту вагонів, діяльності вагоноремонтних підприємств [7, 8], але не досліджені ймовірності виникнення випадків порушення безпеки руху у вагонному господарстві через несправності роlikової букси.

Робота [8] присвячена розвитку і впровадженню інформаційних технологій залізничної галузі, формуванню відповідної бази вихідних даних, але не містить методів розвитку відповідної інформаційної індустрії на транспорті (на галузевому і державному рівнях) і потребує систематизації і структуризації факторів, що впливають на умови безаварійної роботи вагоноремонтного комплексу.

У роботі [9] розглянуто розробки компанії Siemens, які виконані для залізниць Німеччини і Китаю на концептуальній основі високошвидкісного поїзда ICE3 з



урахуванням вимог до безпеки і надійності рухомого складу, але потребують уточнення методи розвитку прогнозування і зменшення випадків порушення безпеки руху.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою роботи є вирішення питань безпечної експлуатації рухомого складу і реалізація організаційних заходів щодо підвищення безпеки руху (на прикладі вагоноремонтного комплексу).

Для досягнення сформульованої мети потрібно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз структури випадків несправностей вагонів на мережі залізниць;
- побудувати модель імовірності виникнення випадків порушення безпеки руху у вагонному господарстві;
- розробити алгоритм систематизації і структуризації факторів, що впливають на умови безаварійної роботи вагоноремонтного комплексу;
- побудувати конструктивне рішення моніторингу ступеня професіоналізму фахівців вагонного господарства з метою підвищення безпеки руху на залізничному транспорті;
- визначити показники інтелектуальної та технологічної безпеки функціонування вагонного господарства.

**Основна частина дослідження.** Математичне моделювання випадкових процесів, вибір і обґрунтування теоретичних законів розподілу обраних параметрів є найбільш ефективним інструментом в інженерному дослідженні [10]. Математична модель може включати випадкові компоненти, що задовольняють статистичні закони. Такі моделі, як правило, називаються ймовірнісними або стохастичними і застосовуються для дослідження різних факторів і параметрів, що змінюються в часі (кількість відмов технічних засобів, затримки поїздів і т. д.).

Будь-яка аварійна ситуація має відповідні передумови і певні умови для її виникнення [11, 12], тому необхідно прогнозувати не тільки аварійні ситуації,

але і конкретні види несправностей, що сприяють їх виникненню.

Для визначення частки ймовірності переходу випадків порушень безпеки руху з одного стану в інший, а також для виявлення справжньої причини останніх у роботі обрано, обґрунтовано і досліджено за допомогою математичного апарату теоретичні закони емпіричного розподілу найбільш значущих несправностей рухомого складу:

- несправність роздільника повітря;
- несправність гальмівної магістралі;
- несправність гальмівної важільної передачі внаслідок неправильного регулювання;
- спрацювання автогальм;
- несправність роликової букси.

Всі ці види несправностей, за результатами рангової кореляції, класифікуються як випадок браку в роботі і належать до позиції «Відчеплення вагона від вантажного поїзда на шляху прямування» і можуть з'явитися першопричиною будь-яких випадків порушення безпеки руху (ПБР) від випадку несправностей у роботі до аварії і катастрофи [11, 12].

Статистичне дослідження динаміки випадків відмови технічних засобів, визначення параметрів його емпіричного розподілу, вибір і обґрунтування теоретичного закону виконувалися для наведених видів несправностей.

Обсяг вибірки розглянуто за останні 10 років у період з 2010 по 2020 р. і визначено як

$$n \geq \frac{x}{4 \cdot \varepsilon^2}, \quad (1)$$

де  $x$  – величина, що обирається з таблиць значень інтервалу ймовірностей залежно від прийнятого ступеня достовірності спостережень,  $P(x)=1,2$ ;

$\varepsilon$  – значення допустимої помилки.

Визначено такі параметри емпіричного розподілу:

- зона ймовірності розподілу випадкових величин  $R$ ;
- величина інтервалу  $h$ ;
- математичне очікування  $M(X)$ ;
- дисперсія  $D(X)$ ;
- середньоквадратичне відхилення  $\sigma$ ;
- асиметрія  $A$ ;
- ексцес  $E$ ;
- коефіцієнт варіації  $v$ .

Емпіричний розподіл характеризується середнім значенням  $x^*$  (математичним очікуванням або центром групування)

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2)$$

де  $x_i$  – значення випадкової величини;

$\sum_{i=1}^n m_i = N$  – загальна кількість спостережень.

Величина розсіювання вибірових значень навколо їхнього середнього значення характеризується емпіричною дисперсією  $S^2$

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n m_i (x_i - x^*)^2 = a - x^{*2}, \quad (3)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot m_i}{N}, \quad (4)$$

де  $m_i$  – частоти, які відповідають значенням випадкової величини.

Середнє квадратичне відхилення ( $\sigma = 5,96$ ) визначається за методикою, поданою в роботах [10, 12].

Коефіцієнт варіації

$$v = \frac{\sigma}{x^*}. \quad (5)$$

Криві характеризуються асиметрією  $A$  і ексцесом  $E$ :

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (x_i - x^*)^3}{\sigma^3}, \quad (6)$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (x_i - x^*)^4}{\sigma^4} - 3. \quad (7)$$

Асиметрія характеризує симетричність кривої відносно центра групування (якщо  $A = 0$ , то крива симетрична, якщо  $A > 0$ , крива має позитивну асиметрію, якщо  $A < 0$  – негативну).

Ексцес характеризує крутість кривої. Як крива з  $E=0$  прийнята крива нормального розподілу, яка має щільність імовірності

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}. \quad (8)$$

Перевірки відповідності емпіричних розподілів несправностей теоретичним законам виконані за критеріями згоди Пірсона  $P(x)^2$  і Колмогорова  $P(\lambda)$ . Вважається, що емпірична крива узгоджується з теоретичною, якщо ймовірність згоди  $P(x)^2 \geq 0,05$  [10].

$$\chi^2 = \sum \frac{|m_i - m_i'|^2}{m_i'}, \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{\sum (m_i - m_i')}{N} \cdot \sqrt{N}, \quad N = \sqrt{D}. \quad (10)$$

Кількість ступенів свободи

$$k = n - r - 1, \quad (11)$$

де  $n$  – кількість інтервалів дослідження;

$r$  – кількість параметрів закону.

$$n = \frac{R}{1 + 3,2 \lg \sum m_i}. \quad (12)$$

У наш час кількість несправностей на мережі залізниць скорочується за рахунок впровадження нових технічних засобів і більш досконалої технології огляду і ремонту рухомого складу [2, 13], але залишається незначна ймовірність переходу з одного стану випадків ПБР в інший за рахунок виникнення факторів, що сприяють цьому процесу.

У більшості випадків несправність букси виявляється і ліквідується на першій стадії огляду рухомого складу. З огляду на технічні фактори (втома металу, фізичний і моральний знос технічних засобів), технологічні (порушення або недотримання технології огляду і ремонту рухомого складу) і організаційні (недостатні теоретичні знання і практичні навички, людський фактор) несправність букси може призвести як до особливого випадку, так і аварії і катастрофи.

Відповідно до теорії ймовірностей при класичному визначенні ймовірність події визначається рівнянням

$$P(A) = \frac{m}{n}, \quad (13)$$

де  $m$  – кількість елементарних результатів випробувань, які сприяють появі події;

$n$  – загальна кількість можливих елементарних результатів випробувань.

Ймовірність випадку браку – відношення кількості елементарних результатів випробування, що сприяють браку, до загальної кількості можливих елементарних випробувань. Тоді придатними факторами

або результатами випробування для появи випадку браку будуть такі:

- недостатній рівень мастила в буксових вузлах;
- сторонні вклучення в мастило буксового вузла;
- збільшення радіального зазора між роликами підшипників;
- злам сепаратора.

Усі ці фактори сприятимуть процесу виникнення випадків ПБР, а тому попередження появи саме цих факторів зведе до мінімуму ймовірність події даного виду браку. Поява події несправності букси піддається логарифмічно-нормальному закону розподілу. Результати перевірки узгодженості теоретичного розподілу емпіричним частотам виконані за критерієм узгодження Пірсона  $\chi^2$  і Колмогорова  $\lambda$ , що контролює узгодженість гіпотетичних імовірностей  $p_k = p(E_k)$  випадкових подій  $E_1, E_2, \dots, E_n$  з їхніми відносними частотами  $n_k/N$  у вибірці з  $N$  незалежних подій.

На основі результатів розрахунку, вигляду експериментальної кривої, значень її параметрів встановлено, що зміна обсягів випадків несправностей роликової букси на полігоні дослідження підкорюється логарифмічно-нормальному закону розподілу. На рис. 1 подано емпіричну і теоретичну криві.

Логарифмічно-нормальний закон – двопараметричний,  $r = 2, k = 7$ . Вирівняні за логарифмічно-нормальним законом значення визначені з виразу таблиці. Перевірка узгодженості теоретичного розподілу емпіричним з частотами необхідна для встановлення адекватності математичної моделі реальному об'єкту дослідження, а саме несправностей рухомого складу, що сприяє появі випадків ПБР.

Числові характеристики варіаційного ряду розподілу несправностей і основні параметри емпіричного розподілу такі: математичне очікування випадкової величини певної несправності; дисперсія; відхилення; коефіцієнт варіації, коефіцієнт нерівномірності (таблиця). Дані числові

характеристики дозволяють прогнозувати розташування випадкової величини несправностей рухомого складу і ймовірність появи її в тому чи іншому інтервалі зони розсіювання відмов технічних засобів

[14]. Результати досліджень можуть застосовуватися інженерно-технічними працівниками служб, причетних до аналізу і обробки причинно-наслідкових зв'язків і передумов випадків ПБР.

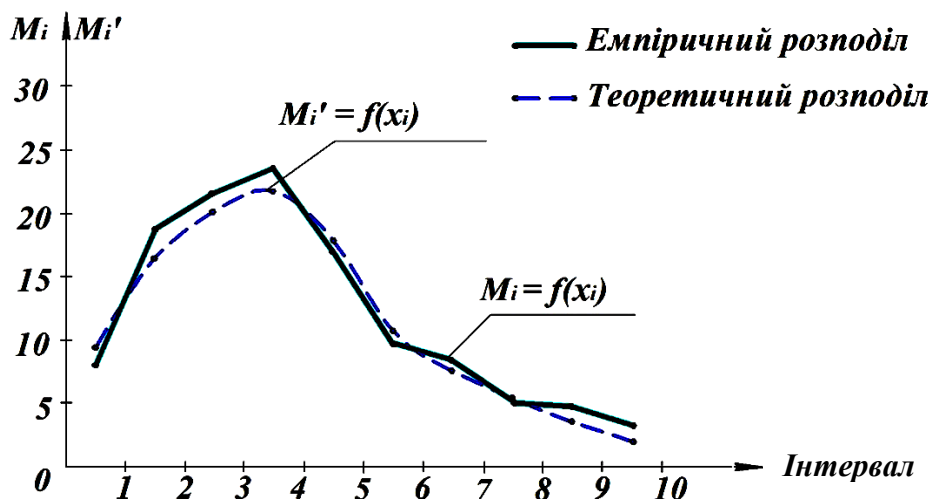


Рис. 1. Емпірична і теоретична криві логарифмічно-нормального закону розподілу випадків несправності роликової букси

Таблиця

Результати побудови моделі несправності роликової букси

Основний параметр розподілу	Найменування, розрахункова формула, значення
Передумови створення – першопричина	Недостатній рівень змащування в буксовому вузлі; сторонні елементи в змащуванні буксового вузла; збільшення радіального зазора між роликами підшипників; злам сепаратора
Теоретичний закон розподілу	Логарифмічно-нормальний
Функція розподілу щільності ймовірності	$m_i' = \sum m_i \cdot h \cdot \frac{0,44}{x\sigma \lg x} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left[ -\frac{(\lg x - \lg x^*)^2}{2\sigma^2 \lg x} \right]$
Математичне очікування випадкової величини несправності $M(X)$	56,28
Дисперсія $D(X)$	35,46
Квадратичне відхилення $\sigma$	5,96
Коефіцієнт варіації $\nu$	0,17
Коефіцієнт нерівномірності	1,01
Кількість ступенів свободи $k$	7
Імовірність узгодження, за критерієм Пірсона $P(x)^2$	$P(x)^2=0,96$

Для вибору і обґрунтування теоретичних законів розподілу були досліджені найбільш розповсюджені несправності рухомого складу на залізниці і побудовані статистичні моделі розподілу випадкової величини відмов у часі.

Згідно з блок-схемою систематизації та структуризації факторів, що впливають на умови безаварійної роботи вагоноремонтного комплексу полігону дослідження (рис. 2), основними є шість факторів, кожен з яких розкладається на фактори більш конкретного змісту, а вони на більш деталізовані фактори. Кожному з них характерний той чи інший аспект застосування залежно від першопричини і

характеру виникнення (технічний, технологічний, організаційний).

Наведені на рис. 2 у-фактори входять до складу моделі безпечної експлуатації рухомого складу. Ефективність організаційних заходів, у тому числі і підвищення рівня знань працівників залізничного транспорту, обумовлена міцним, системним, оперативним науково-інформаційним забезпеченням процесів контролю і управління [15]. Необхідно більш інтенсивне впровадження інноваційних методів і технологій, здатних цілеспрямовано впливати на навчання та контроль рівня знань фахівців.

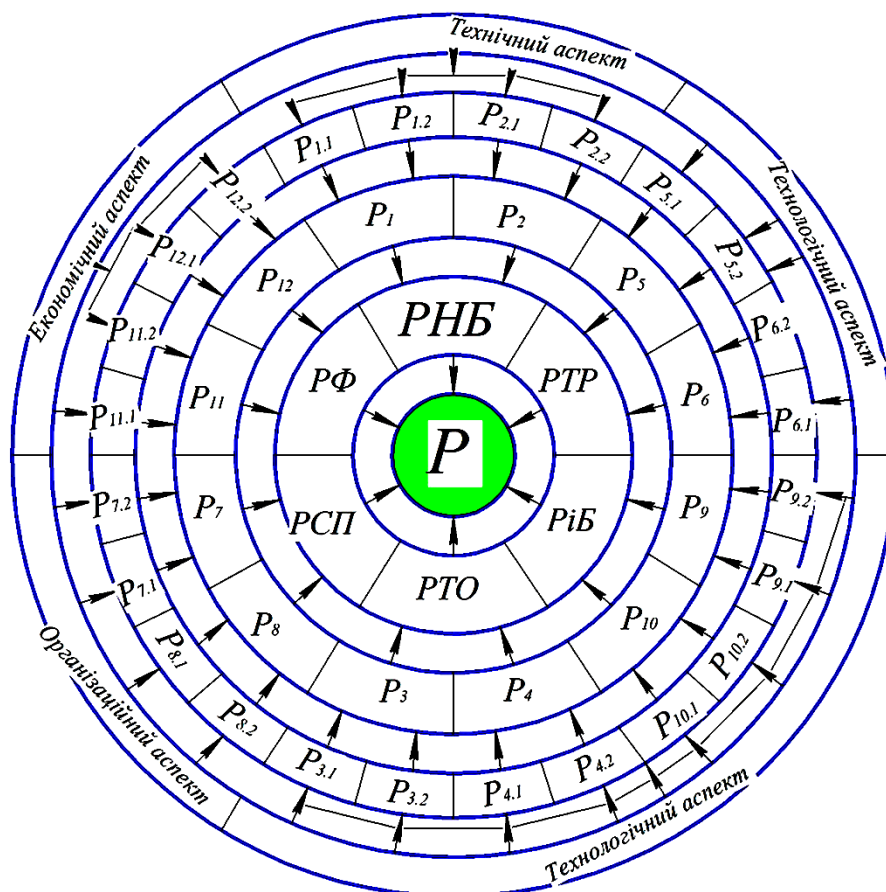


Рис. 2. Блок-схема систематизації та структуризації факторів, що впливають на умови безаварійної роботи вагоноремонтного комплексу:

P – рівень безпечної експлуатації рухомого складу; РНБ – рівень надійності і безпеки вагонів; РТО – рівень технічного оснащення; РТР – рівень технології роботи вагоноремонтного комплексу; РСП – рівень підготовки і ступенів професіоналізму фахівців; РіБ – рівень розвитку інформаційної бази; РФ – рівень фінансування; P<sub>1</sub> – забезпечення надійності і безпеки вагонів на

стадії проектування; P<sub>1.1</sub> – генерування нових конструктивних рішень; P<sub>1.2</sub> – розроблення сучасних методів розрахунку конструкції; P<sub>2</sub> – підтримання надійності і безпеки вагонів на стадії їх експлуатації; P<sub>2.1</sub> – модернізація вагонних конструкцій; P<sub>2.2</sub> – вдосконалення системи технічного діагностування збірних одиниць і деталей вагона; P<sub>3</sub> – розроблення нових технологій ремонту і технічного обслуговування вагонів; P<sub>3.1</sub> – оптимізація технічного нормування і тарифікації технологічних процесів; P<sub>3.2</sub> – розроблення технологічної документації; P<sub>4</sub> – розроблення технології роботи засобів механізації і автоматизації робіт з ремонту і технічного обслуговування вагонів; P<sub>4.1</sub> – автоматизоване проектування технологічних процесів; P<sub>4.2</sub> – оптимізація параметрів технічного оснащення об'єктів вагоноремонтного комплексу; P<sub>5</sub> – вдосконалення системи матеріально-технічного постачання підприємств вагонного господарства; P<sub>5.1</sub> – підвищення рівня спеціалізації і концентрації виробництва у вагонно-ремонтному комплексі; P<sub>5.2</sub> – формування окремої системи матеріально-технічного постачання з ремонту вагонів; P<sub>6</sub> – вдосконалення технологічного обладнання ремонтних підприємств; P<sub>6.1</sub> – побудова і розроблення найбільш раціональних і економічних технологічних процесів виготовлення і ремонту складових частин вагонів; P<sub>6.2</sub> – розроблення і здійснення плану реконструкції, технічного переозброєння і модернізації виробництва; P<sub>7</sub> – вдосконалення системи підвищення кваліфікації працівників; P<sub>7.1</sub> – підвищення рівня підготовки і ступеня професіоналізму працівників; P<sub>7.2</sub> – посилення професійного відбору працівників; P<sub>8</sub> – мотивація трудової діяльності працівників вагонного господарства; P<sub>8.1</sub> – посилення стимулюючої і регулюючої функції заробітної плати; P<sub>8.2</sub> – мінімізація негативних впливів професійної діяльності на організм працівника; P<sub>9</sub> – вдосконалення інформаційної системи; P<sub>9.1</sub> – забезпечення якості інформації; P<sub>9.2</sub> – оптимальний розподіл і просування інформаційних потоків; P<sub>10</sub> – вдосконалення інформаційних систем забезпечення безпеки руху; P<sub>10.1</sub> – систематизація критеріїв для комплексного оцінювання рівня стану безпеки руху; P<sub>10.2</sub> – впровадження нових інформаційних технологій; P<sub>11</sub> – вдосконалення системи фінансування; P<sub>11.1</sub> – створення єдиної системи фінансування в рамках дирекції будівництва і ремонту вантажних вагонів; P<sub>11.2</sub> – зміна схеми фінансування (з урахуванням розподілу бази на ремонтні і експлуатаційні депо); P<sub>12</sub> – оптимальний розподіл і просування фінансових потоків; P<sub>12.1</sub> – диференційований підхід до формування собівартості ремонту вагонів; P<sub>12.2</sub> – виділення інвестицій на закупівлю нових вантажних вагонів

Масштабність і багатоаспектність сучасних процесів контролю рівня знань постійно вимагають від організаторів профілактичної роботи, застосування науково-методичного інструментарію, який був би здатний спостерігати об'єкт управління в динаміці, діагностувати його стан і прогнозувати тенденції розвитку.

Таким вимогам відповідає моніторинг ступеня професіоналізму працівників, що дозволяє здійснювати багатопланове і безперервне спостереження на різних рівнях організаційної структури вагонного господарства.

У відповідності зі своїми цільовими установками інформаційно-аналітичний аспект моніторингу ступеня професіоналізму готовий забезпечити вирішення таких функціональних завдань:

- регулярний огляд, аналіз рівня знань і процесів навчання в системі підготовки та підвищення кваліфікації працівників;
- систематизація даних про функціонування навчальної інфраструктури та стану сфери навчання на залізничному транспорті;
- автоматизоване моделювання та оцінювання рівня знань і професійного статусу фахівця;
- функціонування базової автоматизованої інформаційної системи (комп'ютерні бази даних результатів опитування і тестування, паспорта дисциплін та ін.);
- моделювання, діагностування та прогнозування процесів навчання і контролю; розроблення програм підвищення кваліфікації і закріплення отриманих знань; контроль за реалізацією програмних завдань на всіх рівнях;

• обробка матеріалів експертних оцінок і їх статистичний аналіз з проблем інтелектуальної та технологічної безпеки залізничного транспорту.

З урахуванням функціональних завдань у моніторингу розглянуто ознаки аналітичних показників (рис. 3).

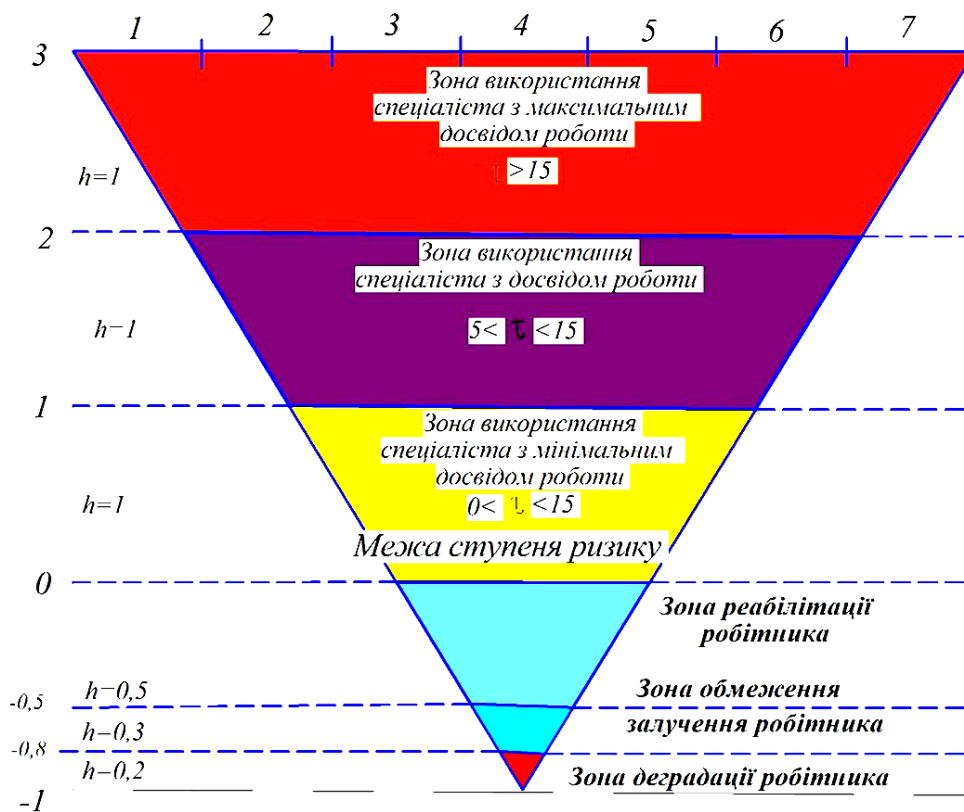


Рис. 3. Конструктивне рішення моніторингу ступенів професійної підготовки фахівців:  
 $h$  – параметр емпіричного розподілу знань працівників

Величина інтервалу

$$h = R / n. \quad (14)$$

Зона розсіювання вибірових значень

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (15)$$

де  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  – максимальне і мінімальне значення параметрів емпіричного розподілу знань працівників, величина, що обирається з таблиць значень інтервалу ймовірностей залежно від прийнятого ступеня достовірності спостережень,  $P(x) = 1,2$ .

Кількість інтервалів

$$n = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,2 \cdot \lg N}. \quad (16)$$

Виділені групи показників, що відображують той чи інший ступінь інтелектуальної загрози і ступінь підготовки фахівця за шкалою в індексах, значення яких коливаються від +3 до -1:

- зона професійної придатності (стаж роботи  $\tau > 15$  років);
- зона професійної придатності (стаж роботи  $5 < \tau < 15$  років);

- зона професійної придатності (стаж роботи  $\tau < 5$  років);
- зона реабілітації працівника;
- зона обмеження застосування працівника як спеціаліста (зона професійної загрози);
- зона професійної деградації працівника (з подальшим звільненням).

Межа ступеня ризику професійної підготовки відокремлює зону професійної придатності від зони реабілітації працівника.

Структура і склад оцінних критеріїв показників інтелектуальної безпеки, деталізація ознак кожного аналітичного показника (їх порядок відображений у нумерації стовпців 1–7) визначається фахівцями аналітичного центру спільно з експертами залежно від ситуації, що складається і завдань аналізу:

- кадровий потенціал вагонного господарства, стан ринку праці та зайнятості;
- умови праці працівників вагонного господарства, безпека та екологія праці;
- управління процесами професійної підготовки;
- рівень життя працівників і їхніх родин;
- стан здоров'я працівників і їхніх родин;
- оперативно-масові, експертні опитування і перевірки працівників;
- зацікавленість працівників у результаті праці.

Як правило, всі порушення ПТЕ та інших нормативно-технологічних документів носять суб'єктивний характер. Тому працівники повинні мати необхідні знання, отримані в спеціальних навчальних закладах, на курсах підвищення кваліфікації, технічних школах, а також практичні навички і вміння, набуті за час роботи.

У наш час існуючі методи навчання, як правило, засновані на проведенні лекційних занять з великими групами учнів, а контроль засвоєння пропонованого матеріалу протікає у вигляді усного заліку або іспиту.

Така форма атестації, безумовно, має ряд недоліків:

- деяка формальність в оцінюванні знань, що перевіряються (особливо за системою залік-незалік).
- висока завантаженість екзаменаторів рутинною роботою, пов'язаною з обробкою результатів опитування або оформленням відповідної документації;
- суб'єктивізм в оцінюванні знань;
- відсутність відповідного механізму порівняння результатів періодичної перевірки знань працівників на різних залізницях.

З метою більш детального аналізу результати перевірки рекомендується використовувати в табличній формі з урахуванням відповідної колірної гами. Якщо опитуваний не має стабільних результатів з освоєння програми технічного навчання, він отримує індивідуальні рекомендації до додаткового вивчення матеріалу, а така кольорова градація дозволить більш об'єктивно оцінювати результати профілактичної роботи щодо забезпечення безпеки руху.

Така система дозволить розробити відповідний «Класифікатор рівня знань працівників» з подальшим його включенням до паспорта безпеки станції ПБС (дільничної або сортувальної).

**Висновки.** Виконано аналіз структури випадків несправностей вагонів, до яких входять технічні аспекти і фактори трудової дисципліни, ставлення керівників і виконавців до питань забезпечення безпеки руху. Встановлено, що 58 % випадків несправностей носять технологічний характер, 40 % припадає на людський фактор і лише 2 % відбуваються через технічні причини.

Побудовано стохастичну модель імовірності виникнення випадків порушення безпеки руху у вагонному господарстві. На основі результатів розрахунку, вигляду експериментальної кривої, значень її параметрів встановлено, що зміна обсягів випадків несправностей роlikової букси на полігоні дослідження



підкорюється логарифмічно-нормальному закону розподілу. Встановлено, що ймовірність узгоджена за критерієм Пірсона  $P(x)^2 = 0,96$ , отже гіпотеза про підпорядкування емпіричного розподілу несправностей роликової букси логарифмічно-нормальному закону підтверджується.

Розроблено і побудовано блок-схему систематизації і структуризації факторів, що впливають на умови безаварійної роботи вагоноремонтного комплексу полігону дослідження. Сформульовано основні фактори, що входять до складу моделі безпечної експлуатації рухомого складу. Визначено аспекти їх застосування. Особливість блок-схеми полягає в тому, що кожному з факторів (шість основних факторів) характерний той чи інший аспект застосування залежно від першопричини і

характеру виникнення (технічний, технологічний, організаційний).

Розроблено конструктивне рішення моніторингу ступеня професіоналізму фахівців вагонного господарства як інструмент підвищення безпеки руху на залізничному транспорті. Запропоновано шість основних функціональних завдань, які реалізуються у відповідності зі своїми цільовими установками засобами інформаційно-аналітичного моніторингу ступеня професіоналізму фахівців. Встановлено, що межа ступеня ризику використання спеціаліста з мінімальним досвідом роботи спостерігається в інтервалі від 0 до 5 років.

Визначено простір показників інтелектуальної та технологічної безпеки функціонування вагонного господарства галузі.

### Список використаних джерел

1. Розенберг И. Н., Замышляев А. М. Методы и технологии повышения безопасности движения в службе перевозок. Наука в транспортном измерении: материалы Международной научно-практической конференции. 2015. 92 с.
2. Куліченко А. Я. Науково-технологічні основи ремонтного виробництва вантажних засобів залізничного транспорту: автореф. дис... д-ра техн. наук. Дніпропетровськ. 2011, 36 с.
3. Соколов А. М. О надёжности буксовых узлов грузовых вагонов. *Железнодорожный транспорт*. 2017. № 7. С. 50–52.
4. Салли Дж. Новые высокоскоростные пассажирские поезда компании Siemens: пер. с англ. *Modern Railways*. Лондон, 2006. № 696. Р. 64–65.
5. Железные дороги США: Особенности грузовых и пассажирских перевозок. *Железные дороги мира*. 2017. № 4. С. 9–32.
6. Yarovoy R., Chernetskaya-Beletskaya N., Mikhailov E. Influence of use of energy storage on emissions of pollutant substances by a maneuver locomotive. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol.4. No 10 (100). URL: <http://journals.Uran.Ua/eejet/article/view/176908>.
7. Fomin O., Kulbovskiy I., Sorochinska E. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5. Issue 1 (89). Р. 11–19. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/109588>.
8. Хохлов А. А., Петров Г. И., Тимков С. И. Безопасность движения порожних грузовых вагонов при синфазности колебаний. Безопасность движения поездов: шестая науч.-практ. конф. Москва, 2006. С. 34–38.
9. Катлен К. Высокоскоростные поезда TGV POS: пер. с англ. *Revue Generale des Chemins de Fer*. Париж, 2006. № 153, С. 33–43.

10. Пономарёв В. М. Математическое моделирование отказов ходовых частей подвижного состава как основа безаварийной работы железнодорожного транспорта. *Наука и техника транспорта*. 2008. № 1. С. 67–70.

11. Никулина Н. А. Повышение экологической эффективности работы вагонного хозяйства железнодорожного транспорта в условиях его реформирования: дисс... канд. техн. наук. Москва, 2004. 148 с.

12. Шикина Д. И. Оптимизация нормативного срока службы и системы технического обслуживания и ремонта вагона с учетом качества его ремонтов: на примере полувагона: автореф. дисс... канд. техн. наук. Москва, 2012. 24 с.

13. Шмаров П. П., Никулина Н. А., Вовк А. А. Реформирование вагонного хозяйства ОАО «РЖД». *Железнодорожный транспорт*. 2018. № 7. 28 с.

14. Чернецька-Білецька Н. Б., Баранов І. О. Впровадження єдиної системи кодування рухомого складу залізничного транспорту. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. 2019. № 2 (250). С. 116–119.

15. Чернецкая-Белецкая Н. Б., Баранов И. О., Солдаткин Д. О. Анализ вариантов управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте в условиях неравномерности. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля*. 2015. № 1 (218). С. 107–109.

---

Баранов Ігор Олегович, кандидат технічних наук, доцент кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. ORCID iD: 0000-0002-1551-0973. Тел.: (066) 914-33-28. E-mail: baranov\_90@ukr.net.

Мірошникова Марія Володимирівна, старший викладач кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. ORCID iD: 0000-0002-7578-9283. E-mail: citroen4ik@gmail.com.

Baranov Igor, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Logistics and Traffic Safety, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. ORCID iD: 0000-0002-1551-0973. Tel. (066) 914-33-28. E-mail: baranov\_90@ukr.net. Miroshnykova Maria, Senior Lecturer, Department of Logistics and Traffic Safety, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. ORCID iD: 0000-0002-7578-9283. E-mail: citroen4ik@gmail.com.

Статтю прийнято 18.09.2020 р.

**ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (275)**

---

УДК 65.018.2

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
З УРАХУВАННЯМ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
СИСТЕМИ АВТОСЕРВІСУ**

Канд. техн. наук Л. А. Тарандушка

**RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROCESSES QUALITY INDICATOR CHANGING  
TAKING INTO ACCOUNT MUTUAL INFLUENCE OF FUNCTIONAL ELEMENTS  
AUTOSERVICE SYSTEM**

PhD (Tech.) L. A. Tarandushka

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.192.2021.223772>

---

***Анотація.** Стаття присвячена дослідженню впливу незалежних параметрів, що описують функціонування системи автосервісу та якість технологічних процесів відновлення працездатності транспортних засобів. Аналіз проводиться за допомогою візуалізації нелінійної моделі типу Сугено, що розроблена в пакеті Matlab. Дослідження проводиться для таких типів автосервісних підприємств: пункти технічного обслуговування, авторемонтні майстерні, станції технічного обслуговування, авторизовані станції технічного обслуговування, спеціалізовані автосервісні підприємства, комплексні автосервісні підприємства. Показано, що для досліджуваних підприємств технічного сервісу різних типів зміна значень морфологічних ознак основних функціональних елементів дозволяє підвищити рівень якості технологічних процесів підтримування та відновлення технічного стану транспортних засобів від 0,1 до 21,1 %.*

***Ключові слова:** якість, технологічний процес, автосервісне підприємство.*

***Abstract.** The analysis of perspective tendencies which connected with changing of autopark structure and designs of vehicles, the newest technologies of diagnosing their technical condition and service, methods of estimation services quality at the existing auto service enterprises, the last EU directives on application of the corresponding technical regulations has shown that innovative approaches to the organization of technical service systems for vehicles, assessing the quality of technological processes of maintaining and restoring the working condition of vehicles and ensuring the efficiency of car service systems should be applied. Therefore, the development of methodology for assessing the quality of technological processes of vehicle recovery at the systems of auto service enterprises, which would take into account a comprehensive approach to future trends in fleet structure and vehicle designs, the latest technologies for diagnosing their technical condition and maintenance, methods of assessing service quality is an urgent problem today.*

*The article is devoted to the study of influence independent parameters describing the morphological structure of auto service system on the quality of technological processes for restoring the efficiency of vehicles. The independent parameters are: capacity of auto service companies (number of posts), level of personnel availability, production organization form, automobile full weight, energy unite type, automobile age, income level of vehicle's owners. The analysis is performed using visualization of a nonlinear model of the Sugeno type, developed in the*

*Matlab package. The study is conducted for the following types of auto service companies: maintenance points, car repair shops, service stations, authorized service stations, specialized auto service enterprises, complex auto service enterprises. It is shown that for the studied enterprises of different types technical service the change of values morphological features of the main functional elements allows to increase the level of quality of technological processes of vehicle's maintenance and restoration from 0,1% to 21,1%.*

**Keywords:** *quality, technological process, auto service enterprise.*

**Вступ.** Стаття присвячена розробленню методів оцінювання та способів підвищення якості технологічних процесів відновлення працездатності транспортних засобів у системах автосервісу на основі системного підходу до формування можливих морфологічних структур, оптимізації параметрів підприємств технічного сервісу, транспортних засобів, що обслуговуються, і зовнішнього середовища як основних функціональних елементів системи з метою належного підтримування технічного стану транспортних засобів для забезпечення необхідного рівня їхньої безпеки, енергоефективності та екологічності протягом періоду експлуатації. Тому розроблення методології оцінювання якості технологічних процесів відновлення працездатності транспортних засобів у системах автосервісних підприємств, яка б враховувала комплексний підхід до перспективних тенденцій зміни структури парку та конструкцій транспортних засобів, новітніх технологій діагностування їхнього технічного стану та обслуговування, методів оцінювання якості послуг є актуальною проблемою сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Авторами роботи [1] було побудовано функціональну модель процесу «Контроль якості послуг» для автосервісних підприємств (АСП) та отримано математичну залежність для розрахунку індикаторів поточного стану підприємства, які в подальшому рекомендовано використовувати для визначення оптимальної стратегії розвитку. Для покращення якості виконаних послуг на АСП може бути застосована стратегія,

спрямована на реорганізацію виробництва. Моделюванню процесу оптимізації АСП шляхом раціонального вибору форми виробництва присвячена робота [2]. У роботі [3] подано комп'ютерну реалізацію даної моделі.

Автори наукової роботи [4] вважають, що якість автосервісних послуг залежить від навчання персоналу, розроблення інноваційних послуг, використання правил спілкування з клієнтами та включає діагностику роботи автомобіля, виявлення несправностей і їх усунення без згоди клієнта. Але в даній роботі не враховано технічне забезпечення підприємства, що є дуже важливим фактором, який впливає на якість послуг, що надаються. У роботі McMurrian R. C., Matulich E. також зазначено, що рівень якості обслуговування клієнтів на автосервісних підприємствах є важливою характеристикою, яка впливає на ефективність виробничого процесу, тобто збільшує прибутковість і підвищує коефіцієнт задоволеності та лояльності клієнтів [5]. Мета роботи [6] полягає в тому, щоб зробити доступним документ «єдиного столу», який спрямовуватиме майбутніх дослідників у галузі технічного обслуговування та ремонту автомобілів. Emmanuel Baffour-Awuah запропонував колективно об'єднувати дослідження в даній галузі автосервісних послуг. Результати дослідження показали, що SERVQUAL залишається найпопулярнішим методом оцінювання якості обслуговування в галузі технічного обслуговування та ремонту автомобілів. Але в попередніх роботах не досліджено взаємний вплив функціональних елементів системи на рівень якості технологічних процесів

відновлення працездатності транспортних засобів.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження змін показника якості технологічних процесів відновлення працездатного стану транспортних засобів від зміни параметрів функціональних елементів системи автосервісу. Для досягнення поставленої мети необхідно побудувати графічну візуалізацію впливу параметрів функціональних елементів системи автосервісу на якість технологічних процесів підтримування та відновлення технічного стану транспортних засобів і дослідити межі їх впливу на показник якості.

**Основна частина дослідження.** У роботі [7] розроблено морфологічну матрицю, що описує функціонування системи автосервісу. Виявлено 19 вагомих параметрів і на основі алгоритму Фаррара-Глобера було виокремлено сім незалежних параметрів, що належать до відповідних функціональних елементів. До функціонального елемента «АСП» належать такі параметри:  $X_2$  – потужність АСП (кількість постів),  $X_5$  – рівень забезпеченості персоналом,  $X_9$  – форма організації виробництва; до функціонального елемента

«Автомобілі»:  $X_{10}$  – повна маса автомобілів,  $X_{11}$  – тип енергетичної установки,  $X_{12}$  – вік автомобілів; до функціонального елемента «Середовище»:  $X_{19}$  – рівень доходу власників транспортних засобів. А також було визначено, що нелінійна модель системи автосервісу у вигляді систем нечіткого логічного виведення Сугено, розроблена на основі незалежних параметрів, дає можливість аналізувати поточний стан системи та формувати рекомендації щодо зміни її морфологічної структури з метою досягнення цільового рівня якості технологічних процесів відновлення працездатного стану транспортних засобів.

Розглянемо взаємний вплив незалежних параметрів на показник якості виконання ТП відновлення працездатності транспортних засобів на прикладі автосервісних підприємств типу СТО.

Під час аналізу динаміки показника якості для автосервісних підприємств типу СТО було виявлено такі закономірності.

На СТО найбільш якісне обслуговування  $K_{я\ max}=0,67$  очікується при  $X_{19} = 5$  (рис. 1), тобто може пропонуватись широкому колу клієнтів.

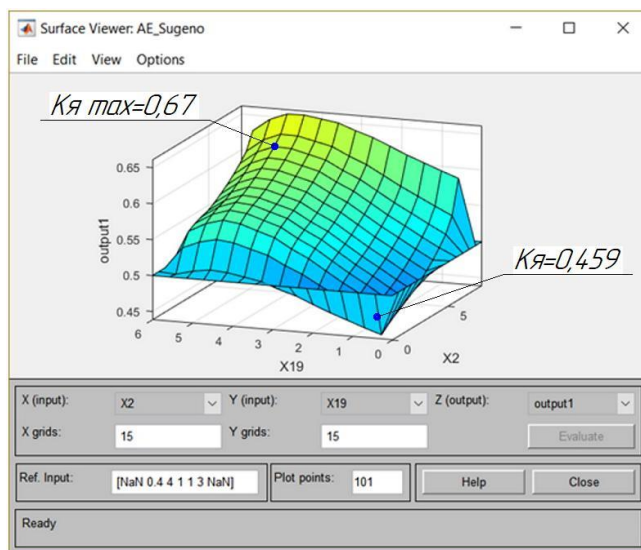


Рис. 1. Залежність коефіцієнта якості від потужності АСП ( $X_2$ ) і рівня доходу власників ТЗ ( $X_{19}$ ) для СТО

Проте при виконанні робіт для клієнтів з високим рівнем доходу прогнозується рівнозначний рівень якості ( $K_{Я4} \cong K_{Я5}$ ). Мінімальне значення показника якості за фіксованої кількості постів досягається при обслуговуванні клієнтів тільки з низьким і середнім доходом. Збільшення потужності СТО не змінює зазначені закономірності.

Зазначені вище результати повністю підтверджено при дослідженні поверхні  $F(X_5, X_{19})$  (рис. 2). Незважаючи на те, що рівень забезпеченості персоналом  $X_5$  має більшу вагу в рівнянні множинної регресії [7], даний показник не змінює загальної тенденції,  $K_{Я \max}=0,67$  при  $X_{19} = 5$ , що характеризує вплив  $X_{19}$  на якість технологічних процесів СТО.

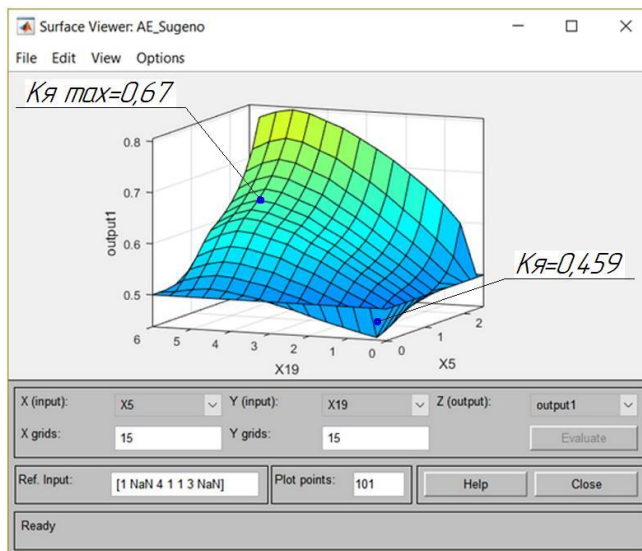


Рис. 2. Залежність коефіцієнта якості від рівня забезпеченості персоналом ( $X_5$ ) і рівня доходу власників ТЗ ( $X_{19}$ ) СТО

Змінюючи форму організації виробництва, існує можливість підлаштуватися під різні сегменти клієнтів. Постову форму організації виробництва з універсальним або спеціалізованим обладнанням ( $X_9 = 1, 2$ ) доцільно застосовувати при орієнтації на клієнтів з середнім і високим доходом ( $X_{19} = 3$ ) (рис. 3). Тоді як дільнично-постову форму ( $X_9 = 3$ ) рекомендується використовувати при обслуговуванні лише клієнтів з високим доходом ( $X_{19} = 4$ ), а індивідуальну ( $X_9 = 4$ ) – для обслуговування одночасно клієнтів з низьким, середнім і високим рівнями доходу ( $X_{19} = 5$ ) ( $K_{Я \max}=0,53$  при  $X_{19} = 5, X_9 = 4$ ).

Аналізуючи поверхню  $F(X_{10}, X_{19})$  (рис. 4), можна дійти такого висновку. При

обслуговуванні автомобілів повною масою до 3,5 т ( $X_{10} = 1$ ) СТО може забезпечити максимальну якість технологічних процесів  $K_{Я \max}=0,56$  для всіх категорій клієнтів: з низьким, середнім і високим рівнями доходу ( $X_{19} = 5$ ). При орієнтації на автомобілі повною масою до 7,5 т ( $X_{10} = 2$ ) діапазон доходу клієнтів звужується. Незначний пріоритет мають клієнти з високим рівнем доходу ( $X_{19} = 4$ ). Якщо СТО виконує ремонт і ТО автомобілів незалежно від їхньої повної маси ( $X_{10} = 3$ ), то для отримання максимального рівня якості технологічних процесів необхідно орієнтуватись на клієнтів з середнім і високим доходом ( $X_{19} = 3$ ).

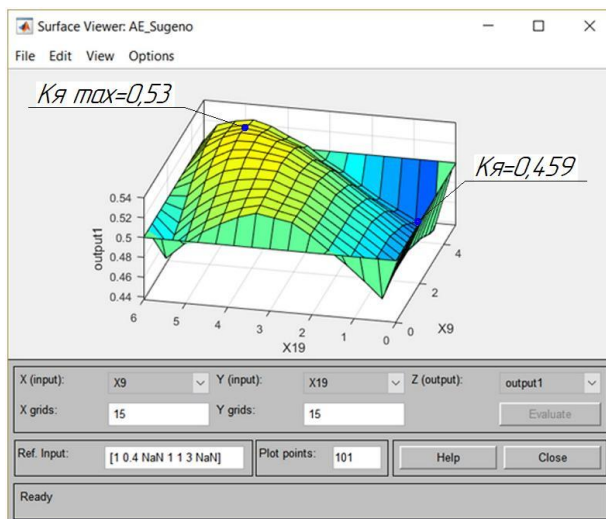


Рис. 3. Залежність коефіцієнта якості від форми організації виробництвом ( $X_9$ ) і рівня доходу власників ТЗ ( $X_{19}$ ) для СТО

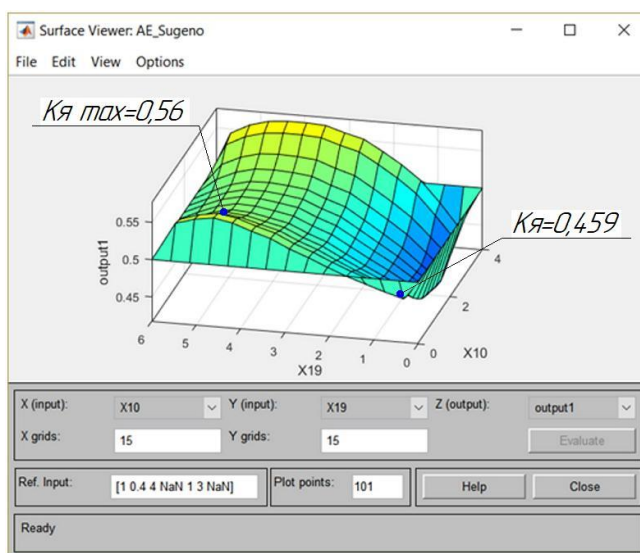


Рис. 4. Залежність  $K_я$  від повної маси автомобіля ( $X_{10}$ ) і рівня доходу власників ТЗ ( $X_{19}$ ) для СТО

При додатковому врахуванні типу енергетичних установок виявлено таке. Якщо на СТО планується обслуговувати автомобілі з бензиновими, дизельними ( $X_{11} = 1$ ) або газобалонними ( $X_{11} = 2$ ) установками, необхідно сформуванати набір послуг, який буде спрямовано на широке коло клієнтів з різним рівнем доходу ( $X_{19} = 5$ ) (рис. 5).

При обслуговуванні електричних і гібридних автомобілів ( $X_{11} = 3$ ) доцільно

організувати виробництво орієнтуючись на клієнтів з високим рівнем доходу ( $X_{19} = 4$ ). Для отримання максимальної якості технологічних процесів  $K_я max = 0,64$  на СТО рекомендується пропонувати послуги ремонту і ТО автомобілів, що перекривають весь спектр енергетичних установок ( $X_{11} = 4$ ), для клієнтів з середнім і високим доходом ( $X_{19} = 3$ ).

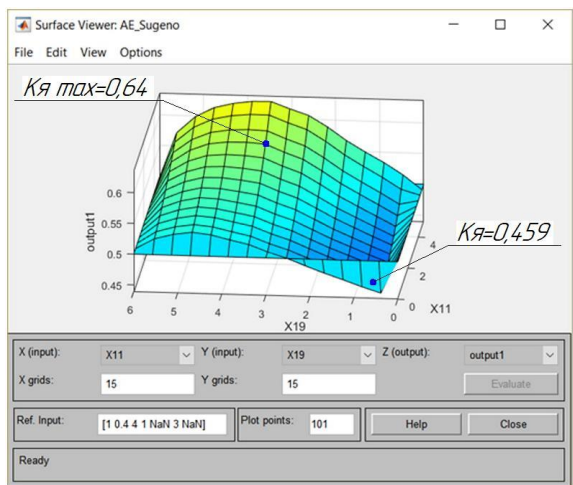


Рис. 5. Залежність  $K_{я}$  від типу енергетичних установок ( $X_{11}$ ) і рівня доходу власників ТЗ ( $X_{19}$ ) для СТО

Як і у випадку авторемонтних майстерень, найкращого показника якості виконання технологічних процесів на СТО  $K_{я\ max}=0,59$  можна очікувати в процесі обслуговування автомобілів віком до 3 років ( $X_{12} = 1$ ), власники яких можуть мати різний дохід: низький, середній, високий

( $X_{19} = 5$ ) (рис. 6). При виконанні робіт для автомобілів старшого віку ( $X_{12} = 2, 3$ ) так само необхідно орієнтуватись на всі категорії клієнтів, проте показник якості в даному випадку буде мати середній рівень ( $0,4 < K_{я} \leq 0,6$ ).

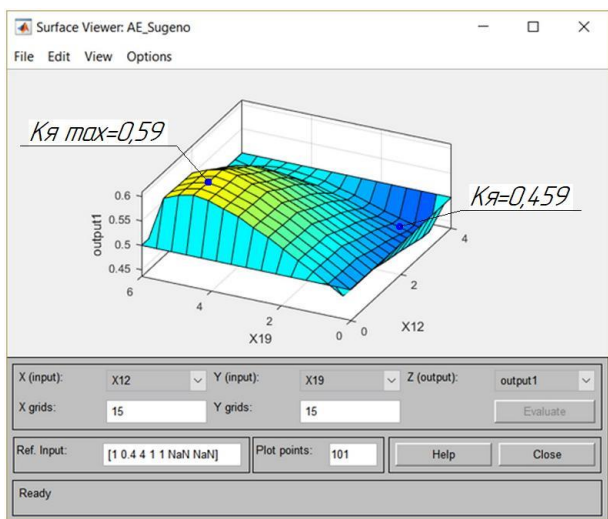


Рис. 6. Залежність коефіцієнта якості від віку автомобіля ( $X_{12}$ ) і рівня доходу власників ТЗ ( $X_{19}$ ) для СТО

Виходячи з аналізу впливу всіх комбінацій параметрів функціональних елементів «АСП» та «Автомобілі» з  $X_{19}$  можна

стверджувати, що мінімальний рівень якості робіт буде отримано при обслуговуванні клієнтів з низьким і середнім доходом.



Аналогічно було проаналізовано взаємний вплив параметрів функціональних елементів системи автосервісу «АСП», «Автомобілі», «Середовище» для таких типів автосервісних підприємств: пункти ТО, авторемонтні майстерні, авторизовані СТО, спеціалізовані АСП, комплексні АСП.

**Висновки.** Досліджено взаємний вплив параметрів функціональних елементів «АСП», «Автомобілі», «Середовище» на

якість технологічних процесів відновлення працездатного стану транспортних засобів. Показано, що для досліджуваних підприємств технічного сервісу різних типів зміна значень морфологічних ознак основних функціональних елементів дозволяє підвищити рівень якості технологічних процесів підтримування та відновлення технічного стану транспортних засобів від 0,1 до 21,1 %.

### Список використаних джерел

1. Mateichyk V. P., Tarandushka L. A., Kostian N. L. Optimization of autoservice enterprises activity based on the current state indicators. Systems and means of car transport. *Problems of exploitation and diagnostics*. 2018. Vol. 14. P. 91–99. URL: <http://nv.nung.edu.ua/index.php/nv/article/view/710> (last access: 02.09.2020).
2. Тарандушка Л. А., Костьян Н. Л. Функціональна модель вибору стратегії форми організації виробництва для якісного виконання послуг на автосервісному підприємстві. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2018. № 1 (10). С. 131–136. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt\\_2018\\_1\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2018_1_23) (дата звернення: 02.09.2020).
3. Тарандушка Л. А., Костьян Н. Л. Програмна підтримка реструктуризації виробництва в системі управління якістю авто сервісного підприємства. *Науковий вісник Івано-Франківського національного університету нафти і газу*. 2019. № 2(47). С. 48–56.
4. Khaksar S. M., Nawaser K., Jahanshahi A. F., Kamalian A. R. The relation between after-sales services and entrepreneurial opportunities: Case study of Iran-Khodro Company. *African Journal of Business Management*. 2011. Vol. 5(13), P. 5152–5161. DOI:10.5897/AJBM10.1226. URL: [https://www.academia.edu/1470063/The\\_relation\\_between\\_after-sales\\_services\\_and\\_entrepreneurial\\_opportunities\\_Case\\_study\\_of\\_Iran\\_Khodro\\_Company](https://www.academia.edu/1470063/The_relation_between_after-sales_services_and_entrepreneurial_opportunities_Case_study_of_Iran_Khodro_Company) (last access: 02.09.2020).
5. McMurrian R. C., Matulich E. Building customer value and profitability with business ethics. *Journal of Business & Economics Research*. 2006. Vol. 4(1111). P. 11–18. URL: <https://clutejournals.com/index.php/JBER/article/view/2710> (last access: 02.09.2020).
6. Baffour-Awuah Emmanuel. Service Quality in the Motor Vehicle Maintenance and Repair Industry: A Documentary Review. *International Journal of Engineering and Modern Technology*. 2018. ISSN 2504-8856 Vol. 4(1). P. 14–34. URL: [https://www.academia.edu/37280065/Service\\_Quality\\_in\\_the\\_Motor\\_Vehicle\\_Maintenance\\_and\\_Repair\\_Industry\\_A\\_Documentary\\_Review](https://www.academia.edu/37280065/Service_Quality_in_the_Motor_Vehicle_Maintenance_and_Repair_Industry_A_Documentary_Review) (last access: 02.09.2020).
7. Tarandushka L, Mateichyk V., Kostian N., Rud M. Assessing the quality level of technological processes at car service enterprises. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2020. Vol. 2/3 (104). P. 58–75.

---

Тарандушка Людмила Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету. ORCID iD: 0000-0002-1410-9088. Тел.: (066) 428-65-03. E-mail: tarandushkal@ukr.net.

Tarandushka Liudmyla, PhD (Tech.), Associate Professor, Head of Department, Department of Vehicles and Technology for their Exploitation, Cherkasy State Technological University. ORCID iD: 0000-0002-1410-9088. Tel.: (066) 428-65-03. E-mail: tarandushkal@ukr.net.

Статтю прийнято 16.09.2020 р.

УДК 656.027

## ОРГАНІЗАЦІЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО РУХУ НА НАПРЯМКУ

Кандидати техн. наук А. О. Ковальов, С. М. Продащук,  
магістранти В. О. Слободянюк, І. І. Шульженко, О. В. Горбатенко

## ORGANIZATION OF HIGH-SPEED MOVEMENT IN THE DIRECTION

PhD (Tech.) A. Kovalov, PhD (Tech.) S. Prodashchuk, master V. Slobodianiuk,  
master I. Shulzhenko, master O. Horbatenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.192.2021.223773>

---

**Анотація.** У статті проаналізовано стан швидкісних і високошвидкісних пасажирських перевезень в Україні, виявлено основні чинники, що впливають на можливість впровадження таких перевезень. Запропоновано використати чистий дисконтований дохід, який можна отримати під час реалізації проєкту і після його закінчення, для економічного обґрунтування доцільності організації швидкісного та високошвидкісного руху. Наведено метод визначення потрібних інвестицій з джерел, необхідних для реалізації великомасштабних проєктів і терміну окупності інвестиційного проєкту.

**Ключові слова:** швидкісні та високошвидкісні перевезення, пасажирські перевезення, інвестиційний проєкт, впровадження.

**Abstract.** The article considers the effectiveness of the introduction of speed and high-speed traffic. The experience of foreign countries shows that the development of high-speed rail traffic has increased competitiveness between different modes of transport, population mobility, reduced the loss of passenger traffic by attracting additional passenger traffic and increased profits. The state of speed and high-speed passenger traffic in Ukraine is analyzed, the main factors influencing the possibility of introduction of such traffic are revealed. The main ones are: lack of state financial support and private investment for the modernization of the railway or the construction of specialized tracks, the purchase of special rolling stock. In conclusion, attention should be paid to improving the state of the railway infrastructure to increase the profits of the railway and the ability to further invest in the implementation of such projects.

The method of determining the required investments from the sources necessary for the implementation of large-scale projects of public importance, which depend on the internal rate of return on the project, the internal rate of return in the industry and capital investment in the project. Economic justification of the expediency of the organization of high-speed and high-speed traffic in Ukraine is an investment project, which provides for a phased investment in construction, which will further receive annual profits from passenger transportation. To solve this type of problem, it is proposed to use the net discounted income that can be obtained during the project and after its completion. It takes into account the income achieved in a given year of calculation, the costs incurred in the same year, the discount rate set by the investor and the payback period of the project.

If the demand factor for transportation fluctuates, it is possible to calculate the company's income for the following years and determine the payback period of the investment project.

**Keywords:** speed and high-speed transportation, passenger transportation, investment project, implementation.

**Вступ.** Залізниці України до останнього часу забезпечували потреби економіки і населення в перевезеннях завдяки надлишку технічних потужностей, створених за часів СРСР за рахунок централізованого бюджетного фінансування. За більш ніж 25 років капіталовкладення в оновлення основних засобів відбувались виключно за рахунок власних коштів залізниць, що не задовольняло потреб галузі в оновленні основних засобів, особливо рухомого складу. Практично не виділялись кошти з місцевих бюджетів на придбання електро- та дизель-поїздів для перевезень пасажирів у приміському сполученні, збитки від приміських пасажирських перевезень повністю не відшкодовувались. Майже вичерпано резерви провізних спроможностей через граничну зношеність і низьку продуктивність пасажирського рухомого складу. На сьогодні технічний ресурс залізниць практично вичерпано. Потрібні повне технічне переоснащення, оновлення та модернізація об'єктів інфраструктури залізниць [1].

**Мета та задачі дослідження.** Метою дослідження є визначення ефективності впровадження високошвидкісного руху в Україні. Завдання дослідження:

- проаналізувати стан швидкісних і високошвидкісних пасажирських перевезень в Україні, виявити основні чинники, що впливають на можливість впровадження таких перевезень;

- визначити можливу ефективність впровадження в Україні високошвидкісного пасажирського руху.

**Аналіз останніх досліджень.** Питання впровадження швидкісного та високошвидкісного руху в Україні досліджувались у роботах [2–5]. Впровадження високошвидкісного руху потребує вирішення багатьох завдань. Досі проводяться дослідження щодо економічної доцільності, геополітичного розташування, можливих маршрутів, динаміки пасажиропотоків та інше.

Найоптимальнішим варіантом для розвитку високошвидкісного транспорту в Україні є побудова нової магістралі, яка дозволить розділити залізничну лінію окремо для вантажного руху та пасажирського руху, зменшити коефіцієнт знімання та збільшити швидкість вантажних перевезень, їхню вартість за рахунок беззупинного руху та пропускання пріоритетних поїздів. Такий підхід дозволяє повністю реалізувати незалежну економічну модель, що довела свою ефективність у Японії та США [6, 7].

На вибір правильного рішення щодо побудови нової магістралі впливають обсяги пасажиропотоку, а також необхідні потреби в матеріальних, трудових і фінансових ресурсах.

Досвід закордонних країн доводить, що розвиток високошвидкісного залізничного руху підвищив конкурентоспроможність між різними видами транспорту, мобільність населення, скоротив збитковість пасажирських перевезень шляхом залучення додаткових пасажиропотоків і збільшив прибутки.

Тому сьогодні актуальним є завдання впровадження високошвидкісного залізничного руху в Україні.

В Україні через зношеність залізничних колій і рухомого складу максимальна швидкість, з якою можуть рухатися поїзди, – 160 км/год. І це тільки Hyundai. Швидкість вітчизняних поїздів коливається на різних ділянках від 20 до 117 км/год. В Україні нема високошвидкісних перевезень, бо високошвидкісний транспорт – це транспорт, який рухається зі швидкістю більше 200 км/год звичайними коліями та більше 250 км/год спеціалізованими.

Тобто в Україні є тільки швидкісний рух. Проте запуск поїздів з підвищеними швидкостями та меншим часом руху підтверджує їхню доцільність.

Однак в Україні є значна кількість перешкод для розвитку високошвидкісних перевезень. Найголовніше – це відсутність

коштів для модернізації залізничного полотна або побудови спеціалізованих колій, придбання рухомого складу з експлуатаційною швидкістю більше 200 км/год, а також для електрифікації залізничних ділянок, що є екологічно привабливим і дешевим при експлуатації рухомого складу, для побудови високих ухилів і колій з великими радіусами.

Усе перераховане неможливе без державної фінансової підтримки та приватних інвестицій. Усі витрати покриває АТ «Укрзалізниця» при тому, що пасажирські перевезення є збитковими, а підвищення тарифів можливе лише при покращенні якості перевезення.

Україна має всі необхідні потужності для розвитку та впровадження інноваційної технології, проте АТ «Укрзалізниця» не в змозі фінансувати такий дороговартісний проєкт без допомоги держави та приватних інвестицій.

Внаслідок цього слід на початку приділити увагу покращенню стану залізничної інфраструктури для підвищення прибутків АТ «Укрзалізниця» та

можливості в подальшому інвестувати кошти в реалізацію подібних проєктів.

**Основна частина.** У європейських країнах велику увагу приділяють залізничному полотну. Воно є основою комфортної та швидкої поїздки, зменшуються витрати на технічне обслуговування. Наприклад, у Японії не всі колії спеціалізовані, а швидкісні поїзди рухаються з середньою швидкістю 130 км/год при проєктних 400 км/год, однак усе залізничне полотно завжди знаходиться в ідеальному стані, що дає змогу перевозити пасажирів комфортно, швидко та за високі ціни на квитки. У Франції постійно модернізують залізничні лінії, аби досягти більшої надійності та економічності.

Тому слід врахувати європейський досвід і поліпшити залізничну інфраструктуру. Під поліпшенням інфраструктури слід розуміти посилення залізничного полотна та придбання нового швидкісного рухомого складу.

Проведено аналіз динаміки пасажиропотоків на різних видах транспорту за період з 1995 до 2019 рр. (рис. 1, 2).

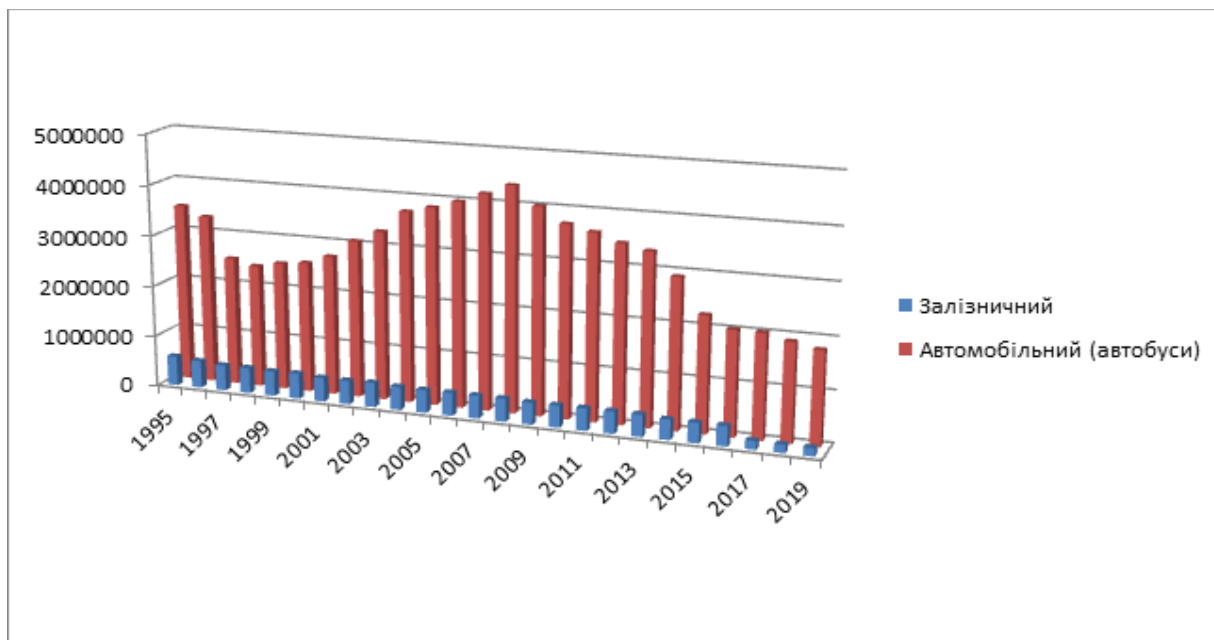


Рис. 1. Аналіз динаміки пасажиропотоків на залізничному та автомобільному транспорті за період з 1995 до 2019 рр.

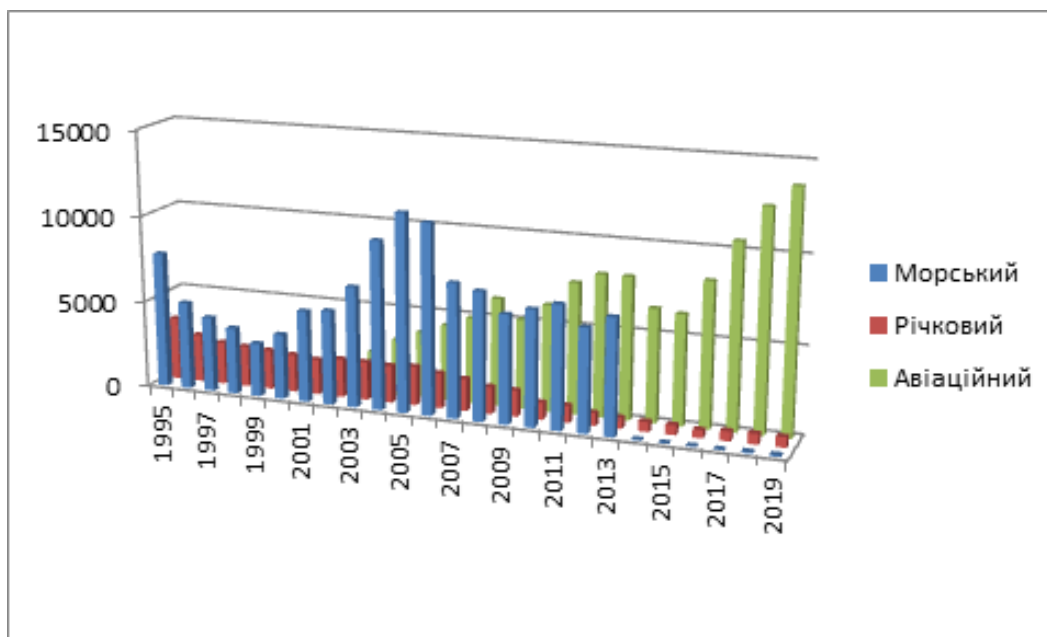


Рис. 2. Аналіз динаміки пасажиропотоків на морському, річковому та авіаційному транспорті за період з 1995 до 2019 рр.

При статистичному аналізі помітне значне скорочення пасажиропотоку на залізничному транспорті. Проте з 2014 р. статистичні дані наведено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій і Луганській областях. Частково це зумовлено значним зносом залізничної інфраструктури і, як наслідок, низькою швидкістю руху. На автомобільному, морському та річковому транспорті пасажиропотік також скоротився.

На авіаційному транспорті, навпаки, спостерігається збільшення кількості перевезених пасажирів і досягнення стабільності. Тобто конкуренцію залізничному транспорті на даному етапі може скласти повітряний, адже це набагато швидше та комфортніше. Конкурувати з повітряним транспортом залізничний може в питаннях безпеки, надійності, масовості, зниження сумарного забруднення довкілля та встановлення низьких тарифів на перевезення. Приблизно така сама ситуація складається і в європейських країнах [8], де залізничний транспорт при перевезеннях на

певні відстані успішно конкурує з іншими відповідними видами транспорту.

Поліпшувати залізничну інфраструктуру спочатку слід у пріоритетних напрямках [9, 10].

Після модернізації залізничної інфраструктури швидкісні поїзди зможуть досягати середньої швидкості 160 км/год, при цьому час руху зменшиться до трьох з половиною годин з урахуванням зупинок на найбільш населених станціях.

Таким чином, можна поступово модернізувати залізничні ділянки, зробити поїздки більш комфортними та швидкими, отримати за рахунок цього прибутки, які можна інвестувати в розвиток пасажирських перевезень і впровадження інноваційних технологій.

У статті наведено метод визначення потрібних інвестицій з джерел, необхідних для реалізації великомасштабних проєктів, що мають суспільну значущість. Реалізація великомасштабного проєкту, що має не тільки економічну, але і соціальну значущість, за рахунок власних коштів підприємства не завжди можлива, тому потрібно долучити до фінансування

інвесторів. Суб'єктами інвестиційної діяльності є інвестори, замовники, підрядники, користувачі об'єктів інвестиційної діяльності та інші особи.

Інвестори – суб'єкти, які здійснюють вкладення власних або залучених коштів в об'єкти інвестиційної діяльності. Як інвестори можуть виступати:

- органи, уповноважені управляти державним і муніципальним майном або майновими правами (державні інвестиції);
- громадяни, підприємства, підприємницькі об'єднання та інші юридичні особи (підприємницькі інвестиції);
- іноземні фізичні та юридичні особи, держави і міжнародні організації (іноземні інвестиції).

Допускається об'єднання коштів інвесторами для здійснення спільного інвестування.

У цьому разі виникає необхідність залучення капіталу зі сторони. Пропонується цільова функція, що дозволяє визначити виходячи з внутрішньої норми прибутковості за великомасштабними проектами суму залучених коштів для реалізації проекту,

$$I = \left( \frac{100\% - \frac{N * 100\%}{Z}}{100\%} \right) * K_{np} \rightarrow \min \quad (1)$$

з системою обмежень

$$\begin{cases} Z \leq N \Rightarrow ЧДД \geq 0 \Rightarrow \text{проект ефективний} \Rightarrow \\ \text{проект приймається} \\ Z > N \Rightarrow ЧДД < 0 \Rightarrow \text{потрібне додаткове джерело,} \end{cases} \quad (2)$$

де  $I$  – сума потрібних інвестицій для реалізації великомасштабних проектів з державних джерел;

$N$  – внутрішня норма прибутковості за проектом;

$Z$  – внутрішня норма прибутковості в галузі;

$K_{np}$  – капітальні вкладення за проектом, грн;

$ЧДД$  – чистий дисконтований дохід, сума поточних вартостей усіх спрогнозованих, з урахуванням норми дисконтування, грошових потоків.

Як норма дисконтування приймається  $\gamma$ . Величину  $\gamma$  призначає головна особа з реалізації проекту – людина, яка здійснює інвестиції. Як  $\gamma$  вона призначає очікувану норму прибутку від інвестицій. Наприклад, вона може прийняти  $\gamma = i$ , де  $i$  – банківська ставка відсотка за строковими депозитами. Якщо виявиться, що  $ЧДД = 0$ , то  $\gamma = i$ , та ефективність (прибутковість) інвестицій дорівнює ефективності (прибутковості)

зберігання грошей на строковому депозиті. Навряд чи в цьому випадку є сенс займатися інвестиціями у виробництво. Якщо  $ЧДД > 0$ , то  $\gamma > i$ , і інвестиції у виробництво ефективні.

Економічне обґрунтування доцільності організації швидкісного та високошвидкісного руху в Україні є інвестиційним проектом, який передбачає поетапне вкладання коштів у будівництво, що дозволить надалі отримувати щорічно прибутки від перевезення пасажирів.

Для розв'язання задач такого типу використовують чистий дисконтний дохід, який можна отримати під час реалізації проекту і після його закінчення. Цей показник визначають за формулою.

$$ЧДД = \sum_{t=0}^T (D_t - Z_t) \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (3)$$

де  $D_t$  – доходи, що досягаються на  $t$ -му році розрахунку;

$Z_t$  – витрати, здійснювані на той самий рік (відповідно до даних залізниці); грн;

$E$  – норма дисконту, що задається інвестором;

$T$  – період розгляду інвестиційного проекту, р.

Доходи транспортного підприємства від перевезень  $D$  можна визначити за формулою

$$D = VP \cdot P_{ав}, \quad (4)$$

де  $VP$  – вартість поїздки, грн;

$P_{ав}$  – величина попиту на перевезення (відповідно до даних залізниці), пас.

Вартість поїздки визначається за формулою

$$VP = DC_{вш} \cdot K_{шв} \cdot L_{роз}, \quad (5)$$

де  $DC_{вш}$  – середня дохідна ставка у високошвидкісному русі, грн/пас.км;

$K_{шв}$  – коефіцієнт підвищення вартості проїзду в пасажирському поїзді залежно від швидкості поїзда;

$L_{роз}$  – розрахункова дальність поїздки, для якої визначається вартість квитків при різних швидкостях руху.

Межа підвищення тарифів визначається за допомогою формули

$$DC_{вш} = DC_{нас} + \frac{C_{год}}{L} (T_{нас} - T_{вш}), \quad (6)$$

де  $DC_{нас}$  – середня дохідна ставка в пасажирському русі, грн/пас.км;

$C_{год}$  – оцінка часу пасажирів, грн/пас.год;

$L$  – дальність перевезень у високошвидкісному русі, км;

$T_{нас}$  – час перебування пасажирів в дорозі на відстань, що дорівнює середній дальності перевезень у пасажирському русі, год;

$T_{вш}$  – середній час поїздки пасажирів у високошвидкісному русі на відстань, що дорівнює середній дальності перевезень у високошвидкісному русі, год.

Термін окупності визначається за формулою

$$T = \frac{K}{P} + 1, \quad (7)$$

де  $K_{пр}$  – капітальні вкладення, грн;

$P$  – річний прибуток, грн.

За умови коливання чинника попиту на перевезення можна розрахувати доходи підприємства за наступні роки.

Для прикладу в роботі наведено результати розрахунків ЧДД на напрямку Київ–Львів за конкретними вихідними даними (табл. 1–5, рис. 3). Будівництво високошвидкісної магістралі планується протягом одного року і з міста Києва до Львова та зі Львова до Києва, що обґрунтовано достатнім пасажиропотоком, потужністю будівельних організацій і розташуванням ремонтних підрозділів.

Таблиця 1

Інвестиції в будівництво високошвидкісної магістралі

Найменування ділянки		Довжина ділянки, км	Інвестиції в будівництво за даними фірми «SYSTRA», млн євро
Початок	Кінець		
Київ	Біла Церква	65	327,3
Біла Церква	Вінниця	130	667,1
Вінниця	Хмельницький	110	564,4
Хмельницький	Тернопіль	105	511,4
Тернопіль	Львів	120	613,5
Разом		530	2683,7

Таблиця 2

## Загальні капіталовкладення

Найменування дільниці	Довжина дільниці, км	Капітальні вкладення у ВШМ, млн грн	Кількість поїздів, од	Вартість рухомого складу, млн грн	Вартість станцій млн євро	Вартість ремонтних підрозділів, млн євро	Загальні капіталовкладення, млн євро
Київ-Біла Церква	65	327,3	3	60	43,9	61,5	432,7
Біла Церква-Вінниця	130	667,1			17,3		684,4
Вінниця-Хмельницький	110	564,4			17,3		581,7
Хмельницький-Тернопіль	105	511,4			17,3		528,7
Тернопіль-Львів	120	613,5			43,9	61,5	718,9
Разом	530	2683,7	3	60	139,7	123,0	3006,4

Таблиця 3

## Робочий парк високошвидкісних поїздів

Початкова станція	Зупинки	Кінцева станція	Кількість відправлених пасажирів, тис.	Відстань, км	Час у дорозі, год	Кількість оборотів за добу	Кількість поїздів, од
Київ	Вінниця, Хмельницький, Тернопіль	Львів	1432,5	530	2,7	2,0	3,0

Таблиця 4

## Результати розрахунків вартості поїздки

Розрахункова швидкість високошвидкісного поїзда, км/год	Швидкість швидкісного пасажирського поїзда, км/год	Приріст швидкості руху пасажирського поїзда, км/год	Економія терміну поїздки, год	Існуюча дохідна ставка, євро/пас.км	Приріст дохідної ставки, євро/пас.км	Нова дохідна ставка без урахування коефіцієнта швидкості, євро/пас.км	Коефіцієнт підвищення вартості поїздки залежно від швидкості поїзда	Нова дохідна ставка з урахуванням коефіцієнта швидкості, євро/пас.км	Середня вартість поїздки без ПДВ на 530 км, євро
300	120	180	3,85	0,09	0,05	0,14	3,5	0,49	25,24



Таблиця 5

Розрахунки чистого дисконтного доходу за напрямком Київ-Львів після введення в експлуатацію ВШМ, млн євро

Рік	Доходи від перевезень	Експлуатаційні витрати	Амортизаційні відрахування	Капітальні вкладення	Чистий дохід	Коефіцієнт дисконтування	Чистий дисконтний дохід
1	0	0	0	3006,4	-3006,4	1	-3006,4
2	264,40	167,72	58,34	-	-2779,37	0,95	-2640,40
3	277,62	167,72	58,34	-	-2633,47	0,91	-2396,46
4	291,50	167,72	58,34	-	-2379,35	0,87	-2070,03
5	306,08	167,72	58,34	-	-2186,47	0,78	-1705,44
6	321,38	167,72	58,34	-	-2015,96	0,74	-1491,81
...	...	...	...	...	...		...
16	523,49	167,72	58,34	-	182,69	0,36	65,77



Рис. 3. Діаграма залежності ЧДД від терміну окупності проекту

Як бачимо, термін окупності вкладень настає на 16 рік.

**Висновки.** У статті проведено аналіз стану швидкісних і високошвидкісних пасажирських перевезень в Україні. Зроблено висновок про основні чинники, що впливають на впровадження таких перевезень, – недостатність державної фінансової підтримки та приватних

інвестицій для модернізації залізничного полотна або побудови спеціалізованих колій, придбання спеціального рухомого складу. Також розглянуто ефективність впровадження і розвитку в Україні проектів високошвидкісного пасажирського руху на основі розрахунків розмірів потрібних інвестицій у проєкт з визначенням терміну окупності.

#### Список використаних джерел

1. Інформація про Українські залізниці. URL: <https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-ukrainski-zalznici.html> (дата звернення: 14.09.2020).

2. Шляхи удосконалення технологій мультимодальних швидкісних пасажирських перевезень / Д. В. Ломотько, Д. Г. Воскобойников, М. С. Листопад, А. Д. Сірадчук. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2017. Вип. 13. С. 59-66.
3. Розроблення раціональної топології мережі швидкісних залізничних перевезень на основі методів колективного / А. В. Прохорченко, Л. О. Пархоменко, А. І. Дубчак, Є. О. Сільченко. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2012. Вип. 133. С. 39-45.
4. Butko T., Prokhorchenko A., Golovko T., Prokhorchenko G. Development of the method for modeling the propagation of delays in non-cyclic train scheduling on the railroads with mixed traffic. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. Vol. № 3(91). P. 30-40.
5. Бараш Ю. С., Момот А. В. Удосконалена методика визначення економічної ефективності будівництва та експлуатації високошвидкісної магістралі в Україні. *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2013. Вип. 6. С. 7-22.
6. Найшвидші поїзди. URL: <https://proexpress.com.ua/uk/samye-bystrye-poezda/> (дата звернення: 14.08.2020).
7. Высокоскоростное движение США. URL: [https://pikabu.ru/story/vyisokoskorostnoe\\_dvizhenie\\_ssha\\_6521802](https://pikabu.ru/story/vyisokoskorostnoe_dvizhenie_ssha_6521802) (дата звернення: 14.09.2020).
8. Li Wang, Li-min Jia, Yong Qin, Jie Xu, Wen-ting Mo. A two-layer optimization model for high-speed railway line planning. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*. 2011. Vol. 12. Is. 12. P. 902-912.
9. Впровадження інноваційних технологій в пасажирських перевезеннях / С. М. Продащук, Г. В. Шаповал, О. В. Тоцька та ін. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 178. С. 28-41.
10. Ковальов А. О., Пропплеткіна А. Є., Богатирьова В. Д. Визначення ефективності впровадження і розвитку високошвидкісного руху в Україні. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 164. С. 154-159.

---

Ковальов Антон Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-21-97. E-mail: kovalov.uvkr@kart.edu.ua ORCID iD: 0000-0001-8546-3183.

Продащук Світлана Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-21-97. E-mail: [sp7728@ukr.net](mailto:sp7728@ukr.net). ORCID iD: 0000-0002-7673-3863.

Слободянюк Віталій Олександрович, магістрант групи TEMPUS-19 Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0954767716.

Шульженко Іван Іванович, магістрант групи TEMPUS-19 Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0509547646.

Горбатенко Ольга Вікторівна, магістрант групи TEMPUS-19 Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0992247133.

Kovalov Anton, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Cargo and Commercial Work Management, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-21-97. E-mail: kovalov.uvkr@kart.edu.ua. ORCID iD: 0000-0001-8546-3183.

Prodashchuk Svitlana, PhD (Tech), Associate Professor, Department of Cargo and Commercial Work Management, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-21-97. E-mail: [sp7728@ukr.net](mailto:sp7728@ukr.net). ORCID iD: 0000-0002-7673-3863.

Slobodianiuk Vitalii, master of the group TEMPUS-19 Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 0509547646.

Shulzhenko Ivan, master of the group TEMPUS-19 Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 0509547646.

Horbatenko O. master of the group TEMPUS-19 Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 0992247133.

Статтю прийнято 18.09.2020 р.