



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ПІВНІЧНО-СХІДНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
ТРАНСПОРТНОЇ АКАДЕМІЇ УКРАЇНИ**

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Випуск 187

Харків 2019

УДК 656.2(062)

У Збірнику наукових праць УкрДУЗТ відображені матеріали та наукові розробки вчених і спеціалістів залізничного транспорту, наукових установ і промисловості з вирішення сучасних задач та проблем організації перевезень та управління на транспорті, рухомого складу і тяги поїздів, транспортного будівництва та залізничної колії, автоматики, телемеханіки та зв'язку.

Збірник наукових праць УкрДУЗТ призначений для інженерно-технічних працівників, магістрантів, студентів і науковців залізничного транспорту та промисловості.

З електронною версією збірника можна ознайомитися на сайті:
http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe.

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (Польща).

З реєстрацією збірника можна ознайомитися на сайті
<http://jml2012.indexcopernicus.com>.

Google Scholar профіль: <https://scholar.google.com.ua>

Веб-сторінка збірника: <http://znp.kart.edu.ua>

Реферативна база

"Наукова періодика України": <http://csw.kart.edu.ua>

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р.
Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 7 від 29 жовтня 2019 р.

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до списку друкованих (електронних) періодичних видань, що включаються до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України від 15.10.2019 р. № 1301).

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)

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)

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-
Universitet Weimar F.A., Німеччина)
Опанасенко О. В., 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)

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)

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)

- Ромашко О. В., Ромашко В. М.* Основи моделювання багаторівневого утворення нормальних тріщин у залізобетонних елементах і конструкціях 6
- Гончаренко Д. Ф., Алейнікова А. І., Гуділін Р. І.* Експериментальні випробування клінкерної цегли щодо доцільності її використання для відновлення каналізаційних колекторів 14

Транспортні технології (275)

- Ломотько Д. В., Корнійчук С. Г., Кравченко Д. М.* Удосконалення системи управління ланцюгами постачання на базі стандарту UN/EDIFACT 22
- Скуріхін Д. І., Дим'ячук М. А.* Особливості застосування штучної нейронної мережі для розпізнавання номерів вагонів 30
- Дубровская Т. А., Ковтун П. В.* Критерий эффективности реконструкции линии для скоростного движения пассажирских поездов 36
- Бауліна Г. С., Богомазова Г. Є., Мішков В. С.* Розробка моделі формування ступінчастих маршрутів із зерновими вантажами на залізницях України 42
- Стадник В. І., Лиходій О. С., Сакно О. П., Колеснікова Т. М.* Організація транспортного процесу міста шляхом доцільності модернізації маршруту 53

Залізничний транспорт (273)

- Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А., Ткачук М. Р.* Визначення факторів, що впливають на надійність роботи гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів 63

Механічна інженерія (131, 132, 133)

- Удовікова С. В., Акмен В. О., Гайдар С. М., Зайцев Ю. І.* Удосконалені конструкції похилих ківшових елеваторів для сипких матеріалів з відрізком гнучкої стрічки 75

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ (192)

УДК 624.012.35:620.173/174

ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОРІВНЕВОГО УТВОРЕННЯ НОРМАЛЬНИХ ТРІЩИН У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТАХ І КОНСТРУКЦІЯХ

Старш. викл. О. В. Ромашко, д-р техн. наук В. М. Ромашко

MODELING BASICS OF MULTILEVEL NORMAL CRACKS FORMATION IN REINFORCED CONCRETE ELEMENTS AND STRUCTURES

Sr. Lecturer O. V. Romashko, D. Sc. (Tech.) V. M. Romashko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.187.2019.196273>

Розроблено модель багаторівневого утворення нормальних тріщин. У її основу покладено найважливіші закономірності зчеплення арматури з бетоном. Виникнення перших нормальних тріщин першого рівня розраховують за граничними деформаціями розтягнутого бетону, що фіксуються за екстремальним критерієм його міцності. Відстані між тріщинами визначають за умовою рівноваги максимальних зусиль у розтягнутому бетоні та зусиль активного зчеплення на ділянці між тріщинами. Зусилля активного зчеплення пропонується обчислювати за нелінійною функцією середніх напружень цього зчеплення, обґрунтованою степеневим виразом.

Ключові слова: залізобетонні елементи, модель та рівні утворення тріщин, середні напруження зчеплення арматури і бетону.

The model of consistent multilevel normal cracks formation is an integral part of the generalized deformation and force model of reinforced concrete elements and structures resistance by force influences. It is based on the most important patterns of reinforcement adhesion with concrete. It is based on the fundamental relationships of the mechanics of a deformed solid, which are expressed by the generally recognized system of static, geometric, and physical relations. To reveal the internal static uncertainty of the reinforced concrete elements cross-section, this system is supplemented by the analytical dependence of the state diagram of the reinforced concrete element and the function of compressed concrete boundary deformation.

The first normal cracks occurrence of the first level in the reinforced concrete element is determined by the boundary deformations of the stretched concrete, which are fixed by the extreme criterion of its strength.

The distances between the cracks are determined by the equilibrium of the maximum forces in the stretched concrete and the active adhesion forces in the area between the cracks. The force of reinforcement active coupling with concrete is proposed to be calculated by the nonlinear function of the average stresses of this coupling, justified by the power of expression. It is shown that for a centrally stretched reinforced concrete element, the distance between the first level cracks is inversely proportional to its reinforcement coefficient. The magnitude of the normal stresses in the tensile reinforcement at which cracks of the second level will begin to form is established.

It is substantiated why for bending reinforced concrete elements the distances between normal cracks of new and previous levels will always differ from each other. In the developed

model, the width of the most dangerous normal crack opening is calculated from the positions of successive accumulation of reinforcement and concrete mutual displacements.

The developed technique is the basis of the engineering method of calculating the formation and discrete cracks opening at the operational stages of reinforced concrete elements deformation.

Keywords: reinforced concrete elements, model and levels of cracks formation, average adhesion stresses of reinforcement and concrete.

Вступ. Питання тріщиностійкості залізобетонних елементів і конструкцій завжди були одними із пріоритетних у теорії бетону та залізобетону. При проектуванні зазначених елементів завжди виникала необхідність у розрахунку основних параметрів, здатних якнайточніше характеризувати їх напружено-деформований стан у експлуатаційній стадії.

У силових моделях реальний процес утворення та розвитку тріщин неможливо було відтворити навіть наближено. Обумовлювалося це тим, що в їх основу закладалися ідеалізовані прямокутні епюри напружень у стиснутому бетоні без залучення до розрахунків гіпотези плоских перерізів.

Запровадження деформаційних моделей у сучасну практику проектування залізобетонних елементів і конструкцій заклало певні можливості відтворення реальних процесів багатоступеневого утворення та розкриття тріщин завдяки використанню дійсних діаграм деформування матеріалів та гіпотези плоских перерізів. Однак зазначені можливості у більшості випадків украй важко реалізувати через внутрішню статичну невизначеність перерізу залізобетонних елементів і конструкцій.

Ще більшими можливостями щодо ефективного моделювання реального процесу послідовного багатоступеневого утворення та розкриття тріщин наділена деформаційно-силова модель опору залізобетонних елементів і конструкцій силовим впливам. Ці можливості обумовлені насамперед використанням додаткової аналітичної залежності узагальненої діаграми стану залізобетонних елементів «момент-кривина».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням тріщиностійкості залізобетонних елементів і конструкцій присвячено багато робіт вітчизняних та закордонних дослідників [1]. Однак дослідження, у яких відтворювалися б реальні процеси поступового багаторівневого утворення тріщин, на сьогодні є дуже обмеженими. Їх об'єднує те, що всі вони супроводжуються безпосереднім моделюванням зчеплення арматури з бетоном. Взаємодія арматури з бетоном вибудовується за основними положеннями механіки деформованого твердого тіла або механіки руйнування.

У рамках механіки деформованого твердого тіла багаторівневе утворення тріщин моделюється за допомогою:

- діаграм зміщення арматури відносно розтягнутого бетону на ділянках між суміжними тріщинами [2–4];
- середніх напружень зчеплення арматури з бетоном у блоці між нормальними тріщинами [5].

Відтворити процес зчеплення арматури з бетоном за допомогою діаграм їх взаємного зміщення доволі складно. Результати численних досліджень показують, що сам вигляд зазначених діаграм у процесі деформування залізобетонних елементів і конструкцій постійно змінюється [6–9]. Тому їх безпосереднє інтегрування задля визначення зусиль зчеплення стає практично неможливим.

Водночас середні напруження зчеплення арматури з бетоном дають змогу у найпростіший спосіб моделювати процеси багаторівневого утворення тріщин. Однак реалізація цього способу в дослідженнях [5] викликає низку серйозних застережень щодо:

- лінійності зв'язку між середніми напруженнями зчеплення арматури з бетоном та крайовими нормальними напруженнями в арматурному стержні незалежно від рівня деформування залізобетонного елемента;

- правомірності визначення в залізобетонному елементі першої тріщини першого рівня за екстремальним критерієм $dM_w / d\varepsilon = 0$;

- правомірності використання виразу $dM / d\varepsilon = 0$ як екстремального критерію загалом.

Моделювання багаторівневого утворення тріщин у рамках механіки руйнування здійснюється за допомогою «двоконсольного» елемента в перерізі з тріщиною [10, 11] або строго числовими способами [12–15].

Модель «двоконсольного» елемента в перерізі з тріщиною на сьогодні залишається доволі складною, а в окремих питаннях навіть суперечливою. Зокрема, зменшення деформацій розтягнутого бетону в зоні досліджуваних тріщин автори [10, 11] пояснюють появою в цій зоні стискаючих напружень. А чи не є причиною подібного явища деформації пружної післядії, що проявляються з поступовим послабленням зчеплення арматури з бетоном при утворенні нових тріщин? Крім того, для цієї моделі ретельна ув'язка напружено-деформованого стану залізобетонного елемента із закономірностями зчеплення арматури з бетоном теж залишається доволі проблематичною.

Числові способи [12–15] є ітераційними, а тому реалізуються тільки

програмно за допомогою методу скінченних елементів. Їх інженерна осяжність доволі часто втрачається, оскільки повністю або частково нівелюється фізична сутність не тільки процесів зчеплення арматури з бетоном, але й стадій утворення тріщин у залізобетонному елементі.

Мета та задачі досліджень. Ці дослідження спрямовані на розробку узагальненої моделі послідовного багаторівневого утворення нормальних тріщин у залізобетонних елементах і конструкціях. Зазначену модель пропонується покласти в основу інженерного методу розрахунку ступеневого утворення і розкриття тріщин на будь-якій стадії деформування залізобетонних елементів. При цьому до вирішення ставиться два основних завдання:

- розроблювана модель повинна залишитись інженерно осяжною;

- вона повинна з однаковим успіхом реалізовуватися як у числових, так і в аналітичних (експресних) розрахунках тріщиностійкості залізобетонних елементів та конструкцій.

Основна частина досліджень. Насамперед зауважимо, що розроблювана модель послідовного багаторівневого утворення нормальних тріщин виступає складовою частиною узагальненої деформаційно-силової моделі опору залізобетонних елементів і конструкцій силовим впливам. Тому вона теж ґрунтується на основних співвідношеннях механіки деформованого твердого тіла (МДТТ), що виражені загальноновизнаною системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} & \bullet \text{ статичних } M = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s), \quad N = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s); \\ & \bullet \text{ геометричних } 1/r = f(\varepsilon_c, \varepsilon_{ct}, \varepsilon_s); \\ & \bullet \text{ фізичних (стану матеріалів) } \sigma_c = f(\varepsilon_c), \sigma_{ct} = f(\varepsilon_{ct}), \sigma_s = f(\varepsilon_s) \end{aligned} \right\} (1)$$

з її доповненням аналітичною залежністю діаграми стану елемента $M - 1/r$ та функцією граничних деформацій стиснутого

бетону $\varepsilon_{cu} = f(\varepsilon_{si}, \rho_{li}, x_{si}, m_h, m_b)$ в залізобетонному елементі [1].

За таких умов виникнення перших нормальних тріщин першого рівня в залізобетонному елементі розраховують за граничними деформаціями розтягнутого бетону ε_{ctu} , що фіксуються за екстремальним критерієм його міцності $dN_{ct} / d\varepsilon_{ct} = 0$ або несучої здатності $dM_{ct} / d(1/r) = 0$ чи приймаються рівними $\varepsilon_{ctu} = 2f_{ctk} / E_{c0}$. Застосування критерію $dM_w / d\varepsilon = 0$ для визначення моменту появи тріщин [4] не є коректним, оскільки у цьому випадку максимальну несучу здатність втрачає тільки розтягнутий бетон, а не елемент у цілому. До того ж вираз $dM / d\varepsilon = 0$ не можна вважати критерієм взагалі. На відміну від вказаного виразу критерій Ферма $dM / d(1/r) = 0$ за фізичним змістом характеризує жорсткість (E_c – для центрально завантажених бетонних елементів, EA – для центрально завантажених залізобетонних елементів, EI – для згинальних та позацентрово завантажених елементів), за якою зазначені елементи втрачають свою несучу здатність.

Що ж до відстаней між тріщинами s_{r1} , то їх необхідно визначати за умовою рівноваги максимальних зусиль у розтягнутому бетоні $N_{ct,cr} = f(\varepsilon_{ctu})$ та зусиль активного зчеплення на ділянці між тріщинами $N_{bd,cr}$. Зазначене зусилля

активного зчеплення арматури з розтягнутим бетоном пропонується обчислювати за нелінійною функцією середніх напружень цього зчеплення τ_{bmi} , обґрунтованою в [16, 17] таким степеневим виразом:

$$\tau_{bmi} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctk} \cdot (\sigma_{si} / \sigma_y)^{1-1/\eta_s} \quad (2)$$

де η_1 – коефіцієнт, що враховує профіль арматури [1] за критерієм Рема;

η_2 – коефіцієнт, що враховує вплив діаметра арматури [18, 19];

f_{ctk} – характеристичне значення міцності бетону на розтяг;

σ_{si} – напруження в арматурі у перерізі з тріщиною відповідного рівня;

σ_y – граничні напруження в арматурі ($\sigma_y = f_{yk}$);

$1/\eta_s$ – параметр інтенсивності зчеплення (для арматури періодичного профілю $\eta_s = \eta_1$, для арматури гладкого профілю $\eta_s = 6 \cdot \eta_1$).

Тоді, з урахуванням вищевикладеного, відстань між двома суміжними тріщинами першого рівня на рівні центра ваги розтягнутої арматури, за напружень у ній $\sigma_{s1} = \varepsilon_{ctu} \cdot E_s$, слід обчислювати за виразом

$$s_{r1} = \frac{\varnothing_s}{4 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctk} \cdot (\varepsilon_{ctu} \cdot E_s / f_{yk})^{1-1/\eta_s}} \cdot \frac{N_{ct,cr}}{A_s} \quad (3)$$

Для центрально розтягнутого елемента (рис. 1) відстань між зазначеними тріщинами буде обернено пропорційною до

коефіцієнта його поздовжнього армування $\rho_{l,t} = A_s / N_{ct,cr}$

$$s_{r1} = \frac{\varnothing_s}{4 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot (\varepsilon_{ctu} \cdot E_s / f_{yk})^{1-1/\eta_s} \cdot \rho_{l,t}} \quad (4)$$

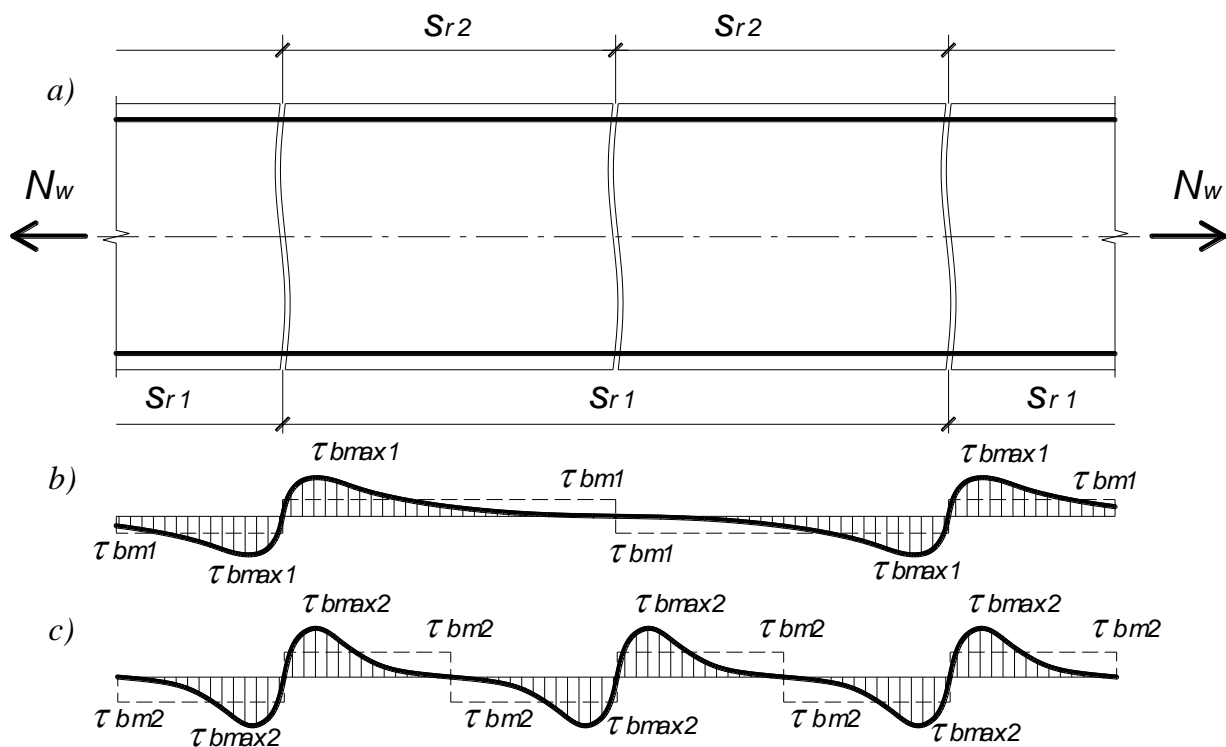


Рис. 1. Схема (а), перший (b) та другий (c) рівні утворення тріщин у центрально розтягнутому елементі з відповідними епюрами напружень зчеплення

Якщо врахувати, що відстань між тріщинами другого рівня зменшиться вдвічі $s_{r2} = s_{r1} / 2$, то напруження, за яких ці

тріщини почнуть утворюватися, можна визначати за такою залежністю:

$$\sigma_{s2} = f_{yk} \cdot \left(\frac{\varnothing_s}{2 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot s_{r1} \cdot \rho_{l,t}} \right)^{\frac{\eta_s}{\eta_{s-1}}} \quad (5)$$

У згинальних елементах (рис. 2) відстані між суміжними тріщинами першого рівня теж слід обчислювати за виразом (3), але максимальні зусилля в бетоні розтягнутої зони $N_{ct,cr} = f(\varepsilon_{ctu})$ необхідно визначати з використанням системи рівнянь (1). Оскільки нормальні напруження в арматурі у межах ділянок між тріщинами є змінними, то середні напруження зчеплення на цих ділянках за

виразом (2) теж будуть різними. А це означає, що відстані між нормальними тріщинами нових та попередніх рівнів (рис. 2) теж завжди різнитимуться між собою. Зогляду на рівність зусиль зчеплення [17] по обидва боки від імовірної тріщини другого рівня, відстані до неї від тріщин першого рівня (рис. 2) визначатимемо за такими виразами:

$$s_{r2,1} = \frac{s_{r1,1} \cdot \tau_{bm2,2}}{\tau_{bm2,1} + \tau_{bm2,2}}; \quad s_{r2,2} = \frac{s_{r1,1} \cdot \tau_{bm2,1}}{\tau_{bm2,1} + \tau_{bm2,2}} \quad (6)$$

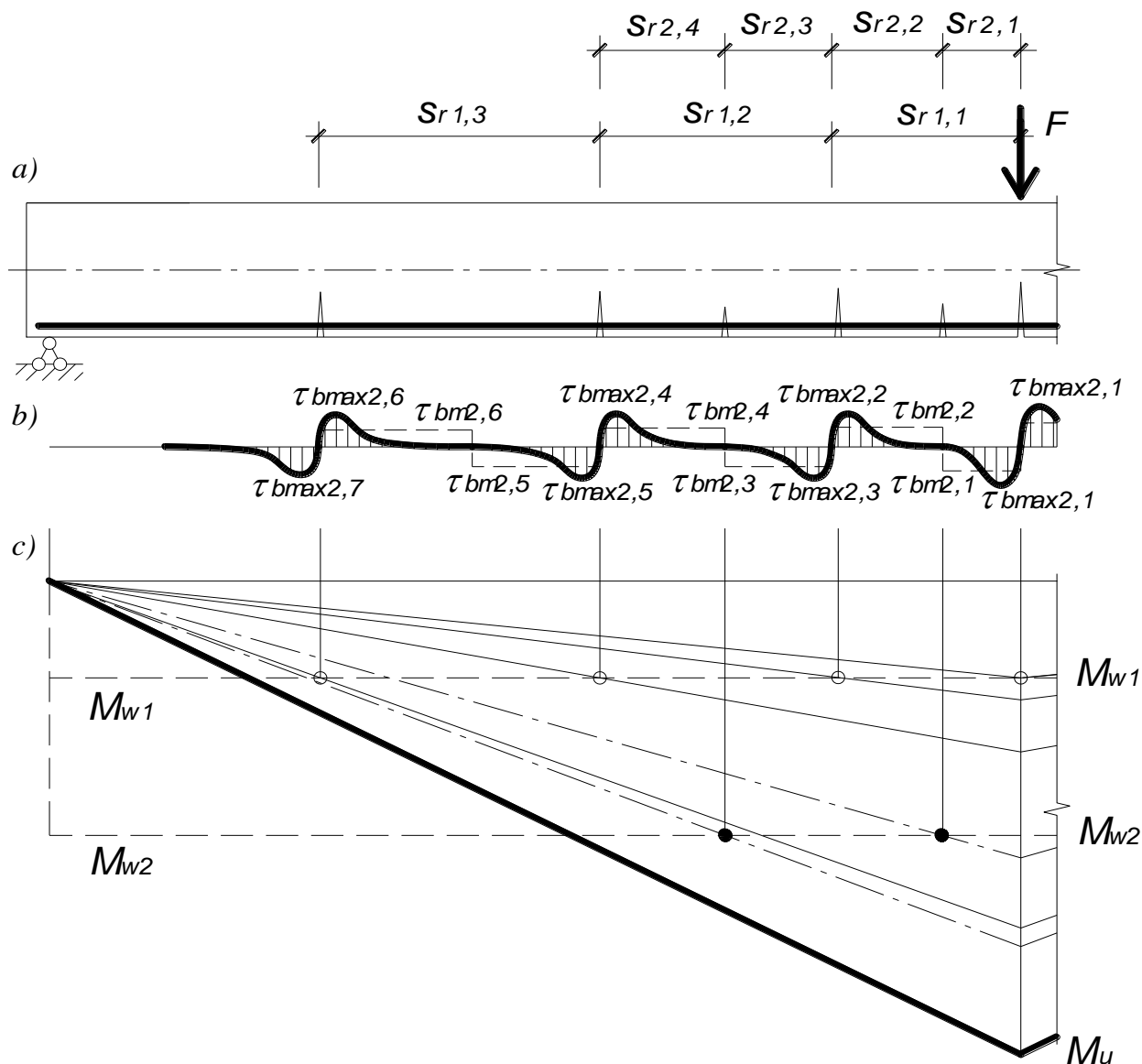


Рис. 2. Схема рівневого утворення тріщин (а), відповідні епюри напружень зчеплення (b) та моментів (c) у згинальному елементі

Аналогічно визначаються відстані і між тріщинами всіх попередніх та наступних рівнів. Для більшості залізобетонних елементів достатньо розглянути 2...3 рівні утворення тріщин.

Розкриття нормальних тріщин розраховуємо згідно з гіпотезою Томаса з позицій послідовного накопичення взаємних зміщень арматури і бетону

$$w_k = 2 \int_i^{0,5s_r} \varepsilon_\tau(z) dz$$

на ділянках активного

зчеплення, розміщених з обох боків від тріщини [17]. Пряме інтегрування залежності взаємних зміщень арматури і бетону $\varepsilon_\tau(z)$ виконати практично не можливо, оскільки вона не може бути описана єдиною неперервною функцією. Тому загальну ширину розкриття найнебезпечнішої нормальної тріщини пропонується обчислювати за спрощеною формулою

$$w_k = s_{r1,1} \cdot (\varepsilon_{sm,1} + \varepsilon_{sm,2} + \Delta\varepsilon_{sm,2} - \varepsilon_{ctm}) - s_{r2,1} \cdot (\varepsilon_{sm,2} + \Delta\varepsilon_{sm,2} - \varepsilon_{ctm}), \quad (7)$$

де $\varepsilon_{sm,1}$ – приріст середніх відносних деформацій розтягнутої арматури на ділянці між тріщинами від початку завантаження до моменту утворення другої (наступної) тріщини першого рівня;

$\varepsilon_{sm,2}$ – те ж саме від появи другої (наступної) тріщини першого рівня до моменту утворення тріщини другого рівня;

$\Delta\varepsilon_{sm,2}$ – те ж саме від появи тріщини другого рівня до моменту досягнення експлуатаційного навантаження;

ε_{ctm} – середні значення граничних деформацій розтягнутого бетону на ділянках між тріщинами.

Середні деформації арматури на ділянках між тріщинами слід визначати безпосередньо за діаграмою стану елемента $M - 1/r$ при використанні гіпотези плоских $\varepsilon_{sm,i} = f(1/r)$. Середні деформації розтягнутого бетону на відповідній ділянці можна обчислювати згідно із [17] або взагалі не враховувати.

Висновки. Таким чином, завдяки вищенаведеним дослідженням розроблена модель рівневого утворення та розкриття нормальних тріщин, яка:

- виступає складовою частиною узагальненої моделі деформування залізобетонних елементів;
- зберігає фізичну сутність та враховує найважливіші закономірності процесів зчеплення арматури з бетоном;
- є універсальною, бо залишається прийнятною для будь-яких залізобетонних елементів і конструкцій, що зазнають як однорідного, так і неоднорідного деформування;
- покладена в основу експрес-методів розрахунку утворення та розкриття нормальних тріщин;
- є узагальненою, бо пов'язує рівні утворення тріщин у залізобетонних елементах з основними параметрами їх напружено-деформованого стану (кривою $1/r_i$, згинаючими моментами M_i , напруженнями в арматурі $\sigma_{s,i}$ та її деформаціями $\varepsilon_{s,i}$ тощо);
- залишається інженерно осяжною та придатною як до програмної, так і інженерної реалізації в практичних розрахунках.

Список використаних джерел

1. Ромашко В. М. Деформаційно-силова модель опору бетону і залізобетону: монографія. Рівне: О. Зень, 2016. 424 с.
2. Майоров В. И., Кузьмин П. К. От условной к точной модели расчета трещиностойкости железобетонных сечений. *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2011. № 2. С. 22–28.
3. Alvarez M. Einfluss des Verbundverhaltens auf das Verformungsvermögen von Stahlbeton: Abhandlung zur Erlangung des Titels Doktor der Technischen Wissenschaften. Zürich: Eidgenössischen Technischen Hochschule, 1998. 189 p.
4. Khalfallah S. Tension stiffening bond modelling of cracked flexural reinforced concrete beams. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2008. Vol. 14, No. 2. P. 131–137. (Web of Seins).
5. Кочкаръов Д. В. Нелінійний опір залізобетонних елементів і конструкцій силовим впливам: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.01. Полтава, 2018. 44 с.
6. Mirza S. A., Houde J. Study of Bond-Slip Relationships in Reinforced Concrete. *ACI Journal*. January 1979. Vol. 76, No.1. P. 19–46. (SCOPUS).

7. Eligehausen R., Popov E. P., Bertero V. V. Local bond stress-slip relationships of deformed bars under generalized excitations: Report No. UCB/EERC-83/23. Berkeley: Earthquake Engineering Research Center of California University, 1983. 169 p.
8. Shima H., Chou L.-L., Okamura H. Micro and macro models for bond in reinforced concrete. *Journal of the Engineering Faculty of Tokyo University*. 1987. Vol. XXXIX, No. 2. P. 133–194.
9. Harajli M. H., Hout M.A., Jalkh W. Local bond stress-slip behavior of reinforced bars embedded in plain and fiber concrete. *ACI Materials Journal*. 1995. Vol. 92, No. 4. P. 343–353. (SCOPUS).
10. Бондаренко В. М., Колчунов В. И. Расчётные модели силового сопротивления железобетона: монография. Москва: АСВ, 2004. 472 с.
11. Яковенко І. А. Моделі деформування залізобетону на засадах механіки руйнування: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.01. Полтава, 2018. 44 с.
12. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. Москва: Стройиздат, 1996. 416 с.
13. Веселов А. А. Нелинейная теория сцепления арматуры с бетоном и ее приложения: дис. д-ра техн. наук: 05.23.01 / Санкт-Петербургский гос. арх.-строит. ун-т. Санкт-Петербург, 2000. 320 с.
14. Конечно-элементное моделирование процессов неупругого деформирования и разрушения элементов железобетонных конструкций / А. В. Бенин и др. *Морские интеллектуальные технологии*. 2011. № 3. С. 105-108.
15. Process of cracking in reinforced concrete beams (simulation and experiment) / I. N. Shardaikov et al. *Frattura ed Integrità Strutturale*. 2016. Vol. 38. P. 339–350. (SCOPUS).
16. Ромашко О. В., Ромашко В. М. Щодо оцінювання зчеплення арматури з бетоном. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ. 2018. Вип. 179. С. 92–99.
17. Ромашко В. М., Ромашко О. В. Розрахунок тріщиностійкості залізобетонних елементів з урахуванням рівнів утворення нормальних тріщин. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ. 2018. Вип. 181. С. 58-65.
18. ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 01.06.11]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с. (Стандарт України).
19. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. [Final Draft, December, 2004]. Brussels: CEN. 2004. 225 p. (Європейський стандарт).

Ромашко Олена Василівна, старш. викл. кафедри основ архітектурного проектування, конструювання і графіки Національного університету водного господарства та природокористування. Тел.: (096) 131-99-17.

E-mail: romashkoolena@gmail.com.

Ромашко Василь Миколайович, д-р техн. наук, доцент, завідувач кафедри основ архітектурного проектування, конструювання і графіки Національного університету водного господарства та природокористування.

Тел.: (097) 595-75-91. E-mail: romashkovasy1@gmail.com.

Romashko Olena Vasylivna, Senior Lecturer, Department of Architectural Designing Bases, Constructing and Graphics, National University of Water Management and Nature Recourses Use. Tel.: (096) 131-99-17.

E-mail: romashkoolena@gmail.com.

Romashko Vasy1 Mykolayovych, D. Sc. (Tech.), associate professor, head of Chair of Architectural Designing Bases, Constructing and Graphics National University of Water Management and Nature Recourses Use. Tel.: (097) 595-75-91.

E-mail: romashkovasy1@gmail.com.

Статтю прийнято 10.10.2019 р.

УДК 624.01

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ КЛІНКЕРНОЇ ЦЕГЛИ ЩОДО
ДОЦІЛЬНОСТІ ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ
КОЛЕКТОРІВ**

Д-р техн. наук Д. Ф. Гончаренко, канд. техн. наук А. І. Алейнікова, асп. Р. І. Гуділін

**EXPERIMENTAL TESTING OF CLINCER BRICK FOR SUITABILITY USING FOR
SEWER COLLECTORS RECONSTRUCTION**

D. Sc. (Tech.) D. Goncharenko, PhD (Tech.) A. Aleinikova, postgraduate student R. Hudilin

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.187.2019.196303>

Статтю присвячено експериментальним випробуванням клінкерної цегли щодо доцільності її використання при відновленні каналізаційних колекторів. У роботі досліджено характеристики 18 зразків цегли, що були випробувані до та після перебування їх у агресивному середовищі однієї із шахт каналізаційного колектора. Отримано результати, за якими обрано перелік зразків клінкерної цегли, що здатні протидіяти газовій корозії та доцільні у використанні при відновлювальних роботах мереж водовідведення.

Ключові слова: каналізаційний колектор, знос, корозія, відновлення, цегла.

The article is devoted to the experimental testing of clinker bricks for the expediency of its use in the restoration of sewage collectors. The article provides a review of publications in the field of improving the operational reliability of sewer collectors. It was determined that, depending on the emergency, it is advisable to use traditional methods of repairing collectors using materials that can withstand biogenic corrosion. The purpose of this work is to conduct experimental testing of samples of bricks, presented on the market of Ukraine, with a view to the expediency of their use in restoration works in the conditions of aggressive sewage environment. The following research results were obtained: analysis of the clinker brick market of Ukraine was carried out and samples were obtained for testing; experimental testing of selected samples of bricks in the conditions of their operation in an aggressive sewage environment. The characteristics of 18 specimens of bricks that were tested before and after being in the aggressive environment of one of the sewer collector mines were investigated. To investigate the effect of strength, density and water absorption of 18 samples of clinker brick on the resistance of the aggressive environments of the sewer mine were immersed in mine № 3 of the Main sewer collector for 90 days. The compressive strength of the samples was tested before immersion of the samples in the aggressive environment of the sewer collector and after 90 days of stay there. The results were obtained, according to which the list of samples of clinker bricks, which are capable of counteracting gas corrosion and are expedient for use in the restoration works of networks of drainage, were selected. From now on, the selection of the yoke, which is presented on the Ukrainian market, is the reason for the seams to help protect the design and construction of the crypt of the collection collector from other materials.

Keywords: sewer collector, wear, corrosion, repair, brick.

Вступ. Безаварійне функціонування мереж та споруд централізованої каналізації міст України останнім часом стає завданням особливої важливості.

Відомо, що значна частина мереж водовідведення діаметром понад 700 мм побудована 40-50 років тому з бетону та залізобетону. Проте, як показує практичний

досвід експлуатації виникнення аварійних ситуацій на каналізаційних мережах, часто бетонні та залізобетонні конструкції виходять з ладу раніше нормативного терміну експлуатації [1]. Дослідження ресурсу експлуатації розподільних мереж каналізаційного господарства свідчить про те, що до 80–90 % аварій колекторів викликають корозійні процеси. Хімічні реакції, що протікають у вільному просторі трубопроводу, формують агресивне середовище по відношенню до бетонних конструкцій. Найбільш схильні до дії біогенної корозії конструкції склепіння колектора [1, 2]. Аварії та відмови в роботі каналізаційних мереж призводять до очевидних економічних, екологічних і соціальних наслідків. Економічна складова відновлювальних робіт та забезпечення працездатності каналізаційних мереж і споруд постають особливо гостро в умовах обмежених фінансових ресурсів експлуатуючих підприємств. Отже, питання розробки та впровадження ефективної технології відновлення каналізаційних колекторів за рахунок економії матеріальних ресурсів є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням підвищення надійності системи каналізації присвячено роботи як вітчизняних дослідників, так і вчених з-за кордону. Дослідження вчених з Німеччини щодо експлуатаційної надійності трубопроводів свідчать, що сьогодні перевага надається безтраншейним (NO-DIG) технологіям відновлення [3-5], які більш економічні, ніж традиційні (з виконанням земляних робіт). Проте в деяких випадках, коли ділянка відновлення на незначній глибині та за межами щільної забудови, безтраншейні технології не завжди доцільні у використанні. В роботі Г. Рошера консолідовано результати багаторічних досліджень щодо причин відмови трубопроводів, впливу їх технічного стану на експлуатаційну довговічність [3]. Зазначимо, що нездатність бетонів

протидіяти газовій корозії є основною причиною виходу з працездатного стану каналізаційних колекторів, побудованих в минулому сторіччі, спонукає до пошуку альтернативних ефективних матеріалів для ремонту. К. Кьокмаєр розглядає питання відновлення колекторів зі збірних залізобетонних конструкцій з використанням багатокомпонентних будівельних матеріалів як відкритим, так і закритим способами ремонту [4]. В роботі [6] досліджено застосування поліетиленових труб, полімерних лайнерів при відновленні трубопроводів протягом їх подальшої експлуатації. На думку авторів, пошук альтернативних матеріалів для відновлювальних робіт в каналізаційному середовищі та їх доцільність у використанні, з економічної точки зору, в умовах українських експлуатуючих підприємств є перспективним напрямом наукових досліджень.

Дослідження вітчизняних вчених, таких як Білецький Б. Ф. [7], Гончаренко Д. Ф., Клейн Ю. Б., Корінько І. В. [8], Добряєв А. О. [9] та інших, підтверджують, що відкритий спосіб проведення ремонтних робіт доцільний у використанні за умови конкретних інженерно-геологічних мереж та застосування матеріалів, що здатні протидіяти газовій корозії.

Як показує досвід експлуатації, клінкерна цегла знайшла своє застосування ще під час будівництва систем каналізації в містах центральної та західної Європи, більша частина яких майже не зруйнована в теперішній час [10]. У містах України клінкерна цегла знайшла своє застосування при будівництві каналізації в Києві в 1893 році і Харкові в 1914 році [11].

В лабораторних умовах ХНУБА було проведено експериментальне випробування зразка цегли склепіння колектора, що був побудований в 1930 р. в м. Харкові. Встановлено, що цегла, з якої був побудований колектор, знаходиться в нормальному стані та майже не зруйнована корозією, проте біогенна корозія швів

викликала механічне пошкодження цегляної кладки [11]. Для розглядання питання підвищення фізико-хімічних властивостей розчину для цегляної кладки склепіння колективом вчених ХНУБА в лабораторних умовах розроблено, випробувано та отримано склад розчину для його ефективної експлуатації в умовах агресивного каналізаційного середовища [12].

В дослідженні науково-обґрунтовано та запропоновано виконання ремонтно-відновлювальних робіт на каналізаційних колекторах неглибокого залягання з використанням кlinkерної цегли за конструктивною схемою, яку подано на рис. 1 [13].

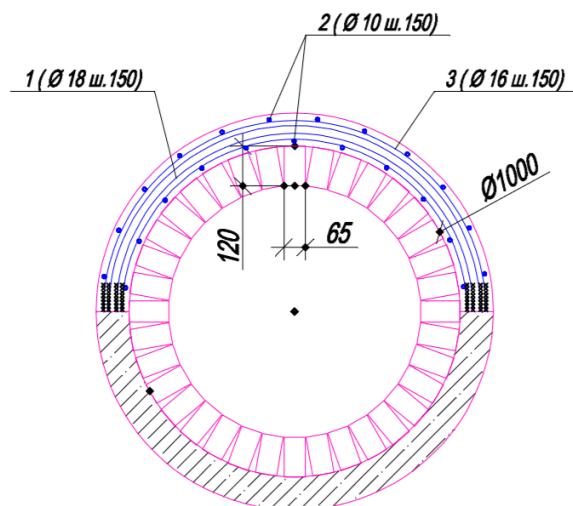


Рис. 1. Конструктивне рішення колектора, що відновлюється із застосуванням кlinkерної цегли: 1 – лоткова частина; 2 – цегляна кладка; 3 – армування склепіння; 4 – захисний прошарок із залізобетону

Отже, підбір якісної цегли, яку представлено на ринку України, та розчину для швів дасть змогу забезпечити ефективне функціонування конструкції склепіння каналізаційного колектора з дрібноштучного матеріалу.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою даної роботи є проведення експериментальних випробувань зразків цегли, які представлено на ринку України, на предмет доцільності їх використання при відновлювальних роботах в умовах агресивного каналізаційного середовища.

Для досягнення мети дослідження поставлено такі завдання:

- виконати аналіз ринку кlinkерної цегли України та отримати зразки для проведення випробувань;

- провести експериментальне випробування обраних зразків цегли в умовах функціонування їх в агресивному каналізаційному середовищі.

Основна частина дослідження. Розвиток ринку цегли України тісно пов'язаний зі зміною обсягів будівництва, які, у свою чергу, демонструють сильну залежність від загального стану економіки. Ринок цегли вітчизняного виробництва орієнтований на внутрішнє споживання. Частка вітчизняної продукції становить близько 96 % ємності ринку. Це пов'язано з тим, що українська цегла має переваги у ціновому сегменті порівняно з закордонними аналогами. Серед інших тенденцій можна також виділити посилення фактора географічної близькості виробника до сировини. Для проведення

експериментальних досліджень було виконано аналіз ринку клінкерної цегли України та обрано 18 зразків цегли

(табл. 1), серед яких 11 зразків вітчизняного виробництва та сім закордонних аналогів.

Таблиця 1

Зразки цегли для подальшого дослідження

Номер зразка	Виробник	Країна виробника	Найменування	Заявлена марка
1	2	3	4	5
1	ТМ «Керамейя»	Україна	Клінкерна цегла - Економ Пр-1 Рубін 48 %	M300
2	ТОВ «Білоцерківські будматеріали»	Україна	Цегла керамічна білоцерківська, жовта	M200
3	Завод «СБК-РОМНИ»	Україна	Цегла керамічна СБК Ж0 жовта, солом'яна	M150
4	ТМ «Керамейя»	Україна	Клінкерна цегла - КлінКерам рустика 13	M350
5	ТМ «Євротон» (ПрАТ «Роздільський керамічний завод»)	Україна	Клінкерна цегла - Євротон бордова	M300
6	Завод «СБК-РОМНИ»	Україна	Клінкерна цегла - СБК Ж1 жовта персикова	M250-300
7	Завод «СБК-РОМНИ»	Україна	Цегла керамічна - СБК Ч0 червона морквяна	M150
8	ПрАТ «Сєверодонецький завод будівельної кераміки»	Україна	Цегла керамічна - стандарт червона ЛІКС ЕКОНОМ	M150
9	ТМ «Літос»	Україна	Цегла гіперпресована - Літос Магма	M300
10	ТОВ «Валківський цегельний завод»	Україна	Цегла керамічна - ІНФ	M125
11	Завод «СБК-РОМНИ»	Україна	Цегла ручного формування - СБК Ельсонська червона	M100-150
12	Klinkerwerke H.W. Muhr GmbH & Co. KG	Німеччина	MUHR Amsterdam E12	M150
13	Vandersanden Group	Бельгія	Vandersanden 45. Lithium	M200
14	Hagemeister GmbH & Co. KG	Німеччина	Hagemeister WALES SR	M150
15	Vandersanden Group	Бельгія	Vandersanden 38. Creme	M125
16	Nelissen Brickworks	Бельгія	NELISSEN T15	M200
17	Klinkerwerke H.W. Muhr GmbH & Co. KG	Німеччина	MUHR Marseille №56	M150
18	A. Berentelg & Co. KG (ABC Klinkergruppe)	Німеччина	ABC Klinkergruppe 0954	M350

Для досліджень впливу міцності, щільності та водопоглинання 18-ти зразків клінкерної цегли на стійкість до агресивних

середовищ каналізаційної шахти вони були занурені в шахту № 3 Головного каналізаційного колектора на 90 діб (рис. 2).

Перед зануренням була заміряна концентрація речовин у агресивному середовищі каналізаційної шахти (табл. 2).

Під час перебування зразків у каналізаційному середовищі було виконано проміжні заміри концентрації речовин (рис. 3).



а



б

Рис. 2. Дрібноштучні керамічні матеріали для випробування у шахті № 3 Головного колектора в м. Харкові:
а – зразки цегли відповідно до номеру; б – зразки цегли у сітці до занурення у шахту

Таблиця 2

Концентрація речовин у шахті № 3 Головного колектора в м. Харкові під час перебування в ній зразків

№ з/п	Проба відповідно до терміну проведення випробування	Показник				
		H ₂ S, мг/м ³	NH ₃ , мг/м ³	CH ₄ , %	CO, мг/м ³	O ₂ , %
1	На початок занурення зразків	32,3	12	0,1	0,2	19,6
2	Проміжна	33,7	4	0,08	0,2	19,4
3	На кінець випробування	34,3	8	0,09	0,2	19,8
4	Гранично допустима концентрація (ГПК) згідно з нормативами	10	20	2	20	до 23



Рис. 3. Проміжні заміри ГДК речовин в шахті № 3 під час перебування зразків

Дані зразки були випробувані через 90 днів перебування в агресивному середовищі каналізаційної шахти (рис. 4).

Результати дослідження зразків кlinkерної цегли наведено в табл. 3.



а



б



в

Рис. 4. Результати витримки зразків цегли у шахті № 3 Головного колектора в м. Харкові:
а – зразки цегли у сітці після занурення у шахту; б – візуальне обстеження;
в – випробування зразків на міцність на стиск

Як видно з табл. 3, границя міцності при стисканні у зразків № 1, 3, 8, 10, 12, 14, 15 свідчить про те, що відповідна кlinkерна цегла здатна протидіяти біогенній корозії в умовах каналізаційного середовища.

Конструкція склепіння, що виконана з означених зразків цегли та з антикорозійним розчином, дасть змогу підвищити експлуатаційну надійність каналізаційних колекторів.

Таблиця 3

Результати лабораторних випробувань клінкерної цегли, що перебувала в агресивному каналізаційному середовищі

№ з/п	Найменування відповідно до номера зразка	Границя міцності при стисканні $R_{ст}$, кгс/см ²	
		Контрольний зразок	Зразок після впливу каналізаційного середовища
1	Клінкерна цегла - Економ Пр-1 Рубін 48 %	125,97	125,0
2	Цегла керамічна білоцерківська, жовта	222,61	210,14
3	Цегла керамічна СБК Ж0 жовта, солом'яна	102,56	102,00
4	Клінкерна цегла - КлінКерам рустика 13	219,82	174,24
5	Клінкерна цегла - Євротон бордова	263,16	227,57
6	Клінкерна цегла - СБК Ж1 жовта персикова	189,52	168,02
7	Цегла керамічна - СБК Ч0 червона морквяна	143,71	109,40
8	Цегла керамічна - стандарт червона ЛІКС ЕКОНОМ	181,82	181,00
9	Цегла гіперпресована - Літос Магма	361,90	210,53
10	Цегла керамічна - 1НФ	142,36	142,20
11	Цегла ручного формування - СБК Ельсонська червона	133,33	125,00
12	MUHR Amsterdam E12	116,96	116,00
13	Vandersanden 45. Lithium	123,08	84,62
14	Hagemeister WALES SR	200,00	200,00
15	Vandersanden 38. Creme	166,67	165,00
16	NELISSEN T15	166,67	136,61
17	MUHR Marseille №56	116,67	100,00
18	ABC Klinkergruppe 0954	327,59	193,63

Висновки. В результаті проведених досліджень було виконано аналіз ринку клінкерної цегли України та обрано зразки вітчизняного та закордонного виробництва для проведення їх випробувань в агресивному каналізаційному середовищі шахти № 3 Головного каналізаційного колектора м. Харкова. Після перебування зразків протягом 90 діб в середовищі, де показники концентрації хімічних речовин перевищують більш ніж утричі нормативні ГДП, було проведено лабораторні дослідження з метою визначення границі

міцності при стисканні цегли. Визначено, що зразки клінкерної цегли № 1, 3, 8, 10, 12, 14, 15 не втрачають міцності після перебування в каналізаційному середовищі та за умови використання антикорозійного розчину для швів можуть бути використані при відновлювальних роботах на каналізаційних колекторах при зведенні конструкції склепіння, що здатна протидіяти біогенній корозії. Слід окремо зазначити, що чотири зразки цегли виготовлені на заводах вітчизняного виробника.

Список використаних джерел

1. Каналізаційні тунелі Харкова: QUO VADIS? / Д. О. Бондаренко, В. В. Булгаков, О. О. Гармаш, Д. Ф. Гончаренко, С. С. Піліграм; за заг. ред. Д. Ф. Гончаренка. Харків: Раритети України, 2018. 232 с.

2. Методологічні основи подовження експлуатаційного ресурсу підземних інженерних мереж / А. І. Алейнікова, В. М. Волков, Д. Ф. Гончаренко, Г. Г. Зубко, О. В. Старкова; за заг. ред. О. В. Старкової. Харьков: Паритеты Украины, 2018. 320 с.
3. Erneuerung von Ver- und Entsorgungsnetzen Weiterbildendes Prof. Dr.- Ing. habil. H. Roscher bearbeitet. Bauhaus-Univ. Weimar: Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt, 2015. 420 p.
4. Körkemeyer K. State-of-the-art sewer construction using precast elements. Moderner Kanalbau mit Betonbauteilen. Qualitätssicherung und Fehlervermeidung. *BetonTage, Neu-Ulm 2015. Betonwerk- und Fertigerteiltechnik (BFT)*, 2015. № 2. P. 180-183.
5. Praetorius S., Schöber B. Bentonithandbuch. Ringspaltschmierung für den Rohrvortrieb Bauingenieur-Praxis. Kartoniert Ernst & Sohn, 2015. 242 p.
6. Sterling R., Alam S., Allouche E., Condit W., Matthews J., Downey D. Studying the Life-cycle Performance of Gravity Sewer Rehabilitation Liners in North America. *Procedia Engineering*, 2017. Vol. 165. P. 251-258.
7. Белецкий Б. Ф. Технология прокладки трубопроводов и коллекторов различного назначения. Москва: Стройиздат, 1992. 336 с.
8. Гончаренко Д. Ф., Клейн Е. Б., Коринько И. В. Ремонтно-восстановительные работы на канализационных сетях в водонасыщенных грунтах. Харьков: Прапор, 1999. 158 с.
9. Добряев А. А. Опыт ликвидации аварий на сетях водоотведения в г. Харькове. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2004. Вип. 26. С. 89–94.
10. Kammerer R. Schadenentwicklung in Steinzeugrohren. *Korrespondenz Abwasser*. Abfall, 2012. № 9. P. 812-820.
11. Гончаренко Д. Ф., Бондаренко Д. А., Забелин С. А. Оценка состояния канализационного коллектора Харьковского тракторного завода, построенного в 1931 году. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2017. Вип. 3 (89). С. 63-66.
12. Исследования и выбор состава раствора для устройства сводовой части восстанавливаемого канализационного коллектора / Д. Ф. Гончаренко, И. Э. Казимагомедов, А. И. Алейникова, Р. И. Гудилин. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2019. Вип. 1(95). С. 107–112.
13. Гуділін Р. І. Ремонтно-відновлювальні роботи на каналізаційних мережах з використанням відкритого способу. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2019. Вип. 185. С. 52-60.

Гончаренко Дмитро Федорович, д-р техн. наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. (057) 700-02-40. E-mail: gonch@kstuca.kharkov.ua.
Алейнікова Алевтина Ігорівна, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельного виробництва Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. (066) 291-31-87.
E-mail: alevtynaal222@gmail.com.
Гуділін Роман Іванович, аспірант кафедри технології будівельного виробництва Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. (066) 299-58-79. E-mail: r.i.gudilin@gmail.com.

Goncharenko Dmitriy, Dr. Sc. (Tech.), Professor of Department of building technology Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel. (057) 700-02-40. E-mail: gonch@kstuca.kharkov.ua.
Aleinikova Alevtyna, PhD (Tech.), Associate Professor of Department of building technology Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel. (066) 291-31-87. E-mail: alevtynaal222@gmail.com.
Hudilin Roman, Postgraduate student of Department of building technology Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel. (066) 299-58-79. E-mail: r.i.gudilin@gmail.com.

Статтю прийнято 22.10.2019 р.

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (275)

УДК 622.6:656.025.6

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАЧАННЯ
НА БАЗІ СТАНДАРТУ UN/EDIFACT**

Д-р техн. наук Д. В. Ломотко, викладач С. Г. Корнійчук, магістрант Д. М. Кравченко

**DEVELOPMENT OF AUTOMATED SYSTEM OF MANAGEMENT OF SUPPLY CHAINS
ON THE BASE OF UN / EDIFACT**

D. Sc. (Tech.) D. V. Lomotko, teacher S. G. Korniychuk, master D. M. Kravchenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.187.2019.196309>

Актуальність даної теми полягає у зростаючих вимогах і потребах клієнтів. Процеси глобалізації і все більш сильний тиск з боку ринкових конкурентів схиляють сучасні підприємства до інтеграції в рамках ланцюгів постачання. Таке рішення призводить до більшої спеціалізації в результаті поділу завдань між окремими ланками ланцюга, зменшення операційних витрат, розподілу ризику, користі та інформації, пов'язаної зі здійснюваними діями, а також інтеграції дій і результативної кооперації з метою більш досконалого обслуговування кінцевого клієнта і здобуття конкурентної переваги. По мірі зміни моделі конкурування – з суперництва між поодинокими фірмами до суперництва між цілими ланцюгами поставок – традиційні стосунки між постачальниками і споживачами замінює укладання і утримання довгострокових партнерських зв'язків [9].

Саме тому пропонується взяти за основу міжнародний стандарт UN / EDIFACT. Запропонований стандарт переважає за межами Північної Америки, ЄС та країнами СНД.

Ключові слова: UN/EDIFACT, обмін, АРМ, стандарт, послуги, документообіг, транспорт.

The urgency of this topic is in the growing requirements and needs of customers. The processes of globalization and the increasing pressure from market competitors are pushing modern enterprises to integrate within the supply chain. Such a solution leads to greater specialization as a result of the division of tasks between individual members of the chain, reduction of operating costs, risk sharing, benefits and information related to the activities carried out, as well as the integration of actions and productive cooperation in order to better serve the end customer and obtain a competitive advantages. In terms of changing the model of competition - from rivalry between single firms to rivalry between entire supply chains - the traditional relationship between suppliers and consumers replaces the conclusion and maintenance of long-term partnerships. Creating requirements for the information system in order to reduce the uncertainty between the links of the supply chain, namely the right product must be delivered at the right time, in the right place, with the least cost, the required quality, in the right quantity and the right consumer.

That is why it is suggested to take as the basis the international standard UN / EDIFACT. Existing system of document turnover needs to be changed. It is proposed to take the well-known UN / EDIFACT management, trade and transport electronic data exchange standard that prevails

outside of North America and is EU and CIS countries. The basis of the UNEDIFACT standard is the following basic ideas: the exchange is carried out by messages; standardization by type of document used at message level; message has a hierarchical structure and consists of segments; standardization of data at the level of segments and data elements; segments can be grouped on a certain basis; Empty (empty) segments may be lowered; typical fields are written as code; the composition and filling of directories is standardized on three levels - international, national and corporate; the independence of standards from the language used for communication; a segment of segments other than typical data segments may contain other group segments; Segments in a message group can be repeated several times; Also empty (empty) segments may be lowered.

Keywords: UN / EDIFACT, exchange, AWP, standard, services, workflow, transport.

Вступ. Електронний обмін даними (ЕОД) в інформатизації перевізного процесу при взаємодії різних видів транспорту здійснюється між автоматизованими системами для передачі повідомлень і документів, пов'язаних з договором на перевезення і виконанням транспортних послуг, технологічних процедур і операцій, а також передачею будь-яких документів і повідомлень. На основі електронного обміну створюються сучасні технології електронізації документообігу та інформаційного супроводу перевезення вантажу [3].

Однією з головних передумов переходу до таких технологій є надійність електронного обміну і взаємна відповідальність партнерів за операції і процедури баз фіксування цих дій на паперовому носії та посвідчення документів у традиційному сенсі підписом і печаткою. Існуюча система обороту документів потребує змін. Пропонується взяти за основу відомий стандарт електронного обміну даними в управлінні, торгівлі та на транспорті UN/EDIFACT, що є переважним за межами Північної Америки і основним на території ЄС, країн СНД.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У розвинених країнах (США, Канада, Західна Європа, Японія) у сфері торгівлі і транспортних послуг традиційна система ділової паперової інформації замінена міжкомп'ютерною передачею стандартних ділових документів (система ЕДІ (EDI) – *electronic data interchange* – електронний обмін даними) і міжнародних

стандартних повідомлень ЕДІФАКТ, затверджених СЕК ООН для глобального застосування в управлінні, торгівлі та на транспорті. З 1987 р. почалася реалізація загальноєвропейського проекту з електронного обміну даними (EANCOM). Єдиним міжнародним стандартом EDI є ЕДІФАКТ ООН (UN/EDIFACT – United Nations rules for Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport). За даними деяких досліджень, впровадження EDI-систем дозволяє знизити витрати, пов'язані зі складанням документів, до 7-10 % від загальної вартості угоди. Світова практика електронного бізнесу, що використовує EDI, ведеться вже більше 30 років, і за цей час склався певний стандарт [8].

ЕДІФАКТ ООН – це Правила електронного обміну даними для адміністрації, торгівлі і транспорту. EDI являє собою поєднання бізнесу, комп'ютерної обробки і передачі даних. EDI – це безпосередній обмін стандартними діловими формами між комп'ютерами. Основна ідея полягає в тому, щоб виключити участь людини в організації документообігу. Передача інформації при використанні EDI здійснюється безпосередньо від комп'ютера до комп'ютера, тому не треба вводити дані заново [1].

При розробці стандартів електронного документообігу була проведена робота з дослідження використання всіх даних "паперових" документів, що використовуються у зовнішньоекономічній діяльності. Як з'ясувалося, більшість

документів містять дані і навіть цілі групи даних, які повторюються.

Наприклад, назва і адреса фірми-відправника зустрічається як в рахунку-фактурі, транспортно-супровідних документах – CMR, так і в митній декларації.

Було запропоновано виділити групи даних, які найбільше повторюються, і в них виділити відповідні поля даних. Надалі виявилось, що дані так часто повторюються, що для їх заповнення було розроблено понад 200 спеціальних кодуювальних таблиць – довідників даних.

Частина довідників (такі як тризначні коди країн світу, коди валют) використовувалася до появи стандартів UN/EDIFACT. Ці довідники були переглянуті і скориговані з точки зору використання їх в нових стандартах [4].

Визначення мети та завдання дослідження. Метою статті є зменшення невизначеності між ланками ланцюга поставок, а саме потрібний товар повинен бути доставлений в потрібний час, в потрібне місце, з найменшими витратами, необхідної якості, в потрібній кількості і потрібному споживачеві. Основним завданням є удосконалення стандарту UN/EDIFACT для покращення відносин між логістичними посередниками, а також розширення стандартної інформаційної бази даних, спрощення і уніфікування документообігу.

Основна частина дослідження. В основу стандарту UNEDIFACT покладено такі принципові ідеї:

- обмін здійснюється повідомленнями;
- стандартизація за типом документа, що використовується на рівні повідомлень;
- повідомлення має ієрархічну структуру і складається з сегментів;
- стандартизація даних на рівні сегментів і елементів даних;
- сегменти можуть групуватися за певною ознакою;

- незаповнені (порожні) сегменти можуть опускатися;
- типові поля записуються у вигляді коду;
- склад і наповнення довідників стандартизується на трьох рівнях – міжнародному, національному та корпоративних;
- незалежність стандартів від мови, що використовується для спілкування;
- група сегментів, крім типових сегментів даних, може містити інші групи сегментів;
- сегменти в групі повідомлень можуть повторюватися кілька разів;
- також незаповнені (порожні) сегменти можуть опускатися.

Стандартом передбачено близько 200 різних типів сегментів, з яких складається повідомлення. Міжнародна організація зі стандартизації ISO (International Organization for Standardization) затвердила UN/EDIFACT у вигляді двох стандартів:

- ISO 7372-86;
- ISO 9735-88 [5, 6].

Впровадження системи ЕОД і стандарту UN/EDIFACT істотно змінило логістичний процес, зблизивши відносини між логістичними посередниками: вантажовідправниками, перевізниками, експедиторами, агентами, митницею і т. д. Користувачі ЕОД та UN/EDIFACT, об'єднані в національні асоціації, мають можливість постійно розширювати стандартну інформаційну базу даних, спрощувати і уніфікувати документообіг і підвищувати на цій основі ефективність логістичних ІКТ [2].

Таким чином, використання стандарту UN/EDIFACT дозволяє зменшити неузгодженості при взаємодії різних перевізників або різних видів транспорту. На рисунку показано приклад та структурно-функціональну схему інформаційної взаємодії елементів логістичного ланцюга постачання для ситуації, коли здійснюється передавання вантажу залізничним транспортом з можливістю застосування відповідних АРМ.

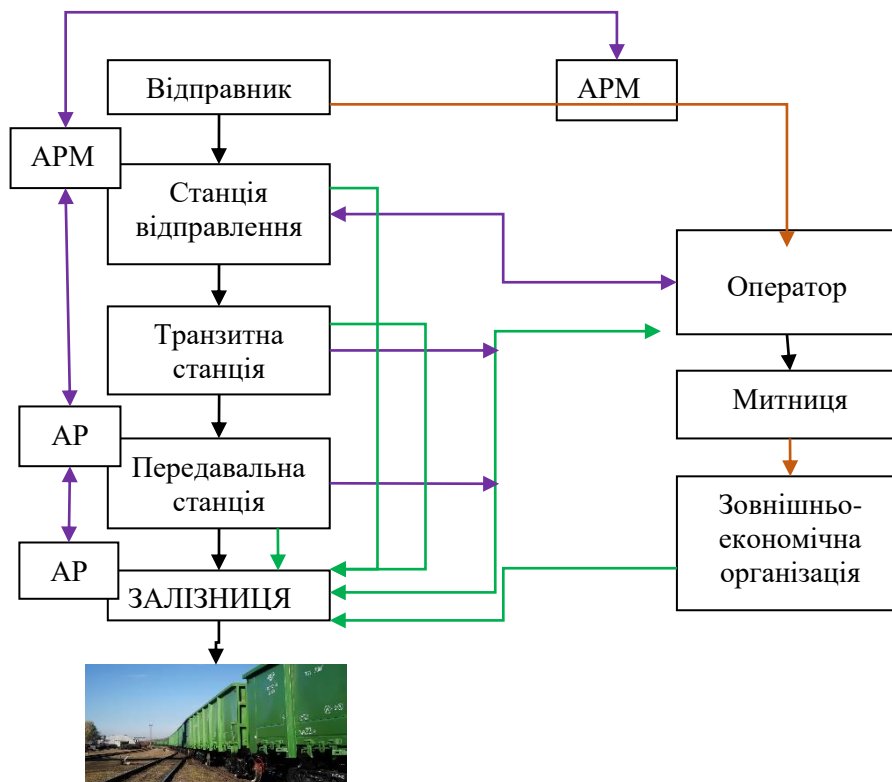


Рис. Структурно-функціональна схема інформаційної взаємодії типової ситуації передавання вантажу залізничним транспортом

Дана схема відображає взаємодію всіх наступних потоків:

- вантажо- і товаропроводжувальних документів;
- митних документів і інших дозволів, різного роду рознарядок і вказівок;
- технологічні повідомлення про експлуатаційні події, які пов'язані з рухом транспортних засобів у штатних і позаштатних ситуаціях;
- спеціальні повідомлення для вантажовласників (характеристики, місце розташування, стан вантажу).

Отже, за допомогою зворотної взаємодії і наявності інформації на кожній ланці схеми ми можемо значно скоротити час на обробку документів, тобто це дозволить скоротити простой вагонів в очікуванні обробки документів.

Саме тому нами запропоновано впровадження даної системи на території нашої країни. Більш докладно розглянемо

впровадження даної системи на залізничному транспорті. Щоб визначити доцільність впровадження даної системи, нами було проведено розрахунок економічної ефективності від введення автоматизованої системи управління логістичними ланцюгами на базі UN/EDIFACT. У роботі передбачається автоматизація обробки оперативної інформації і складання звітної документації на підприємствах залізничного транспорту, що забезпечить своєчасність, швидкість складання звітних документів, зменшення працевтрат та економію паперу. На основі досвіду використання інформаційних систем не буде помилковим припущення, що використання інформаційної системи управління логістичними ланцюгами на базі стандарту UN/EDIFACT дозволить скоротити простой вагонів в очікуванні обробки документів на 0,5 години [7, 10]. Впровадження автоматизованої системи

обробки інформації не впливає на її обсяг за рік, тому вартісна оцінка результатів ручної обробки інформації $\sum P_{руч}$ та обробки в автоматизованому режимі $\sum P_{авт}$ не змінюється, тобто

$$\sum P_{руч} = \sum P_{авт}. \quad (1)$$

Розрахунок одноразових витрат на проектування та впровадження

У разі, якщо оцінювати економічний ефект з урахуванням всіх деталей, то одноразові витрати на проектування і впровадження розраховуються з урахуванням тривалості робіт на цьому етапі. Під проектуванням розуміється сукупність робіт, які необхідно виконати, щоб спроектувати систему, частину системи або поставлене завдання. Під впровадженням розуміється комплекс робіт з введення в промислову експлуатацію системи з можливими її доробками.

Для розрахунку витрат на етапі проектування необхідно визначити тривалість кожної роботи, починаючи зі складання технічного завдання і закінчуючи оформленням документів. Тривалість робіт визначається або за нормативами (при цьому застосовують спеціальні таблиці), або розраховують їх на підставі експертних оцінок за формулою

$$T_0 = \frac{(3T_{\min} + 2T_{\max})}{5}. \quad (2)$$

Капітальні витрати на етапі проектування K_k розраховуються за формулою

$$K_k = C + Z_n + M_{II} + H. \quad (3)$$

Одним з основних видів витрат на етапі проектування є заробітна плата фахівця, яка розраховується за формулою

$$Z_{II} = Z_d + T_{II} \left(1 + \frac{A_c}{100}\right) \left(1 + \frac{A_{II}}{100}\right). \quad (4)$$

У загальному випадку витрати на машинний час складаються з витрат на процесорний час (при роботі з об'єктним або абсолютним модулем) та витрат на дисплейний час. Формула для розрахунків має вигляд

$$M = t_d C_d + t_{II} C_{II}. \quad (5)$$

Витрати на експлуатаційні приналежності визначаються простим підрахунком витрат на їх придбання за оптовими (або вільним) цінами.

Так як програма розроблена на сучасних швидкодіючих комп'ютерах, то в додатковому процесорному часі необхідності немає, тобто приймаються як $C_{II} = 0$ і $t_{II} = 0$.

При розрахунку M_{II} слід враховувати час на підготовку вихідних текстів програм, їх налагодження і розв'язання контрольних прикладів.

У разі, якщо проектування і впровадження засобу автоматизації повністю здійснює стороння організація, можна використовувати спрощену схему розрахунку, тобто як одноразові витрати на проектування і впровадження прийняти суми, сплачені сторонньою організацією, включаючи початкову вартість засобу автоматизації.

В експлуатаційні витрати входять:

- зміст інформаційних витрат;
- утримання персоналу з обслуговування комплексу технічних засобів;
- витрати на функціонування програми;
- витрати на утримання будівлі;
- інші витрати.

Витрати з різних видів працівників визначаємо за формулою

$$Z = n_i z_i \left(1 + \frac{A_c}{100}\right) \left(1 + \frac{A_{II}}{100}\right). \quad (6)$$

Витрати на функціонування програми складаються з витрат на машинний час і

витрат на експлуатацію різного приладдя. Розрахунок витрат на функціонування програми

$$M = t_D C_D + t_P C_P. \quad (7)$$

При цьому можна оцінити аналогічні витрати до впровадження програми і порівняти отримані значення. При впровадженні програми зменшується час роботи з одним і тим же завданням, за рахунок цього вже з'являється економія.

Витрати на експлуатаційні приналежності визначаються простим підрахунком витрат на їх придбання за оптовими (або вільними) цінами.

Розрахунок економії за рахунок збільшення продуктивності праці користувача

Якщо користувач при економії i -виду із застосуванням програми економить T_i , годин, то підвищення продуктивності праці P_i (у відсотках) визначається за формулою

$$P_i = \left(\frac{\Delta T_j}{F_j - \Delta T_j} \right) 100. \quad (8)$$

Розрахунок сукупного приросту економічного ефекту від впровадження автоматизованої системи обробки інформації наведений у таблиці [12].

Таблиця

Показник	Роки розрахункового періоду				
	2018	2019	2020	2021	2022
1	2	3	4	5	6
<i>Витрати при ручній обробці інформації</i>					
1. Залишкова вартість друкарських машин, грн	40000				
2. Поточні витрати вартість паперу	1500	1500	1500	1500	1500
загальний річний фонд заробітної плати, грн	418550	418550	418550	418550	418550
3. Сумарні річні витрати, грн	460050	420050	420050	420050	420050
4. Сумарні витрати з урахуванням приведення до розрахункового року, грн	673572,474	559097,564	508288,964	462050,379	42005
<i>Витрати при автоматизованій обробці інформації</i>					
5. Одноразові витрати, грн	59491				
6. Поточні витрати (без амортизації ПЕОМ), грн	320547,2	320547,2	320547,2	320547,2	320547,2
загальний річний фонд заробітної плати з відрахуванням на соцстрах, грн	317900	317900	317900	317900	317900
витрати на матеріали, грн	906	906	906	906	906
витрати на експлуатацію принтера, грн	543,6	543,6	543,6	543,6	543,6
витрати на електроенергію, грн	1197,6	1197,6	1197,6	1197,6	1197,6

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6
7. Сумарні витрати при автоматизованій обробці інформації, грн	380038,2	320547,2	320547,2	320547,2	320547,2
8. Витрати (економія від зменшення простою вагонів)					
річна потреба у вагонах	8000	8000	6000	4500	4500
розрахункова економія вагоно-годин за рік на 1 вагон	145	165	185	225	225
загальна економія вагоно-годин, грн	580000	660000	555000	506250	506250
приведена економія вагоно-годин на інвентарний парк вагонів, грн	991800	983400	727050	577125	506250
9. Сумарні витрати при автоматизованій обробці з урахуванням приведення до останнього року, грн	543609	473671	416449	362406	317900
10. Коефіцієнт приведення витрат різних років	1,71	1,49	1,31	1,14	1
11. Економічний ефект з урахуванням приведення	448191	509729	310601	214719	188350
12. Економічний ефект наростаючим підсумком	448191	957920	1268521	1483240	1671590

Таким чином, для наведеного прикладу застосування інформаційної системи управління логістичними ланцюгами на базі стандарту UN/EDIFACT витрати будуть покриті економічним ефектом на 2-му році експлуатації.

Висновок. Одним з основних напрямків вдосконалення організації роботи залізничного транспортного процесу є забезпечення конкурентоспроможності і рентабельності в умовах транспортного ринку [11]. За результатами розрахунку економічної ефективності удосконаленої автоматизованої системи управління ланцюгами постачання на базі стандарту

UN/EDIFACT оцінено термін окупності на рівні двох років. Економічний ефект носить характер непрямой вигоди для перевізника, але є значимим у середньо- та довгостроковій перспективі.

Подальше впровадження засобів автоматизації може призвести до коригування самих бізнес-процесів за рахунок пришвидшення просування матеріальних потоків. Крім того, оператору перевезення буде надано можливість ефективно обробляти великі обсяги інформації, що призведе до зменшення витрат на персонал та сприятиме швидкому розвитку бізнесу при більш високому рівні сервісу та якості доставки вантажів.

Список використаних джерел

1. Система міжнародних стандартних повідомлень в інтернет-комерції. URL: https://studme.com.ua/191105227688/pravo/sistema_mezhdunarodnyh_standartnyh_soobscheniy_internet-kommertsii.htm (дата звернення: 07.11.2019).
2. Губин С. В., Боярчук А. В. Информационные технологии в логистике: курс лекций для высших технических учебных заведений. Киев: Миллениум, 2009. 60 с.
3. Ломотько Д. В. Маркетинг і логістика: консп. лекцій. Харків: УкрДАЗТ, 2003.
4. Рекомендації з техніко-економічних розрахунків окремих показників експлуатаційної роботи залізниць. Київ: Транспорт України, 2002.
5. ISO 7372-86 "Trade data interchange. Trade data elements directory. First edition. 1986-03-01" (Довідник елементів даних).
6. ISO 9735-88 "EDI for administration, commerce and transport (EDIFACT). Syntax rules. 1988-07-15" (Синтаксичні правила EDIFACT ООН).
7. Державна служба статистики. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 07.11.2019).
8. Короткий курс лекцій з дисципліни «Логістика». URL: <https://studme.com.ua/1584072014244/logistika/logistika.htm> (дата звернення: 07.11.2019).
9. Івашук В. Р. Формування інструментів логістичного забезпечення перевезень вантажів на залізниці. *Залізничний транспорт України*. 2011. № 5. С. 20–23.
10. Економіка і організація діяльності об'єднань підприємств. URL: http://www.kdu.edu.ua/new/lekcii/3_2.pdf (дата звернення: 07.11.2019).
11. Lomotko D. V., Alyoshinsky E. S., Zambrybor G. G. Methodological Aspect of the Logistics Technologies Formation in Reforming Processes on the Railways. *Transportation Research Procedia*. 2016. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.482>.
12. Балака Є. І., Зоріна О. І., Колесникова Н. М., Писаревський І. М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навч. посіб. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.

Ломотько Денис Вікторович, д-р техн. наук, професор, академік Транспортної академії України, завідувач кафедри ТСЛ Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-19-55. E-mail: den@kart.edu.ua or orcid.org/0000-0002-7624-2925

Корнійчук Світлана Геннадіївна, викладач Державного вищого навчального закладу «Слов'янський коледж транспортної інфраструктури». Тел. (057) 730-19-55. E-mail: den@kart.edu.ua.

Кравченко Дарія Михайлівна, магістрант, група 11-ІІ-ТТ Українського державного університету залізничного транспорту.

Lomotko Denis, D. Sc. (Tech.), Professor, Academician of the Transport Academy of Ukraine, Head of the Department of TSL, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. (057) 730-19-55. Email: den@kart.edu.ua.

Korneychuk Svetlana, Teacher of the State Higher Educational Institution "Slavic College of Transport Infrastructure". Kravchenko Daria, master, group 11-II-TT, Ukrainian State University of Railway Transport.

Статтю прийнято 02.10.2019 р.

УДК 629.4.066

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ НОМЕРІВ ВАГОНІВ

Канд. техн. наук Д. І. Скуріхін, магістрант М. А. Дим'янчук

APPLICATION FEATURES OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR THE RAILWAY CAR NUMBER PLATE RECOGNITION

PhD (Tech.) D. Skurikhin, master M. Dymianchuk

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.187.2019.196321>

У статті проведено аналіз систем автоматичної ідентифікації рухомого складу залізниць під час руху, виділено переваги та недоліки таких систем, приділено увагу оптичному методу розпізнавання інвентарних номерів вагонів. Досліджено особливості застосування штучних нейронних мереж для оптичного методу розпізнавання номерних написів на кузовах вагонів, обґрунтовано структуру та побудовано нейронну мережу для завдання розпізнавання номера вагона, розроблений алгоритм навчання нейронної мережі у середовищі Matlab.

Ключові слова: системи автоматичної ідентифікації, оптичний метод, розпізнавання образів, штучна нейронна мережа, алгоритм навчання.

The article analyzes the systems of automatic identification of rolling stock during movement. In recent decades, both in Ukraine and in CIS countries, much attention has been paid to the development of systems for the automatic reading of information from moving units using special sensors that attach to the body of the railway cars. The most common of these sensors are passive radio tags or RFID tags. The implementation of such systems on the railways of several countries allows to solve many problems of automation of processes of control and management on railway transport. In the article the advantages and disadvantages of such systems are highlighted, the optical method of recognition of inventory numbers of railway cars is given attention. Such systems for Ukrainian railways have been insufficiently vandal-protected, as indicated by the collapse of the SAI RS project, after systematic damage to the sensors located on the railway cars. Recently, there has been a tendency in Ukraine and abroad for the use of the optical method and machine vision systems for tracking the movement and identification of moving railway units. The advantage of this method is that there is no need for rolling stock sensors and the ability to constantly improve the machine vision system software. At the same time, the main difficulty of using this method in railway operations is damage to the railway car number. The peculiarities of the use of artificial neural networks for optical method of the number plate recognition on the bodies of railway cars are investigated, the structure of neural network is grounded and the neural network is built for the problem of recognizing the railway car number, and the algorithm of learning of the neural network in the Matlab environment is developed. A direct error propagation method was used to directly train the neural network to minimize the error of the multilayer neuron. The idea behind this method is to propagate the error signals from the network outputs to its inputs in the direction opposite to the direct propagation of the signals in normal mode. The neural network recognized the number of the test image. Thus, even on a highly simplified neural network with three hidden layers, we were able to programmatically achieve the generalization effect.

Keywords: automatic identification systems, optical method, pattern recognition, artificial neural network, training algorithm.

Вступ. Створення ефективних систем контролю рухомого складу і дистанційного керування залізничними перевезеннями вантажів є важливим завданням, як державного, так і галузевого рівнів.

Одним з основних завдань зі створення та розвитку систем автоматизованого управління залізничними перевезеннями вантажів є автоматизація процесу контролю пересування об'єктів рухомого складу залізничного транспорту, включаючи їх ідентифікацію.

На залізниці і промислових підприємствах в даний час для ідентифікації вантажних вагонів і цистерн використовується, як правило, ручне візуальне списування реєстраційних номерів транспортних засобів, які являють собою мітки у вигляді восьмизначної цифрової послідовності. При такому способі списування оператор на контрольній ділянці залізниці переглядає номери вагонів складу, що проходить, і при необхідності порівнює їх з натур-листом. При виявленні невідповідності проводиться коригування натур-листа, формуються управлінські рішення. Недоліки розглянутого способу ідентифікації очевидні: необхідність постійної уваги оператора, висока трудомісткість процесу контролю, недостатня достовірність інформації. Крім того, рухомий склад, що проходить повз пости списування, необхідно повністю зупинити або значно знизити швидкість, що суттєво обмежує пропускну спроможність контрольного поста або станції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час на транспорті і в промисловості застосовується кілька систем ідентифікації об'єктів, що використовують різні технології і розрізняються за принципом роботи [1, 2].

Існують системи ідентифікації рухомих одиниць, які використовують засоби залізничної автоматики (точкові колійні датчики, рейкові кола та ін.), встановлені на залізничному полотні, і

утворюють контрольну ділянку. Подібні системи дозволяють визначити кількість осей, вісність і кількість рухомих одиниць, відстані між осями рухомих одиниць і, як результат, тип рухомого складу. Результати ідентифікації таких систем сильно залежать від багатьох факторів, таких як швидкість і прискорення руху, точність фіксації колеса датчиком і т. д., що у свою чергу впливає на їх достовірність. Тому такі системи мають обмежене коло застосування [3-5].

В останні десятиліття, як в Україні, так і в країнах ближнього зарубіжжя, багато уваги було приділено розвитку систем автоматичного зчитування інформації з рухомих одиниць з використанням спеціальних датчиків, що кріпляться на кузові. Найбільш розповсюджені з таких датчиків є пасивні радіомітки або RFID-tags [6, 7]. Впровадження таких систем на залізницях ряду країн дозволяє вирішувати безліч завдань автоматизації процесів контролю і управління на залізничному транспорті. Однак подібні системи для залізниць України виявилися недостатньо вандалозахищеними, на що вказує згорання проекту САІ РС після систематичного пошкодження датчиків, розташованих на вагонах.

В таких умовах більш доцільним є використання оптичного методу та систем машинного зору для ідентифікації рухомих одиниць залізничного транспорту. Перевагою даного підходу є відсутність необхідності у датчиках на рухомому складі та можливість постійно вдосконалювати програмне забезпечення системи машинного зору. Водночас основною складністю застосування даного методу в експлуатації на залізницях є пошкодження напису номера вагона.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою даної публікації є дослідження особливостей застосування штучних нейронних мереж для оптичного методу розпізнавання номерних написів на кузовах вагонів, обґрунтування структури

та побудова нейронної мережі, розробка алгоритму навчання нейронної мережі у середовищі Matlab.

Основна частина дослідження.

Метод оптичного розпізнавання номерів вагонів із застосуванням штучних нейронних мереж є одним із найбільш перспективних методів завдяки простоті, гнучкості та дешевизні впровадження.

Як додаткову перевагу метод оптоелектронного контролю дозволяє включити в контур управління процесом ідентифікації людину – оператора. Це забезпечує можливість практично повністю виключити можливі помилки ідентифікації завдяки залученню оператора до обробки ситуацій, коли штучний інтелект системи «сумнівається» в остаточному рішенні або не може його прийняти. З урахуванням

останньої особливості система розпізнавання номерів вагонів без істотних видозмін може бути доповнена функціями комерційного огляду вагонів і вантажів, що перевозяться, а також вирішувати ряд завдань охоронного відеоспостереження в зоні контролю.

Основним недоліком оптичного методу ідентифікації є залежність достовірності результату від забрудненості номера вагона, механічних пошкоджень та погодних умов. В ході дослідження були виявлені різновиди пошкодження знаків і написів на вагонах (рис. 1). Підвищити достовірність розпізнавання пошкодженого напису номера вагона можливо за допомогою застосування штучних нейронних мереж.



Рис.1. Різновиди пошкодження знаків і написів на вагонах:
1 – забруднення від вантажу; 2 – деформація обшивки кузова;
3 – корозія металу

Нейронна мережа – це обчислювальна модель, шарувата структура якої нагадує мережеву структуру нейронів у мозку, із шарами пов'язаних вузлів. Нейронна мережа може вчитися на основі даних, тому вона може бути навчена розпізнавати шаблони, класифікувати дані та

прогнозувати майбутні події. Кожна штучна нейронна мережа (ШНМ) складається із нейронів.

Біологічний нейрон імітується у мережі через активаційну функцію. Графічно сигмоїдна функція зображена на рис. 2.

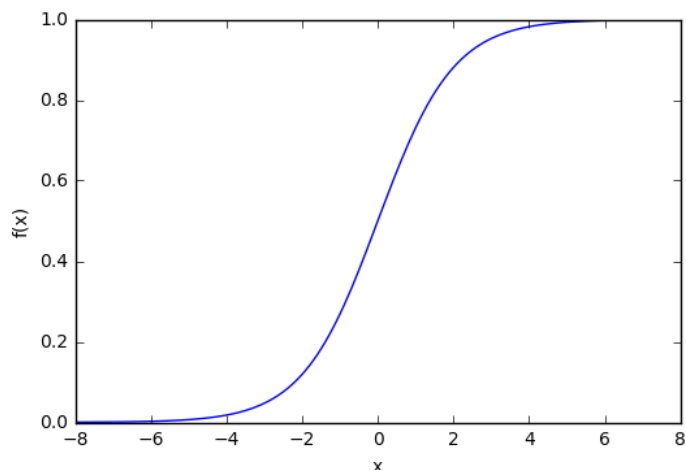


Рис. 2. Графічне зображення сигмоїдної функції

Для розпізнавання друкованих і рукописних символів більш за все підходить згорткова нейронна мережа, що навчається за допомогою методу зворотного розповсюдження похибки (back propagation) [8].

Нами була змодельована нейронна мережа для розпізнавання цифр на зображеннях. Насправді це досить складна задача, яка потребує значних потужностей графічного GPU та дуже великої кількості даних (тисячі зображень) для навчання моделі, тому вона була дещо спрощена і прийняті такі обмеження:

1. Були розпізнані тільки чорно-білі цифри.

2. Цифри склалися з чорних пікселів, розміром 5x5.

3. Розпізнавати ШНМ була навчена тільки цифри від одного до п'яти.

У даній мережі один S-елемент відповідає кожному пікселю (рис. 3). Для цього нам знадобилося 25 сенсорів, оскільки кожне вхідне зображення складається із 25 пікселів. Матриця із S елементів формує вхідний шар ШНМ, для прийняття вхідних даних. Чорний колір відповідає за збудження S-елемента (значення сигналу, що передається, відповідає 0). Білий колір – вивід відповідного S-елемента, відповідає 1.

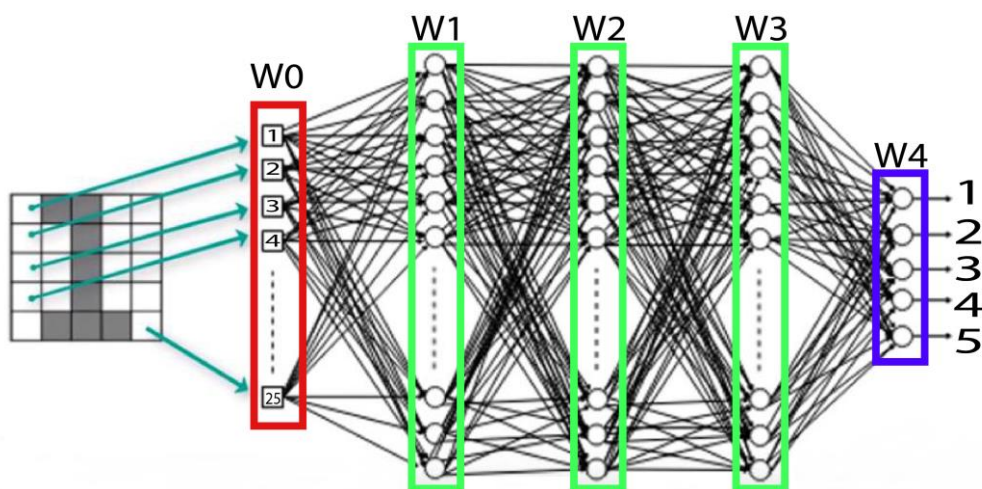


Рис. 3. Структура розробленої нейронної мережі:
W0 – вхідний шар; W1-W3 – приховані шари; W4 – вихідний шар

Наступні шари ШНМ є прихованими та не є частиною ні входу, ні виходу. Нейронні мережі можуть мати декілька прихованих шарів, у даній моделі було використано три шари. Кількість нейронів прихованого шару має становити від 70 до 90 % від розміру вхідного шару. З огляду на вищезазначене було встановлено по

20 вузлів, для кожного шару. Усі вузли кожного шару мають зв'язок зі всіма вузлами сусіднього. Кожен з цих зв'язків має відповідну вагу.

За вагу були взяті числа (не бінарні), які в подальшому множаться на вході і сумуються у вузлі:

$$x_1 w_1 + x_2 w_2 + \dots + x_n w_n + b \quad (1)$$

де w_i – числові значення ваги;

b – вага елемента зміщення.

Ваги потрібні, так як вони є значеннями, які змінюються протягом процесу навчання. Змінюючи "вагу" зміщення b , можна змінювати час запуску вузла. Зміщення є дуже важливим у даному випадку, особливо коли імітувалися взаємозв'язки між нейронами.

Для безпосереднього навчання ШНМ нами був використаний метод зворотного поширення помилки. Цей ітеративний градієнтний алгоритм ми використали з метою мінімізації помилки роботи багатощарового нейрона.

Алгоритм навчання ШНМ методом зворотного поширення помилки складається з таких етапів:

1. Ініціалізація ваги випадковим чином. Було взято нормальний розподіл з нульовим математичним очікуванням і одиничним середньоквадратичним відхиленням.

2. На вхідний шар було подано вектор і знайдено значення нейронів на інших шарах:

$$Q\left(\sum_j w_j x_j\right) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\sum_j w_j x_j\right)} \quad (2)$$

3. Для вихідних нейронів вираховано величину помилки:

$$\delta_k = -a_k (1 - a_k) (y_k - a_k) \quad (3)$$

4. Для внутрішніх шарів:

$$\delta_j = -a_j (1 - a_j) \sum_k w_{jk} x_{jk} \quad (4)$$

5. Змінено значення:

$$w' = w - \eta \delta_j a_i, b' = w - \eta \delta_j \quad (5)$$

де i – індекс первинного шару.

Результати тестування змодельованої штучної нейронної мережі зображено на рис. 4.

Як видно зі скріншоту графічного обчислювача Matlab, нейронною мережею було розпізнано цифру 2, також в ході тестування було правильно ідентифіковано решту цифр. Тим самим, навіть на гранично спрощеній ШНМ з трьома прихованими шарами, ми змогли програмно домогтися ефекту узагальнення.

Висновки. Технологія і засоби автоматичної ідентифікації вагонів розвиваються і набувають все більшого поширення при вирішенні завдань контролю пересування об'єктів рухомого складу на території великих промислових підприємств, комерційного обліку сировини і продукції, що переміщуються залізничним транспортом.

В даній роботі було досліджено особливості застосування штучних нейронних мереж для оптичного методу розпізнавання номерних написів на кузовах вагонів, обґрунтовано структуру та побудовано нейронну мережу, розроблений алгоритм навчання нейронної мережі у середовищі Matlab.

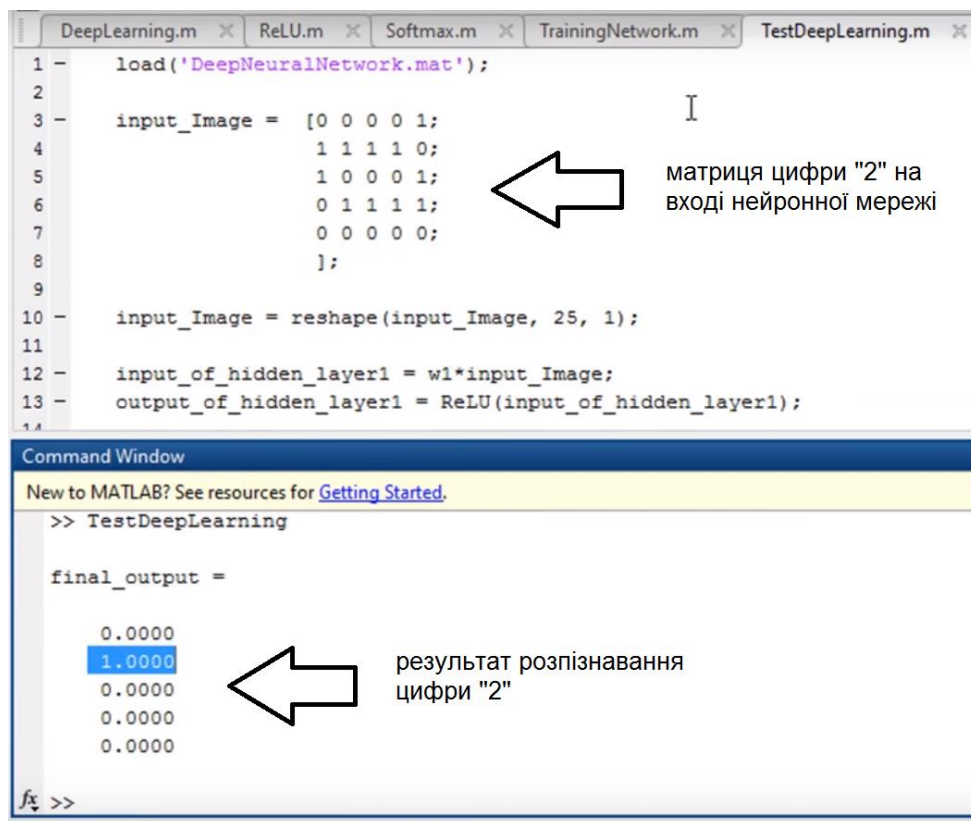


Рис. 4. Фрагмент роботи нейронної мережі у середовищі Matlab

Список використаних джерел

1. Dong H., Ning B., Cai B., Hou Z. Automatic train control system development and simulation for high-speed railways. *IEEE Circuits Syst. Mag.* vol. 10. no. 2. pp. 6–18, 2010.
2. Yongzhi Min*, Benyu Xiao, Jianwu Dang, Biao Yue, Tiandong Cheng. Real time detection system for rail surface defects based on machine vision. *EURASIP Journal on Image and Video Processing.* (2018) 2018:3.
3. Tian G., Gao B., Gao Y., et al. Review of railway rail defect non-destructive testing and monitoring. *Chin. J. Sci. Instrum.* 37(8). 1763–1780 (2016).
4. Ze Liu , Yingfeng Cai, Long Chen, Hai Wang, Youguo He. Vehicle license plate recognition method based on deep convolution network in complex road scene. *Automobile Engineering.* (2019). 233(9).
5. Marino F., Distante A., Mazzeo P. L., Stella E. A real-time visual inspection system for railway maintenance: automatic hexagonal-headed bolts detection. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.* vol. 37. no. 3. pp. 418–428. 2007.
6. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. Автоматична ідентифікація окремих частин транспортного засобу при впровадженні нових концепцій системи технічного обслуговування та ремонту. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.* Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 4. С. 44-50.
7. Ключев С. О. Аналіз методів ідентифікації залізничного рухомого складу: зб. наук. праць СХУ ім. В. Даля. Северодонецьк : СХУ ім. В. Даля, 2017. № 3 (233). С. 85-89.
8. LeCun Y., Bottou L., Orr G., Muller K. Efficient BackProp, in Orr, G. and Muller K. (Eds), *Neural Networks: Tricks of the trade*, Springer, 1998.

9. Артемьев И. С., Лебедев А. И., Долгий А. И. Метод блочного оптического распознавания инвентарных номеров железнодорожных подвижных единиц на основе комитетной нейроиммунной модели классификации. *Инженерный вестник Дона*. 2014. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2259>.

Скуріхін Дмитро Ігорович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-35. E-mail: skurikhin@i.ua.

Дим'янчук Михайло Андрійович, магістрант, група 4-5-Вм Українського державного університету залізничного транспорту.

Skurikhin Dmytro, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Railway Cars, Ukrainian State University of Railway Transport. Phone (057) 730-10-35. E-mail: skurikhin@i.ua.

Dymianchuk Mykhailo, master, Group 4-5-Вm, Ukrainian State University of Railway Transport.

Статтю прийнято 03.10.2019 р.

УДК 656.072

КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЛИНИИ ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ

Старш. преп. Т. А. Дубровская, канд. техн. наук П. В. Ковтун

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF AN ABSOLUTE ACCELERATION ON THE SPEED OF MOVEMENT OF PASSENGER TRAINS

Sr. Lecturer T. A. Dubrovskaya, PhD (Tech.) P. V. Kovtun

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.187.2019.196327>

Одной из основных задач при введении скоростного движения на направлениях железной дороги Республики Беларусь ($v = 141 - 200$ км/ч) является его технико-экономическое обоснование. Для решения этой задачи необходимо рассмотреть структуру критерия эффективности в случае реконструкции линии для скоростного движения пассажирских поездов и определить общую эффективность использования нового подвижного состава. В расчет эффективности реконструкции входят суммы инвестиций или капитальных вложений, необходимых для реализации проектного решения; годовые текущие затраты, возникающие в процессе реализации проекта и затем его реализации; приведены строительно-эксплуатационные расходы; доходы или прибыль, полученные от внедрения проекта. Определение общей эффективности внедрения скоростного движения позволит сказать о приблизительных сроках окупаемости проекта и затрат на него.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, скорость, экономика, эффективность, реконструкция.

The economic efficiency of investments in railway transport in the new economic conditions should be fully justified. The task is not so simple. It causes some difficulties, because it is not always at the disposal of the decision-maker, at an early stage of design are sufficiently reliable and well-systematized initial data.

The General trends of the analysis of recent studies are that in times of market economy one of the main tasks of any innovation is its cost and competitiveness. According to existing forecasts, high-speed traffic in the near future can cover much wider sector of passenger traffic than high-speed, as its organization is not associated with the construction of a new line, although it requires significant reconstruction costs. Correctly determine the amount of capital investment in the reconstruction-this is the main task of the economic justification of the introduction of high-speed traffic.

One of the main tasks in the introduction of high - speed traffic on the directions of the railway of the Republic of Belarus ($v = 141-200$ km/h) is its feasibility study. To solve this problem, it is necessary to consider the structure of the efficiency criterion in the case of reconstruction of the line for high-speed passenger trains and determine the overall efficiency of the use of new rolling stock. The calculation of the efficiency of reconstruction includes the amount of investment or capital investment required for the implementation of the project solution; annual current costs arising in the process of project implementation and then its implementation; construction and operating costs are given; income or profit received from the implementation of the project. Determining the overall efficiency of the implementation of high-speed traffic will allow us to say about the approximate payback period of the project and its costs.

Keywords: railway, speed, economy, efficiency, reconstruction.

Введение. Техничко-економическое обоснование целесообразности технического совершенствования железнодорожной инфраструктуры требует инвестиционных вложений, основывается на системе показателей, которые можно объединить в две группы: натуральные и стоимостные показатели.

Натуральные показатели характеризуют технические или технологические преимущества проектного решения. Это могут быть технические параметры проекта: руководящий уклон, длина прямо-отправочных путей, весовая норма, класс железнодорожного пути и т. д. Или параметры, имеющие важное эксплуатационное значение: скорость, расход электроэнергии, расходы по содержанию постоянных устройств и прочее. Определяющее значение для выбора проекта, в который будут вкладываться инвестиции, при всех прочих равных условиях имеют стоимостные показатели.

К стоимостным показателям, которые обычно рассматриваются при экономическом обосновании капитальных вложений, относятся: суммы инвестиций или капитальных вложений, необходимые для реализации проектного решения;

годовые текущие затраты, возникающие в процессе реализации проекта; приведенные строительно-эксплуатационные расходы и доходы, получаемые от реализации проекта.

В состав суммы капитальных вложений или единовременных затрат входят инвестиции в их денежном эквиваленте. Текущие расходы и затраты включают все виды расходов, связанных с эксплуатацией вновь построенных или реконструированных инвестиционных объектов. В отличие от капитальных вложений текущие расходы рассчитываются обычно за годовой период эксплуатации.

Анализ последних исследований и публикаций. Проблемы экономического обоснования капитальных вложений при реконструкции железных дорог для введения скоростного движения на существующих железнодорожных линиях занимались многие известные ученые: Б. А. Волков [1], А. Ю. Чердиченко [2], Н. Б. Курган [3], В. П. Зозуляк [4], А. А. Босов [5], Б. Н. Лapidус, Н. П. Терешина [6], С. В. Мямлин [7], А. С. Блохина [8] и другие.

Общие тенденции анализа последних исследований сводятся к тому, что во времена рыночной экономики одной из

главных задач любой инновации является ее стоимость и конкурентоспособность. По существующим прогнозам, скоростное движение в ближайшем будущем может охватить значительно шире сектор пассажирских перевозок, чем высокоскоростное, так как его организация не связана со строительством новой линии, хотя и требует существенных затрат на реконструкцию. Правильно определить величину капитальных вложений в реконструкцию – вот основная задача экономического обоснования введения скоростного движения.

Среди зарубежных ученых, занимающихся этой проблемой, можно выделить [9, 10].

Определение цели и задачи исследования. Определить общую экономическую эффективность и срок окупаемости введения нового подвижного состава «Stadler» на железной дороге

Республики Беларусь с целью повышения скоростей движения пассажирских поездов.

Для решения этой задачи необходимо:

- рассмотреть структуру критерия эффективности реконструкции линии скоростного движения пассажирских поездов;

- определить общую эффективность использования нового подвижного состава.

Основная часть исследования.

Рассмотренная задача – внедрение скоростного движения – относится к государственному уровню и поэтому устанавливается общественная эффективность инвестиций. При этом, в качестве основной части, как результат от увеличения скоростей движения пассажирских поездов, может быть принята дополнительная плата пассажиров за сокращение времени поездки

$$C_{\text{пас-год}} = 365n_{\text{пас}} \cdot m \cdot \alpha_{\text{зап}} \cdot \Delta T \cdot e_{\text{пас-час}} \cdot 10^{-6}, \text{ млн. бел. руб./год}, \quad (1)$$

где $n_{\text{пас}}$ – количество скоростных пассажирских поездов в сутки;

m – вместимость поезда, чел.;

$\alpha_{\text{зап}}$ – коэффициент использования вместимости поезда;

$e_{\text{пас-час}}$ – стоимость пассажира-часа, бел. руб.;

ΔT – сокращение времени нахождения пассажиров в дороге (в оба направления), час.

При сравнении вариантов проектных решений, например, по выбору вида подвижного состава для скоростных поездов, можно использовать стоимость времени пребывания пассажиров в пути – как расходную часть критерия

$$C'_{\text{пас-год}} = 365n_{\text{пас}} m \alpha_{\text{зап}} (T' + T'') e_{\text{пас-час}} \cdot 10^{-6}, \text{ млн. бел. руб./год}, \quad (2)$$

где $T' + T''$ – время нахождения пассажиров в пути в направлении «туда» и «обратно», час.

В состав расходов входят капиталовложения в реконструкцию дороги ($K_{\text{рек}}$) и на приобретение подвижного состава ($K_{\text{пс}}$)

$$Z_t = K_{\text{рек}} + K_{\text{пс}}. \quad (3)$$

Кроме того, в связи с использованием нового подвижного состава в пассажирском движении и модернизацией технического состояния железной дороги после реконструкции изменятся эксплуатационные расходы как в пассажирском, так и грузовом движении. В частности, реализация более высоких скоростей требует больших затрат

энергоресурсов, а улучшение плана трассы позволит уменьшить расходы на содержание пути в кривых. Уменьшение времени оборота подвижного состава влияет на потребность в локомотивных бригадах. Также следует учитывать дополнительные затраты, связанные с дополнительным простоем поездов из-за увеличения съема грузовых поездов скоростными пассажирскими. Поэтому в состав показателя критерия эффективности внедрения скоростного движения необходимо включить разницу эксплуатационных расходов, вызванных перестройкой и заменой подвижного состава ($\pm \Delta C_t$).

Замена подвижного состава приводит к высвобождению используемых пассажирских вагонов и локомотивов. Поэтому необходимо учитывать его возвратную стоимость ($K_{пс(возв.)}$).

$$ЧДД = \sum_{i=0}^T (C_{п-час} + D + K_{пс(возв.)} \pm \Delta C_t - K_{рек} - K_{пс}) \frac{1}{(1+E)^i}. \quad (5)$$

В формуле (5) $C_{п-ч}$, D и $K_{пс(возв.)}$ – соответственно стоимость нахождения пассажира в пути, дотации государства и возвратная стоимость существующего подвижного состава при замене на новый улучшенный. Сумма этих трех составляющих и будет прибыльной частью ЧДД. Стоимость нахождения пассажира в пути определяется по формуле (2). Расчет стоимости времени пребывания пассажиров в пути с учетом использования подвижного состава "Stadler" на участке Красное – Минск – Брест (603, 1 км), по тяговым расчетам, составляет $T^1=370,24$ мин (направление «туда») и в обратном направлении $T^2=381,03$ мин.

При этом, уменьшая время нахождения в пути за счет увеличения скорости, можно взимать дополнительную плату за сокращение времени поездки, увеличив стоимость пассажиро-часа. Например, существующую стоимость пассажиро-часа будем увеличивать,

Так как проект социальный и имеет большое значение для республики, то могут иметь место одноразовые дотации государства (D).

Таким образом, с учетом изложенного, составляющие результата, полученного за счет эксплуатации объекта, определяются по формуле

$$R_t = C_{п-час} + D + K_{пс(возв.)} \pm \Delta C_t. \quad (4)$$

Общая экономическая эффективность использования подвижного состава ЭПМ «Stadler» (локализация производства в Беларуси – город Фаниполь)

Относительно реконструкции железной дороги с целью внедрения скоростного движения пассажирских поездов чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется по формуле

соответственно, в 1,5 и 2 раза ($e_{п-ч}$ суц = = 6,6 бел.руб.).

Стоимость от продажи существующего подвижного состава, применяемого на участке, составит примерно 40 млн бел. руб. (по данным компании «Stadler»).

Дотации государства в данном случае будут незначительны, около 2 млн бел. руб.

Эксплуатационные расходы являются затратной частью ЧДД. К ним относятся расходы, зависящие от работы подвижного состава; расходы, не зависящие от работы подвижного состава; а также расходы на содержание постоянных устройств. С учетом единичных ставок и норм Республики Беларусь для участка Красное – Минск – Брест эксплуатационные расходы ΔC_t составят 62,25 млн бел. руб. на 1 поезд в сутки. Затраты на реконструкцию практически отсутствуют, так как закупается новый улучшенный подвижной

состав с увеличенной скоростью прохождения кривых.

Стоимость закупки подвижного состава может быть различной. Что касается «Stadler», стоимость закупки 10 единиц составляет примерно 200 млн бел. руб.

Согласно приведенным выше расценкам, расчет ЧДД показан в табл. 1.

Общий показатель ЧДД при различных стоимостях пассажиро-часа приводится на рис. 1.

Сроки окупаемости при различной стоимости пассажиро-часа в зависимости от размера движения представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 1

Расчет ЧДД при использовании подвижного состава «Stadler»

Годы	Затратная часть, Z_t , млн бел. руб.			Доходная часть, R_t , млн бел. руб.			Коэффициент приведения	ЧДД, млн бел. руб.
	ΔC_t	$K_{рек}$	$K_{рх}$	$C_{пас.год}$	D	$K_{рх(пов.)}$		
$e_{пас.час(сущ)} = 6,6$ бел. руб.								
1	62,25	2	200	166,99	1	40	0,50	-47,63
2	68,48	-	0		-	-	0,25	50,88
3	75,32	-	0		-	-	0,13	142,54
$e_{пас.час} = 9,9$ бел. руб.								
1	62,25	2	200	235,30	1	40	0,50	-13,48
2	68,48	-	0		-	-	0,25	153,35
3	75,32	-	0		-	-	0,13	313,32
$e_{пас.час} = 13,2$ бел. руб.								
1	62,25	2	200	333,97	1	40	0,50	35,86
2	68,48	-	0		-	-	0,25	301,36
3	75,32	-	0		-	-	0,13	560,00

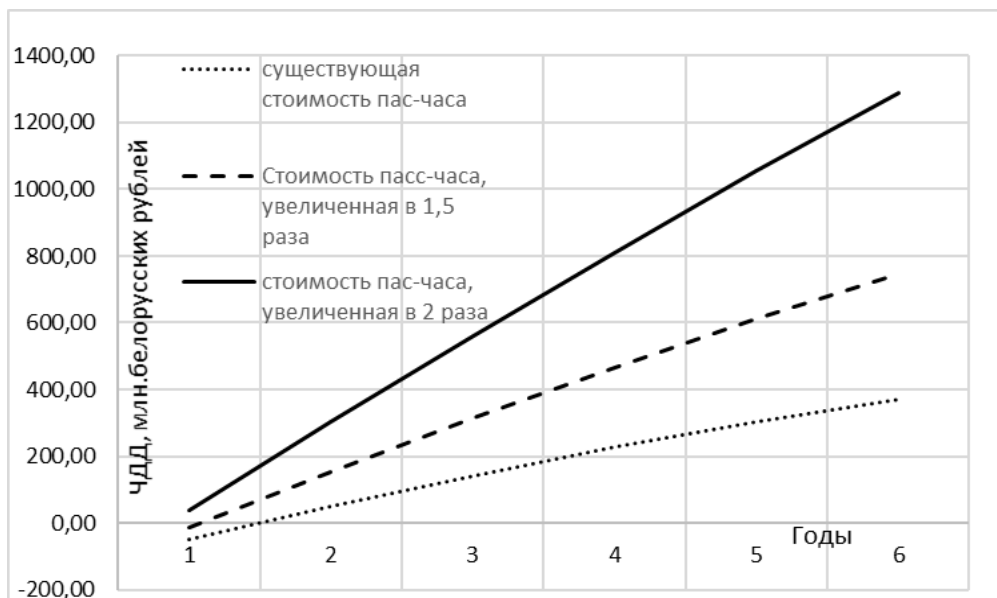


Рис. 1. Общий показатель ЧДД при различной стоимости пассажиро-часа:

1 – при стоимости пассажиро-часа, увеличенной в 2 раза; 2 – при стоимости пассажиро-часа, увеличенной в 1,5 раза; 3 – при существующей стоимости пассажиро-часа (6,6 бел. руб.)

Сроки окупаемости при различной стоимости пассажира-часа

Срок окупаемости ($T_{ок}$), год	Стоимость пассажира-часа, бел.руб.
1,5	6,6
1	9,9
0,5	13,2

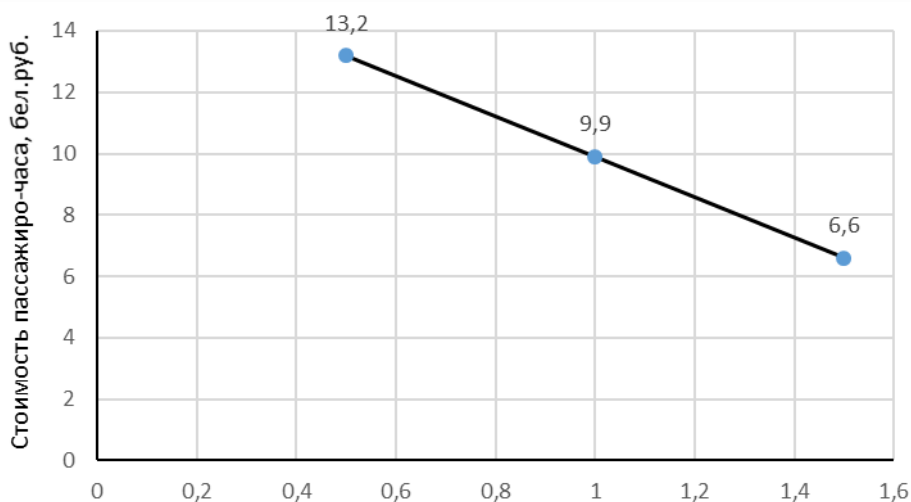


Рис. 2. Срок окупаемости введения скоростного движения при разной стоимости пассажира-часа

Выводы. Из рисунков видно, что при существующей стоимости пассажира-часа ЧДД станет положительным через 1,5 года и проект будет считаться выгодным. При увеличении стоимости пассажира-часа в 1,5 раза проект окупится через полгода. При увеличении стоимости в 2 раза проект

начнет окупаться практически сразу. Так как проект социальный, сокращение времени хода на 10 минут на участке в 603,1 км при существующей стоимости пассажира-часа, а следовательно, и при существующей стоимости билетов, будет оптимальным вариантом.

Список использованных источников

1. Экономические изыскания и основы проектирования железных дорог: учеб. пособ. / Б. А. Волков, И. В. Турбин, Е. С. Свинцов, Н. С. Лобанова. Москва: Маршрут, 2005. 408 с.
2. Чередниченко А. Ю. Усовершенствование системы показателей работы железнодорожного транспорта в условиях его коммерциализации. *Вестник Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина*. Харьков, 2002. Вып. 565. С. 104–106.
3. Курган Н. Б. Экономическая эффективность от устранения ограничений скорости движения поездов, обусловленная просрочкой ремонтов. *Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна*. Днепропетровск, 2007. Вып. 19. С. 84–87.
4. Зозуляк В. П., Пасичник В. И. Показатели железнодорожного транспорта стран мира. *Железнодорожный транспорт Украины*. 2000. № 1. С. 16–21.

5. Босов А. А. Повышение эффективности работы транспортной системы на основе структурного анализа: монография. Днепропетровск, 2005. 200 с.
 6. Лапидус Б. М., Терешина Н. П., Трихункова Н. Ф. Экономика железнодорожного транспорта: учеб. пособ. Москва: УМК МПС России, 2001. 600 с.
 7. Мямлин С. В. Оценка экономической эффективности инвестиционного проекта для железнодорожного транспорта с использованием различных методов. *Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна*. Днепропетровск, 2010. Вып. 33. С. 268–273.
 8. Блохина А. С. Экономическая оценка мероприятий по внедрению новых профилей поверхности катания колес подвижного состава железных дорог. *Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна*. Днепропетровск, 2010. Вып. 31. С. 256–262.
 9. Krink J., Vesterstrom, and Riget J. Particle Swarm Optimization with Spatial Particle Extension. To appear in: Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, 2002 (CEC 2002).
 10. Givoni, M. Development and Impact of the Modern High-speed Train: A Review. *Transport Reviews*. Volume 26. Issue 5. 2006. P. 593–611.
-

Ковтун Павел Владимирович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов Белорусского государственного университета транспорта.

Тел.: +375291887701. E-mail: sed@bsut.by.

Дубровская Татьяна Алексеевна, старший преподаватель кафедры проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов Белорусского государственного университета транспорта.

Тел.: +375445545253. E-mail: rt-555@yandex.ru.

Kovtun Pavel Vladimirovich, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Design, construction and operation of transport facilities, Belarusian State University of Transport. Tel.: +375291887701. E-mail: sed@bsut.by.

Dubrovskaya Tatyana Alekseevna, Senior Lecturer, Department of Design, construction and operation of transport facilities, Belarusian State Transport University. Tel.: +375445545253. E-mail: rt-555@yandex.ru.

Статтю прийнято 15.10.2019 р.

УДК 656.225

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ СТУПІНЧАСТИХ МАРШРУТІВ ІЗ ЗЕРНОВИМИ ВАНТАЖАМИ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Канд. техн. наук Г. С. Бауліна, Г. Є. Богомазова, магістрант В. С. Мішков

DEVELOPMENT OF THE MODEL FOR THE STAINING GRAIN LOADS AT THE RAILWAYS OF UKRAINE

PhD (Tech.) H. Baulina, master V. Mishkov

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.187.2019.196337>

У статті проаналізовано сучасний стан організації перевезення зернових вантажів та розглянуто основні тенденції в розвитку ринку зерна. Встановлено ключові фактори, які впливають на збільшення обороту вагонів-зерновозів і зменшення їх продуктивності. Розроблено стохастичну модель формування ступінчастих маршрутів із зерновими

вантажам, що враховує ймовірнісний характер тривалості простою вагонів на станції формування й дає змогу визначити оптимальну кількість вагонів у маршрутній відправці. Використання запропонованої моделі дасть змогу зменшити непродуктивні простой вагонів та виключити переробку на шляху прямування.

Ключові слова: залізничний транспорт, зернові вантажі, ступінчастий маршрут, оборот вагона, маршрутна відправка.

The article analyzes the organization and technology of work of JSC "Ukrzaliznytsya" with grain cargo. The grain industry serves as the basis and source of sustainable development of the country's agricultural sector and the basis of Ukraine's agricultural exports. Therefore, the urgent issue for Ukraine is the development of the railway transport system to achieve the necessary throughput capacity for the transportation of grain cargo at minimal cost. The main trends in the development of the grain cargo market are considered and the key factors affecting the increase in the turnover of grain wagons and the decrease in their productivity are identified. Depreciation of grain-carrying cars of JSC "Ukrzaliznytsya" is more than 97.8 %, which leads to their deficit during peak periods of transportation, an increase in the turnover of cars and a decrease in their productivity. There are also problems with the lack of traction rolling stock, which does not fully meet the needs of the industry in transport services and leads to significant delays in the delivery of goods.

Today, JSC "Ukrzaliznytsya" transports grain cargoes in two ways - by wagon consignments and routes. JSC "Ukrzaliznytsya" distributes the wagons not involved in route transportation in small batches between stations where they are loaded with grain. This method of transporting grain takes much longer, transportation costs the customer more expensive, while increasing the turnover of cars and increasing the shortage of cars and locomotives. Route dispatch of grain stipulates that the entire route lot of 54 wagons is immediately sent to one elevator for loading and then immediately arrives at a specific port without delays along the route for re-composition. But not all existing elevators are route and are able to load 54 wagons during the day. For such elevators, it is necessary to use a different technology, that is, they must be able to form a route (stepped) with other elevators that will go to the destination port. The formation of stepped routes will optimize rail transportation of grain and reduce the risk of losses for untimely delivery of goods. Based on the research, formalized technology for the formation of stepped routes in the form of an optimization model, the target function of which is presented as the sum of the reduced costs of technological operations. The model allows you to determine the optimal number of cars in the route dispatch when the corresponding system of restrictions. Using the proposed model will reduce the unproductive downtime of cars and eliminate processing along the route, taking into account the delivery time and technical capacity of the stations.

Keywords: railway transport, grain cargo, stepped route, wagon turnover, route dispatch.

Вступ. Розвиток економіки України залежить від спроможності підприємств конкурувати на світовому ринку. Одним із стратегічних продуктів, що пропонує сьогодні економіка України, є зерно. Зернова галузь служить базою та джерелом стійкого розвитку аграрного сектора країни та основою аграрного експорту України. Тому актуальним питанням для України є розвиток залізничної транспортної системи

по досягненню нею необхідної пропускної спроможності для перевезень зернових вантажів при мінімальних витратах. Сучасні умови розвитку зобов'язують перевізника організувати оптимальні умови перевезення із отриманням найбільш ефективних якісних показників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Організація та перспективи розвитку перевезень зернових вантажів

залізничним транспортом України розглядалися у роботах [1, 2]. Було доведено неефективність існуючої системи перевезень, що передбачає в основному повагонні відправки. Розглянуто шляхи зниження обороту вагонів-зерновозів, що можливі за рахунок удосконалення підходів в організації залізничних перевезень з використанням математичного апарату і сучасних інформаційних технологій.

У дослідженні [3] було розроблено модель та визначено основні принципи у формуванні відправок та організації руху зернових вантажів. Логістичні підходи до оцінки ефективності логістичних схем доставки експортного зерна розглядалися в дослідженні [4].

У роботі [5] було запропоновано створення експортно-орієнтованої мережі елеваторів в Україні. На основі агломеративного алгоритму кластерного аналізу на мережі залізниць України виділені вузлові станції та сформовані райони можливої концентрації навантаження зерна для маршрутних відправок.

Перевезенню зернових вантажів за допомогою контейнерних вагонів на міжнародному ринку збуту присвячено роботу [6]. У ній розглянуто та запропоновано математичну модель з можливістю доставки зерна від елеваторів до станції формування маршрутних відправок за допомогою автомобільного транспорту. У роботі [7] запропоновано оптимізацію перевезення зернових вантажів на основі підходу консолідації перевезень за допомогою системи підтримки прийняття рішень.

Автори статті [8] дослідили ланцюг поставок продовольчого зерна в Індії. Розроблена модель змішаного цілочислового нелінійного програмування дасть змогу забезпечити мінімальні витрати на вантажні операції, транспортування, експлуатаційні витрати на доставку зернових вантажів з кластерів закупівельних центрів виробництв на споживчі державні склади.

В умовах стрімкого зростання експорту зернових та технічного стану залізничної галузі у дослідженні [9] запропоновано використання альтернативного рухомого складу – критого вагона з використанням щитів дверних металевих, які забезпечать завантаження вагона без обмежень по висоті навантаження в міждверному просторі та повну схоронність вантажу при підвищенні використання вантажопідйомності критих вагонів.

У праці [10] зазначається необхідність достовірного прогнозування обсягів перевезення вантажів залізничним транспортом в умовах дефіциту рухомого складу. Визначено, що в структурі часового ряду обсягів перевезення зерна та продуктів перемолю чітко прослідковується сезонна компонента, яка впливає на завантаженість рухомого складу та транспортної інфраструктури.

Таким чином, питанню удосконалення організації перевезення зернових вантажів залізничним транспортом приділено багато уваги як в Україні, так і за кордоном. Однак проблема удосконалення технології перевезення зернових вантажів у сучасних умовах ще потребує суттєвих досліджень.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є розробка моделі формування ступінчастих маршрутів із зерновими вантажами з урахуванням випадкового характеру окремих показників.

Для досягнення сформульованої мети потрібно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан організації перевезення зернових вантажів;
- розробити модель формування ступінчастих маршрутів із зерновими вантажами, враховуючи ймовірнісний характер часу простою вагонів на станції формування.

Основна частина дослідження. Останні кілька років Україна перебуває на передових позиціях на світовому ринку і ставить все нові рекорди зі збирання та експорту зернових культур. Обсяг

експортованого зерна минулого року був лише на 0,4 % меншим, ніж у 2017 р., однак втричі перевищив показник 2010 р. – відколи Україна щороку нарощує обсяги експорту зернових. Досягнення останніх років стали можливими насамперед за рахунок збільшення експортних цін [11].

Дослідження динаміки обсягів перевезення врожаю зернових вантажів за останні 10 років показали, що є тенденція

до зростання цього показника (рис. 1). Перевезення зернових вантажів на цей момент є одним із найперспективніших. Фінансовий директор АТ «Укрзалізниця» (УЗ) Андрій Рязанцев заявляв, що залізницям найбільш вигідно перевозити саме зернові вантажі. За його словами, вони дають на 10 ткм 2817 грн доходної ставки, у той час як будматеріали – 1877 грн, руда – 1736 грн.

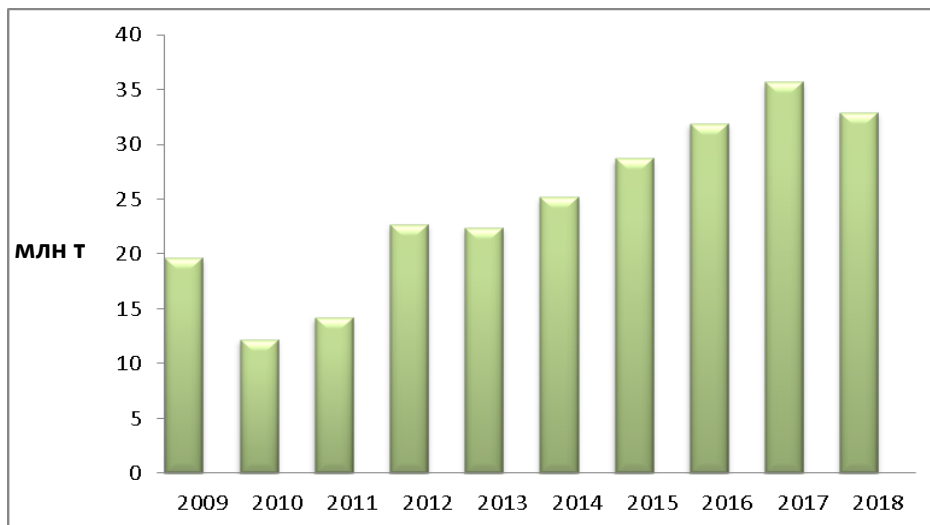


Рис. 1. Динаміка обсягів перевезення зернових вантажів залізничним транспортом України

До недавнього часу існувала проблема з наявністю вагонів-зерновозів. АТ «Укрзалізниця» не могла впоратися з цією проблемою самостійно, а зернотрейдери постійно страждали від браку зерновозів, тому найбільші компанії наростили власний парк. Станом на лютий

2019 р. парк вагонів-зерновозів у країні становив 22,3 тис. од., з яких 11,5 тис. – власність УЗ і 10,8 тис. – приватні (рис. 2). Це дасть змогу в пікові періоди кожному бажаному відправнику скористатися послугами залізниці і не чекати поки звільняться зерновози [12].

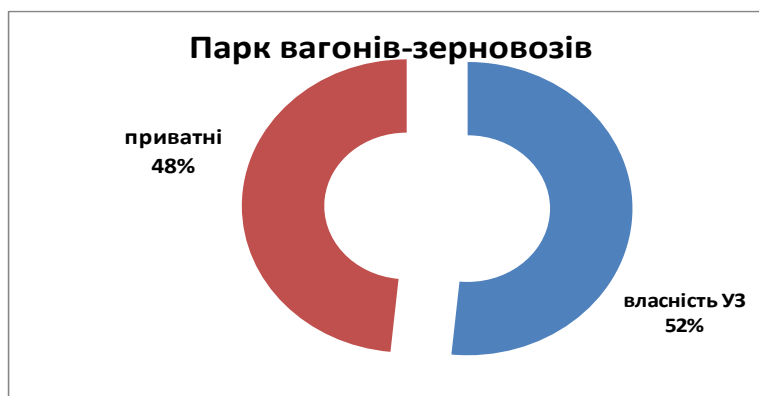


Рис. 2. Відношення приватного парку вагонів-зерновозів і власності АТ «Укрзалізниця»

Сьогодні зношеність вагонів-зерновозів АТ «Укрзалізниця» становить більше 97,8 %, що призводить до їх

дефіциту в пікові періоди перевезень, збільшення обігу вагонів та зниження їх продуктивності (рис. 3).

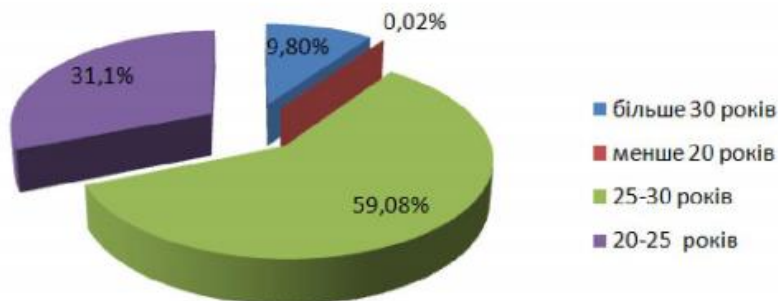


Рис. 3. Стан парку вагонів-зерновозів власності АТ «Укрзалізниця»

Останнім часом дефіцит тяги став найбільш гострою проблемою при перевезенні вантажів залізницею. Ситуація загрожує тим, що підприємства не можуть своєчасно відвантажити продукцію на експорт, у результаті чого страждає вся економіка країни. Через брак тяги обіг вагонів збільшився з 9–10 днів у 2018 р. до 11–12 у 2019 р. [13]. Вийти з цієї ситуації допоможе залучення іноземних компаній і локалізація виробництва локомотивів в Україні. Інакше наявний парк повністю вичерпає свій ресурс до 2020 р.

Сьогодні АТ «Укрзалізниця» перевозить зернові вантажі двома способами – вагонними партіями і маршрутами. Вагони, не задіяні в маршрутних перевезеннях, АТ «Укрзалізниця» розподіляє невеликими партіями між станціями, де вони навантажуються зерном. Потім ці вагони поступово збираються на вузлових станціях у маршрути, які відправляються в порт. Іноді дрібні партії вагонів із зерном прямують у напрямку порту в складі поїздів з іншими вантажами, потрапляють на сортувальні станції для переформування. Такий спосіб перевезення зерна займає значно більше часу, транспортування обходиться замовникові дорожче, при

цьому збільшується термін обігу вагонів та підвищується дефіцит вагонів і локомотивів.

Маршрутна відправка зерна передбачає, що на один елеватор подається для завантаження відразу вся маршрутна партія в 54 ваг і після цього одразу надходить у конкретний порт без затримок на шляху прямування на переформування состава. Маршрутні відправки зерна дають змогу зменшити обіг вагонів у русі як у завантаженому, так і в порожньому стані, обмежити вантажовласників у бажанні використовувати вагони залізниці як склади на колесах у припортових станціях, і в цілому маршрутизація збільшує обсяги перевезень зернових культур. Але не всі існуючі елеватори є маршрутними і здатні навантажувати протягом доби 54 ваг. Для таких елеваторів необхідно використовувати іншу технологію, тобто вони повинні мати можливість з іншими елеваторами сформувати маршрут (ступінчастий), який буде прямувати в порт призначення. Формування ступінчастих маршрутів дасть змогу оптимізувати залізничні перевезення зерна і зменшити ризик отримання збитків за несвоєчасність доставки вантажу. Передбачається

формування маршрутів з кількох елеваторів та залізничних станцій, які об'єднані в один

залізничний полігон і прямують в один порт призначення (рис. 4).



Рис. 4. Схема формування маршрутної відправки

У сучасних умовах доцільною є розробка моделі формування ступінчастих маршрутів з визначенням оптимальної кількості вагонів у маршрутній відправці. Цільову функцію моделі можна подати як суму приведених витрат на виконання операцій

$$C = \sum_{i=1}^6 C_i \Rightarrow \min. \quad (1)$$

Витрати на подавання-прибирання вагонів

$$C_1 = \frac{C_{л-г} t_n n l_{ваг}}{l_{\phi}}, \quad (2)$$

де $C_{л-г}$ – вартість локомотиво-години маневрової роботи, грн;

t_n – час на подавання та прибирання вагонів, год;

n – кількість вагонів у відправці;

$l_{ваг}$ – довжина вагона, м;

l_{ϕ} – довжина вантажно-розвантажувального фронту, м.

Питомі витрати при зберіганні зерна у вагонах у виробника під час накопичення

$$C_2 = \frac{n C_{\epsilon}}{Q_{\epsilon}}, \quad (3)$$

де C_{ϵ} – вартість простою вагона (склад на колесах) на під'їзній колії, грн;

Q_{ϵ} – потужність виробника, ваг/год.

Витрати на переміщення маршруту (до станції формування та до порту)

$$C_3 = \frac{f_n}{n}, \quad (4)$$

де f_n – витрати на переміщення.

Витрати на навантаження вагонів

$$C_4 = \frac{C_{\epsilon-г} n P_{ст}}{k Q C_{маш}}, \quad (5)$$

де $C_{\epsilon-г}$ – вартість однієї вагоно-години простою, грн;

$P_{ст}$ – середнє завантаження вагона, т;

k – кількість одиниць вантажно-розвантажувальної техніки, шт;

Q – продуктивність однієї одиниці техніки, т/год;

$C_{маш}$ – вартість роботи вантажно-розвантажувальної техніки, грн.

Витрати на накопичення маршруту

$$C_5 = \frac{C_{\sigma-z} t_{np}}{n}, \quad (6)$$

де t_{np} – час простою вагонів на станції формування ступінчастого маршруту, год.

Дослідженнями статистичних даних по станції Ромодан за березень – серпень 2019 р. (рис. 5) встановлено, що час простою вагонів на станції формування ступінчастого маршруту є випадковою величиною і підпорядкований розподілу Ерланга 2-го порядку (рис. 6).

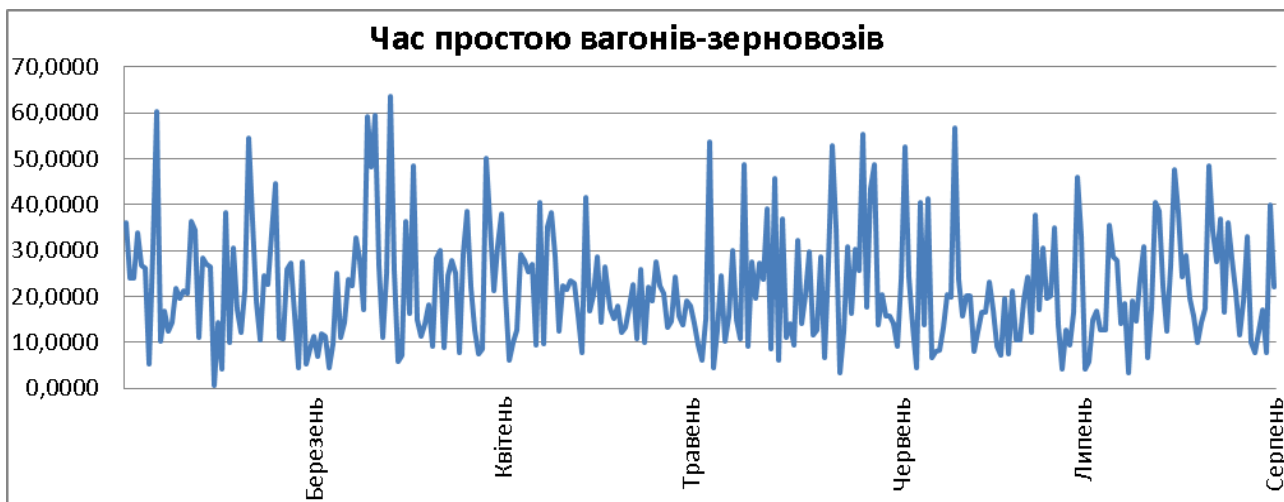


Рис. 5. Динаміка змінення часу простою вагонів за березень – серпень 2019 р.

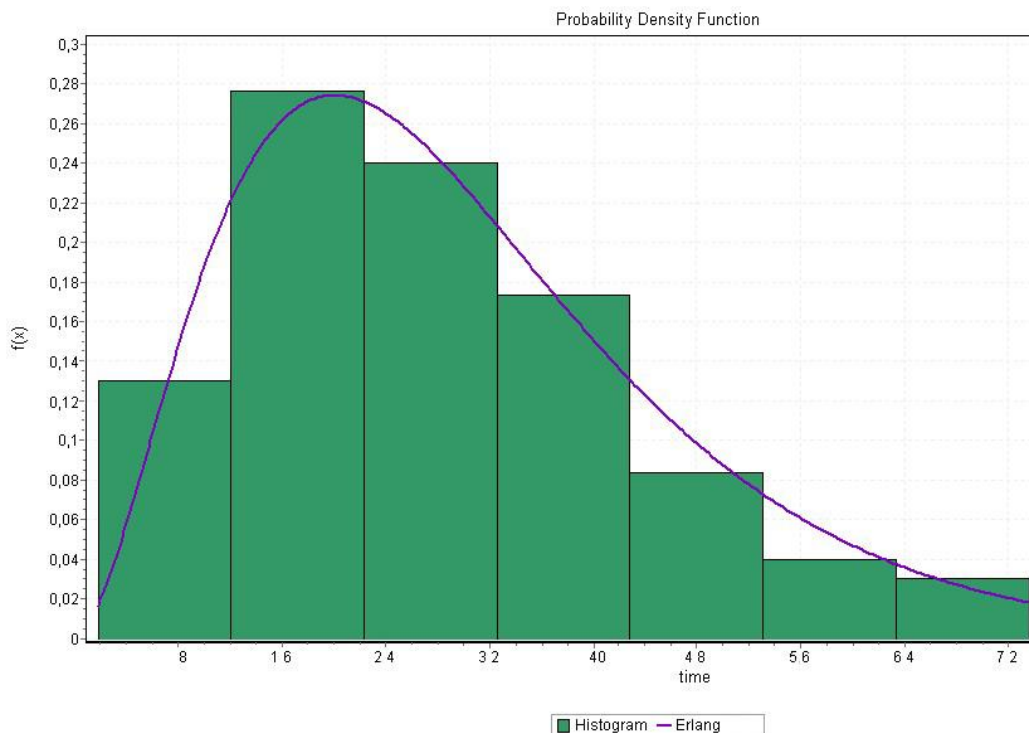


Рис. 6. Гістограма щільності розподілу часу простою вагонів на станції формування ступінчастого маршруту

Тоді

$$t_{np} = 200,081 \int_0^{t_{np}^{\max}} t_{np}^2 \cdot e^{-14,145t_{np}} dt. \quad (7)$$

Вибір виду розподілу, який найкраще відповідає статистичній вибірці даних, проводився з використанням програмного пакета EasyFit® 5.6 Standart компанії MathWave®. Результати перевірки за критеріями узгодження наведено на рис. 7.

Erlang (2P)					
Kolmogorov-Smirnov					
Sample Size	300				
Statistic	0,04705				
P-Value	0,50499				
Rank	24				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,06195	0,07061	0,0784	0,08764	0,09405
Reject?	No	No	No	No	No
Anderson-Darling					
Sample Size	300				
Statistic	0,94515				
Rank	23				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	1,3749	1,9286	2,5018	3,2892	3,9074
Reject?	No	No	No	No	No
Chi-Squared					
Deg. of freedom	8				
Statistic	6,5504				
P-Value	0,58583				
Rank	20				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	11,03	13,362	15,507	18,168	20,09
Reject?	No	No	No	No	No

Рис. 7. Результати перевірки за критеріями узгодження

Питомі витрати при зберіганні зернових вантажів в очікуванні вивантаження в порту

$$C_6 = \frac{C_{зб} n}{Q_n}, \quad (8)$$

де $C_{зб}$ – вартість збереження одного вагона, грн;

Q_n – переробна спроможність порту, ваг/год.

Остаточню модель технології формування ступінчастого маршруту перевезення зернових вантажів з урахуванням імовірнісного характеру має такий вигляд:

$$C = \frac{C_{л-2} t_n n l_{ваг}}{l_{\phi}} + \frac{n C_{\epsilon}}{Q_{\epsilon}} + \frac{f_n}{n} + \frac{C_{\epsilon-2} n P_{cm}}{k Q C_{маи}} + \frac{C_{\epsilon-2} 200,081 \int_0^{t_{np}^{\max}} t_{np}^2 \cdot e^{-14,145t_{np}} dt}{n} + \frac{n C_{зб}}{Q_n} \Rightarrow \min \quad (9)$$

при виконанні системи обмежень:

$$\begin{cases} n_{\min} \leq n \leq n_{\max}, \\ t_{не} + t_{г} + t_{нак} + t_n \leq t_{\delta}, \\ nl_{ваг} \leq l_{\phi} \end{cases} \quad (10)$$

де n_{\max} , n_{\min} – максимальна і мінімальна вагонна норма відповідно;

$t_{не}$ – час на виконання операцій з прибуття та відправлення, год;

$t_{г}$ – час на виконання вантажних операцій, год;

$t_{нак}$ – час на накопичення маршруту, год;

t_n – час на переміщення вагонів, год;

t_{δ} – допустимий час доставки, год.

Перше обмеження встановлює умову, за якої склад вагонів не повинен перевищувати максимально допустиму вагонну норму та бути меншим від мінімально допустимої вагонної норми щодо вантажних поїздів на цьому напрямку. Друга умова визначає дотримання логістичного принципу доставки зернових вантажів «точно в строк». Кількість вагонів у маршруті повинна

відповідати довжині вантажного фронту, що зазначено в останньому обмеженні.

Виконання всіх умов дасть змогу звести витрати до мінімуму та знайти оптимальну кількість вагонів у ступінчастому маршруті, ураховуючи ймовірнісний характер тривалості простою вагонів на станції формування. У подальшому це дасть змогу перевізникам, відправникам та одержувачам оперувати всією інформацією і скласти календарний розклад формування відвантаження та відправлення вантажів. Використання запропонованої моделі дасть змогу зменшити непродуктивні простої вагонів та виключити переробку на шляху прямування, ураховуючи термін доставки та технічну спроможність станцій.

Реалізація розробленої моделі на станції Ромодан показала, що можливо отримати оптимальне значення. Моделювання виконано у середовищі пакета прикладних програм MS Office Excel. З урахуванням системи (10) оптимальна кількість вагонів, що відправляється зі станції Ромодан, становить 48 ваг при мінімальних витратах (рис. 8).

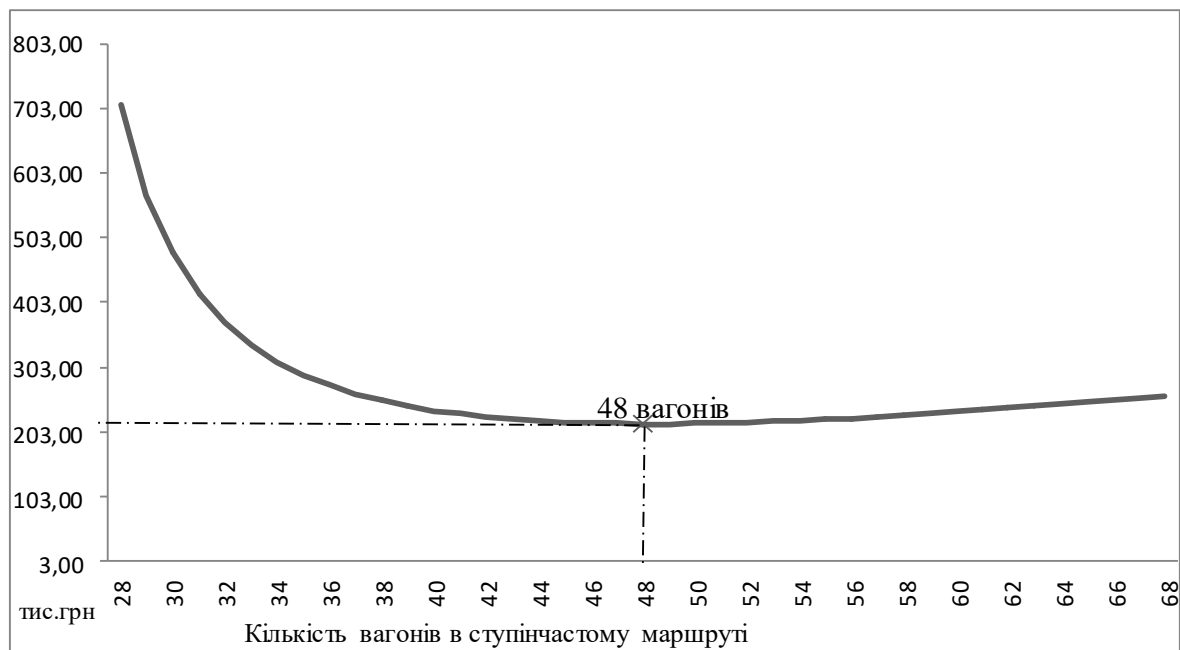


Рис. 8. Залежність загальних експлуатаційних витрат від кількості вагонів у маршрутній відправці

Адекватність розробленої моделі та точність отриманих результатів обґрунтовано врахуванням послідовності всіх технологічних операцій щодо переробки зернових вантажів; наявністю реальних технологічних обмежень у моделі та врахуванням невизначеності технологічних параметрів за рахунок введення до цільової функції відповідної щільності розподілу ймовірнісної величини, що підтверджується критеріями узгодження χ^2 – Пірсона, Колмогорова – Смірнова та Андерсона – Дарлінга. Сформовану модель запропоновано інтегрувати до автоматизованих робочих місць оперативного персоналу.

Висновки. Проаналізовано сучасний стан організації перевезення зернових вантажів та визначено неефективність існуючої технології. Зношеність вагонів-зерновозів АТ «Укрзалізниця» становить

більше 97,8 %, що призводить до їх дефіциту в пікові періоди перевезень, збільшення обігу вагонів та зниження їх продуктивності. Також є проблеми з нестачею тягового рухомого складу, що не дає змоги повною мірою забезпечити потреби промисловості в транспортних послугах та призводить до суттєвих затримок доставки вантажів.

Розроблено стохастичну модель формування ступінчастих маршрутів із зерновими вантажами, що враховує ймовірнісний характер тривалості простою вагонів на станції формування й дає змогу визначити оптимальну кількість вагонів у маршрутній відправці. Використання моделі забезпечить зменшення непродуктивних простоїв вагонів і виключить переробку на шляху прямування, урахувавши термін доставки та технічну спроможність станцій.

Список використаних джерел

1. Аналіз і перспективи розвитку перевезень зернових вантажів залізничним транспортом України / О. В. Лаврухін, Д. І. Мкртичян, О. М. Костенніков, С. П. Кануннікова, Ю. В. Церковнюк. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 158. С. 31–35.
2. Перспективи ринку зерна врожаю 2016 року. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/7939-perspektyvy-rynku-zerna-vrozhaiu-2016-roku.html> (дата звернення: 10.09.19).
3. Арсененко Д. В. Удосконалення організації перевезення зернових вантажів залізничними ступінчастими маршрутами. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2019. Вип. 184. С. 92–101.
4. Дельз С. В. Логістичні підходи до оцінки ефективності логістичних схем доставки експортного зерна. *Спеціалізований науково-практичний журнал "Логістика"*. 2011. № 8. С. 44–46.
5. Kozachenko. D. Creation of Export-Oriented Network of Grain Elevators in Ukraine. *Наука та прогрес транспорту*. 2017. № 2 (68). С. 56–70.
6. Pavlenko O., Velykodnyi D. The choice of rational technology of delivery of grain cargoes in the containers in the international traffic. *International journal for traffic and transport engineering*. 2017. Vol. 7. P. 164–176. URL: [http://ijtte.com/uploads/2017-06-12/5d576de2-f2f6-755cijtte.2017.7\(2\).02.pdf](http://ijtte.com/uploads/2017-06-12/5d576de2-f2f6-755cijtte.2017.7(2).02.pdf).
7. Maiyar M., Thakkar J. A combined tactical and operational deterministic food grain transportation model: Particle swarm based optimization approach. *Computers & Industrial Engineering* 2017. Vol. 110. P. 30–42. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835217302279> (дата звернення: 15.09.19).

8. Mogale D. G., Kumar Sri Krishna, Tiwari Manoj Kumar, Two Stage Indian Food Grain Supply Chain Network Transportation-Allocation Model, *IFAC-PapersOnLine*. 2016. Vol. 49. P. 1767–1772.

9. Lavrukhin O., Zapara V., Baulina H., Zapara Y., Kyman A. Rationalization of the use of alternative rolling stock for transportation of vegetable cargo with insufficient number of grain hoppers. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. 7 (4.3 Special Issue 3). P. 251–256. URL: https://www.researchgate.net/publication/332140615_Rationalization_of_the_Use_of_Alternative_Rolling_Stock_for_Transportation_of_Vegetable_Cargo_with_Insufficient_Number_of_Grain_Hoppers.

10. Improvement of technology for management of freight rolling stock on railway transport / T. Butko, S. Prodashchuk, G. Bogomazova, G. Shelekhan, M. Prodashchuk, R. Purii. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 3/3 (87) (2017). P. 4–11.

11. 2018 року експорт українського зерна приніс рекордні за часів незалежності 7,2 млрд дол. США – Микола Пугачов. URL: <http://www.iae.org.ua/presscentre/archnews/2496-2018-roku-eksport-ukrayinsko-ho-zerna-prynis-rekordni-za-chasiv-nezalezhnosti-7-i-2-mlrd-dol-ssha-mykola-puhachov.html> (дата звернення: 15.09.19)

12. Путь зерна: какой была логистика аграрного экспорта в 2018 году. URL: https://cfts.org.ua/articles/put_zerna_kakoy_byla_logistika_agrarnogo_eksporta_v_2018_godu_1517 (дата звернення: 15.09.19).

13. Чому "Укрзалізниця" може зупинитися. URL: <https://daily.rbc.ua/ukr/show-rochemu-ukrzaliznytsya-ostanovitsya-1509674322.html> (дата звернення: 26.09.19)

Бавліна Ганна Сергіївна, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85.

E-mail: baulina777@gmail.com.

Богомазова Ганна Євгенівна, канд. техн. наук, старший викладач кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-85.

E-mail: annabogomazova1234@gmail.com.

Мішков Віталій Сергійович, магістрант, група 12-ІІМ-ТТ Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: mishkovvitaliy25@gmail.com.

Baulina Hanna, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Freight and Commercial Work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-85. E-mail: baulina777@gmail.com.

Bohomazova Hanna, PhD (Tech.), Senior Lecturer, Department of Freight and Commercial Work, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-85. E-mail: annabogomazova1234@gmail.com.

Mishkov Vitaliy, master, Group 12-II-M-TT, Ukrainian State University of Railway Transport.

E-mail: mishkovvitaliy25@gmail.com.

Статтю прийнято 28.10.2019 р.

УДК 656.1:654

ОРГАНІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ МІСТА ШЛЯХОМ ДОЦІЛЬНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ МАРШРУТУ

В. І. Стадник, кандидати техн. наук О. С. Лиходій, О. П. Сакно, Т. М. Колеснікова

ORGANIZATION OF THE CITY TRANSPORT PROCESS BY THE SUITABILITY OF MODERNIZATION THE ROUTE

V. I. Stadnyk, PhD (Tech) O. S. Lykhodii, PhD (Tech) O. P. Sakno,
PhD (Tech) T. M. Kolesnikova

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.187.2019.196345>

У статті розглядаються напрями удосконалення організації транспортного процесу міста шляхом доцільності відкриття маршруту. Розглянуто маршрутну систему та основи її побудови. Розроблені конкретні заходи щодо поліпшення обслуговування населення за рахунок інформаційного забезпечення таких транспортно-експлуатаційних задач, як коригування маршрутної системи, перерозподіл рухомого складу між маршрутами, регулювання їх випуску на лінію та ін. Розраховано техніко-економічне обґрунтування доцільності відкриття маршруту (за даними 2018 р. м. Дніпро, маршрут 146а). Визначено, що збільшення пасажиромісткості міського транспорту дає прибутку більше ніж 16 тис. грн на місяць на один автобус, витрати на один оборотний рейс близько 400 грн, рентабельність проекту становила 16,4 %.

Ключові слова: транспортний процес, маршрут, транспортна система, техніко-економічні показники.

The article discusses the directions of improving the organization of the transport process of the city by the expediency of opening a route. The route system and the basics of its construction are considered. An analysis of the operation of urban transport showed that the idle time of vehicles at stopping points reaches 30% of the total flight duration, and the unproductive downtime is almost 60%. This problem is relevant in the world and in Ukraine because there is a high level of injuries and deaths from road accidents. If there are restrictions on the number of rolling stock, of particular interest is the problem of choosing the modes of movement of rolling stock on routes, since not only the quality of passenger service depends on its solution, but also the calculation of the required number of buses and the corresponding number of certain routes. Survey of public transport services provide information on the level of satisfaction of the transport demand of the population on the route system, it is functioning. Domestic and foreign experience in practice is aimed at automating the inspection of passenger flows. An analysis of existing methods for estimating vehicle loading by automatic means shows that in cities it is necessary to use modern computer-information technologies. Specific measures have been developed to improve public services through information support of such transport and operational tasks as adjusting the route system, redistributing rolling stock between routes, regulating their release on the line, etc. The feasibility study of the feasibility of opening a route is calculated (according to the data of 2018 Dnepr, route 146a). It was determined that increasing the passenger capacity of the transport provides a profit of more than 16,000 UAH per month for one car, the cost of one return flight is about 400 UAH, the project's profitability was 16.4 percent.

Keywords: transport process, route, transport system, technical and economic indicators.

Вступ. Необхідність логістичного підходу в практиці виробничої діяльності обумовлена насамперед переходом від ринку продавця до ринку покупця, який змушує виробничі (розподільні) торгові системи гнучко реагувати на швидкі зміни пріоритету споживача [1].

Особливу увагу має концепція логістики в забезпеченні потреби в транспортних умовах. Слід зазначити, що недостатня увага до цієї теми на цей час знижує якість роботи єдиної транспортної системи та її елементів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Логістичний підхід до управління підприємствами автомобільного транспорту (ПАТ) визначає аналіз роботи внутрішньовиробничої логістичної системи на макро- і мікрорівні. Макрорівень ПАТ є джерело матеріальних послуг (транспортні послуги). Мікрорівень ПАТ забезпечує входження матеріального потоку до системи, проходження всередині неї та вихід із системи у вигляді матеріальних (транспортних) послуг. Таким чином, концепція логістики повинна забезпечити можливість постійного узгодження та взаємної корекції планів та дій щодо постачання, виробництва та збуту ланцюгів усередині підприємства. Аналіз роботи маршрутів міського транспорту [2–4] показав, що час простою транспортних засобів (ТЗ) у зупинних пунктах доходить до 30 % від загальної тривалості рейсу, а питома вага непродуктивного простою становить майже 60 %. Передусім наявна ситуація значно погіршується конфліктністю взаємодії суб'єктів міського транспорту, що є наслідком відсутності його чіткої організації. Результатом цього є виникнення тривалих непродуктивних простоїв ТЗ, необхідність компенсації провізних можливостей маршрутів випуском додаткових одиниць ТЗ, збільшення часу переміщення пасажирів, зниження якості транспортного обслуговування населення, погіршення безпеки дорожнього руху та зростання

екологічного забруднення довкілля [5, 6]. Останнім часом у світі та Україні вирішенню цієї проблеми приділяється значна увага, що обумовлено високим рівнем травмування та загибелі людей від дорожньо-транспортних пригод (кожного року в Україні гине понад 3 тис. осіб, а травмується понад 30 тис. осіб) [3, 7].

Визначення мети та завдання дослідження. Мета дослідження – удосконалення організації транспортного процесу міста шляхом доцільності модернізації маршруту. Завдання дослідження – на основі техніко-економічного обґрунтування розглянути доцільність модернізації маршруту 146а за даними 2018 р. м. Дніпро.

Основна частина дослідження. Логістична система – це складна організаційно завершена (структурована) економічна система, яка складається з елементів матеріальних та попутних їм потоків. Це адаптована система зі зворотним зв'язком, що виконує ті чи інші логістичні функції (операції). Як правило, складається з кількох підсистем та має розвинені зв'язки із зовнішнім середовищем.

Маршрутна система належить до розряду великих систем, тому що вона має їх необхідні ознаки:

- наявність великої кількості взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів;
- складність функції, спрямованої на досягнення заданої мети, яку виконує система;
- можливість диференціації на підсистеми, мета функціонування яких підпорядкована меті функціонування системи в цілому;
- розлагодженість інформаційної мережі й інтенсивність потоків інформації та ін.

Сукупність елементів, взаємопов'язаних між собою вхідними і вихідними даними, які виконують визначені функції з досягнення єдиної мети.

Якщо розглядати міський пасажирський транспорт, то метою його

діяльності буде задоволення потреб населення в перевезеннях [8].

Маршрутна система пасажирських перевезень становить такі основні елементи:

- транспортна мережа;
- рухомий склад і режим руху;
- пасажиропотоки і кореспонденції

(рис. 1).

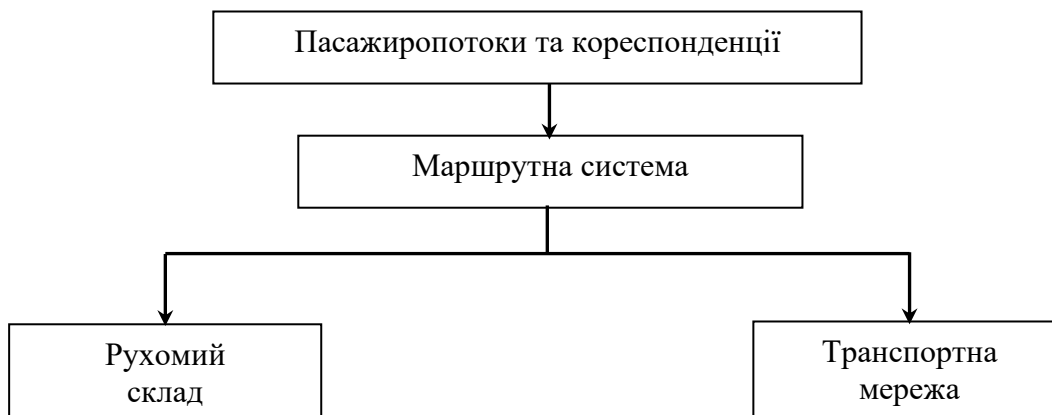


Рис. 1. Взаємодія елементів, що визначають маршрутну систему міста

Маршрутна система – активний елемент. Це пов'язано з тим, що міське господарство безперервно змінює свої характеристики: розширення промислового і житлового будівництва призводить до зміни величини і спрямованості пересування пасажирів на дорожньо-вуличній мережі, що у свою чергу впливає на показники роботи транспорту і якість обслуговування населення, потребує прийняття рішень з побудови маршрутних систем, організації роботи ТЗ на маршрутах. Вирішення питань зміни маршрутних систем і організація роботи транспорту, виділення матеріальних ресурсів відбуваються планомірно, в територіальних управліннях транспорту. Отже, маршрутна система служить об'єктом управління міськими пасажирськими перевезеннями.

Побудова маршрутних систем являє собою комплекс задач, розв'язання яких спрямоване на забезпечення ефективного функціонування діючої мережі маршрутів. За наявності обмежень на кількість рухомого складу особливий інтерес становить проблема вибору режимів руху рухомого складу на маршрутах, оскільки від її вирішення залежить не тільки якість

обслуговування пасажирів, а й розрахунок необхідної кількості автобусів і відповідної кількості визначених маршрутів. Ось чому за об'єкт управління були прийняті: транспортна мережа; рухомий склад і режим руху автобусів; пасажиропотоки і кореспонденції [9–10].

Як показує досвід [5, 10, 11], єдиним джерелом інформації, що досить повно характеризує параметри транспортного попиту та умови його задоволення в рамках діючої системи, є різні методи транспортних обстежень населення. Лише обробка матеріалів цих обстежень дає змогу отримати комплекс таких показників, як розмір і спрямування пасажиропотоків, витрати часу на транспортні переміщення в цілому і за складовими (пішохідний підхід до зупинки та відхід від неї, чекання транспорту), кількість перевезень тощо.

Аналіз таких показників дає змогу об'єктивно оцінити характер функціонування існуючої системи транспортного обслуговування і виявити її недоліки. На основі цього можуть бути розроблені конкретні заходи щодо поліпшення обслуговування населення за рахунок інформаційного забезпечення таких

транспортно-експлуатаційних задач, як коригування маршрутної системи, перерозподіл ТЗ між маршрутами, регулювання їх випуску на лінію та ін. (рис. 2).

До першого належать ті види, які пов'язані з обстеженням транспортних потреб населення, до другого – ті, які пов'язані з обстеженням діючої системи його транспортного обслуговування, тобто ті, що проводяться безпосередньо на маршрутах пасажирського транспорту. Прийнятий розподіл обстежень на два класи деякою мірою умовний: він характеризує їх переважне визначення, але не виключає можливості супутнього

одержання і наступного використання інформації, яка властива обстеженням другого класу.

Обстеження транспортних потреб населення свідчать про закономірності й особливості формування та проявлення транспортного попиту. До цього класу входять обстеження:

- розселення;
- рухомості;
- відвідування закладів обслуговування;
- причини зміни місця роботи або проживання;
- бюджету часу та ін.

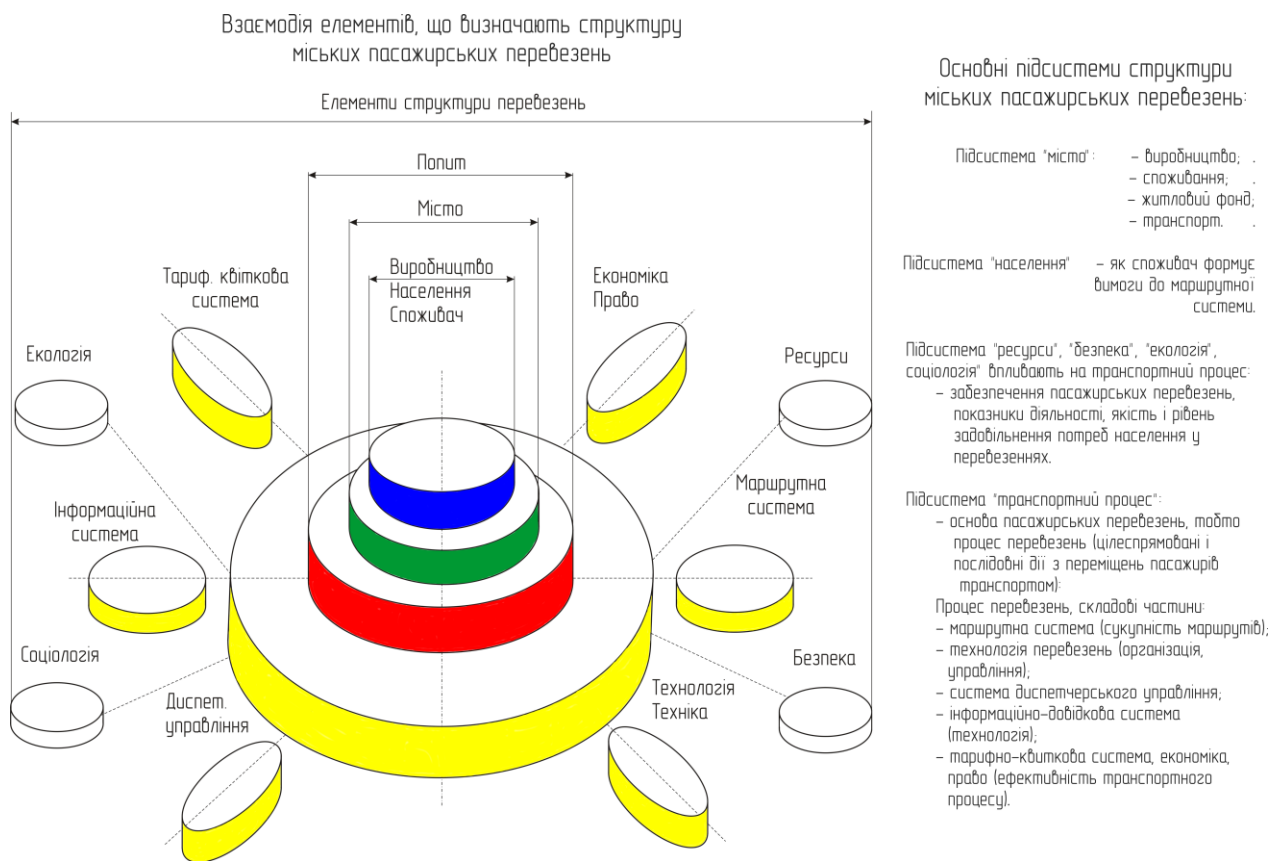


Рис. 2. Взаємодія елементів, що визначають структуру міських пасажирських перевезень

Обстеження транспортного обслуговування населення дають інформацію про рівень задоволення транспортного попиту населення на маршрутній системі, що функціонує.

У цей час для одержання інформації про пасажиропотоки на маршрутах пасажирського транспорту в містах існують різні методи проведення обстежень пасажиропотоків.

Звітно-статистичний (квитковий) метод полягає в обробці даних про кількість проданих квитків. Він дає уявлення про зміну обсягів добових перевезень пасажирів за маршрутами.

Візуальний (окомірний) метод полягає у приблизному визначенні наповнення транспортних засобів по перегонах. Наповнення ТЗ оцінюють кондуктори, водії або спеціальні обліковці. В основі цього методу оцінки наповнень ТЗ лежить, як правило, бальна система, тобто встановлюється визначальна шкала наповнень і згідно з нею реєструється приблизна кількість пасажирів у транспортних засобах, що обстежуються.

Можливі й інші варіанти організації візуальних обстежень, зокрема силуетний метод.

За табличним методом (облік пасажирів, які входять і виходять на зупинках) обстеження пасажиропотоків в подальшій обробці матеріалів обстеження одержують точну і значну інформацію про характеристику пасажиропотоків, але при цьому відсутні відомості про зупинкові кореспонденції пасажирів.

Як показує практика, при вдосконаленні організації пасажирських і побудові маршрутних систем табличний метод є найефективнішим.

Талонний метод обстеження пасажиропотоків ґрунтується на реєстрації обліковцями зупинок посадки і висадки кожного пасажирів. Для цього всім пасажирам видають спеціальні талони із пронумерованими зупинками посадки, а потім ці талони збирають при виході з пронумерованими зупинками виходу. Таким чином, талонний метод дає змогу визначити кількість пасажирів, що проїхали між кожною парою зупинок, а отже, виявити розподіл перевезених пасажирів за довжиною поїздки на маршрутах.

Анкетний метод передбачає опитування пасажирів шляхом заповнення анкет про мету і характер переміщення. Він призначений в основному для вирішення

питань, які стосуються реконструкції існуючих або проектування нових транспортних мереж.

На сьогодні є великий досвід маршрутних обстежень [12–14], який дає змогу оцінити позитивні і негативні сторони кожного з використаних методів. В оцінці цих методів ураховується: все більш широке використання електронно-обчислювальної техніки при обробці результатів, обстеження, можливість оптимізувати сам процес проведення обстеження, розробку математичних моделей, які дають змогу з достатньою точністю отримати розрахунковим шляхом характеристики пасажиропотоків.

У цьому плані найперспективнішим вважається табличний метод обстеження пасажиропотоків.

Технологія проведення табличного обстеження порівняно з талонним має таку перевагу:

- відсутній прямий контакт обліковця з пасажирами, що зменшує кількість помилок і втрат інформації;
- є можливість залучати до обстеження робітників з мінімальною попередньою підготовкою;
- спрощено попередню обробку і систематизацію початкової інформації перед введенням в ЕОМ і скорочено час, потрібний на її обробку;
- зменшено кількість бланків, необхідних для збору початкової інформації.

Основним недоліком табличного методу порівняно з талонним вважається неможливість отримання матриці кореспонденції поїздок пасажирів за маршрутом. У цей час є роботи, в яких доведено можливість одержувати елементи матриці кореспонденцій пасажирів на маршруті в результаті обробки матеріалів табличного методу обстеження розрахунковим методом.

Протягом багатьох років у вітчизняній і зарубіжній практиці ведуться роботи з автоматизації обстеження пасажиропотоків. Аналіз існуючих методів

оцінки завантаження транспортних засобів автоматичними засобами можна поділити на дискретний та інтегральний.

Дискретний метод передбачає облік кожного пасажирів в салоні ТЗ і є натуральною заміною ручного рахунку.

Інтегральний метод оснований на зважуванні ТЗ разом з пасажирами і

переводу всієї маси пасажирів в їх чисельність.

Техніко-економічне обґрунтування доцільності відкриття маршруту. За даними 2018 р. м. Дніпро, маршрут 146а [15] має нижченаведені дані.

Доходи на один оборотний рейс:

$$D_P = (N_{IP} \cdot K_3 \cdot (1 - U_L)) \cdot K_M \cdot C_{IP} = 72 \cdot 1,2 \cdot (1 - 0,07) \cdot 1,1 \cdot 7 = 618,7 \text{ грн}, \quad (1)$$

де $N_{IP} = 72 \cdot 1 = 72$ – пасажиромісткість на один оборотний рейс;

$U_L = 5 \cdot 72 = 0,07$ – питома вага пільгових пасажирів;

$K_3 = 1,2$ – коефіцієнт змінюваності;

$K_M = 1,1$ – коефіцієнт використання місткості.

Перевізник є платником ПДВ, тому

$$D_P = ((N_{IP} \cdot K_3 \cdot (1 - U_L)) \cdot K_M \cdot C_{IP}) / 1,2 = (72 \cdot 1,2 \cdot (1 - 0,07) \cdot 1,1 \cdot 7) / 1,2 = 515,6 \text{ грн}, \quad (2)$$

Витрати на один оборотний рейс:

1) заробітна плата водія:

$$ЗП_B = (t_{CT.B} / U_{T.B.}) \cdot T_P = (15,2 / 0,5) \cdot 1,17 = 35,57 \text{ грн}, \quad (3)$$

де $T_P = 1,17$ – час виконання оборотного рейсу;

$U_{T.B.} = 0,5$ – питома вага тарифної частини в заробітній платі.

Для погодинної ставки водія $t_{cm.в}$ приймаємо заробітну плату водія на вересень без премій та надбавок 4000 грн. Тоді

$$t_{cm.в} = \frac{C_{zn}}{TЗ} = \frac{4000}{262} = 15,2 \text{ грн/год}, \quad (4)$$

де $C_{zn} = 4000 \text{ грн}$ – прийнята для розрахунків зарплата водія;

$TЗ = T_P \cdot 8 \text{ об. р.} \cdot 28 \text{ днів} = 262 \text{ год}$ – загальний фонд робочих годин водія за 28 днів;

2) витрати на паливно-мастильні матеріали:

$$\begin{aligned} ПММ &= 0,01 \cdot H_S \cdot L_P \cdot (1 + 0,01 \cdot K) \cdot 1,01 \cdot Ц_G \cdot K_{CM} = \\ &= 0,01 \cdot 29 \cdot 22,4 \cdot (1 + 0,01 \cdot 15) \cdot 1,01 \cdot 27 \cdot 1,02 = 207,8 \text{ грн}, \end{aligned} \quad (5)$$

де $H_S = 29 \text{ л}$ – базова лінійна норма витрати пального на 100 км пробігу;

$L_P = 22,4 \text{ км}$ – довжина оборотного рейсу;

$K = 15\%$ – сумарний коригуючий коефіцієнт;

$K_{CM} = 1,02$ – коефіцієнт, що враховує витрати й ціну мастильних матеріалів;

$Ц_G = 27 \text{ грн}$ – ціна палива;

3) витрати на заміну шин:

$$Ш_A = (N_{ш} \cdot L_p / (H_{е.ш.} \cdot K_{ш})) \cdot Ц_{ш} = (6 \cdot 22,4 / (65000 \cdot 0,95)) \cdot 4000 = 8,7 \text{ грн}, \quad (6)$$

де $N_{ш} = 6$ – кількість шин;

$H_{е.ш.} = 65000$ км – норма експлуатаційного пробігу;

$K_{ш.} = 95\%$ – коефіцієнт, що коригує пробіг шин;

$Ц_{ш} = 4000$ грн – ціна однієї шини.

Техніко-економічні показники відкриття маршруту зведені в табл. 1, 2;

Таблиця 1

Техніко-економічні показники відкриття маршруту

Показники	Найменування маршруту: вул. Криворізька (ВО ПМЗ) – пр. Металургів – пр. Петровського – пр. Калініна – вул. Леваневського – вул. Курчатова – пр. Карла Маркса – вул. Олеся Гончара – вул. Чернишевського – пр. Гагаріна – Запорізьке шосе – вул. Героїв Сталінграда – вул. Титова – вул. Макарова – вул. Криворізька (ВО ПМЗ)	
	Міський	Маршрутне таксі
Тип маршруту	МАЗ-206 063	
Марки автобусів	22,4	
Довжина оборотного рейсу, км	70	
Час оборотного рейсу, хв	7	
Встановлений тариф, грн		
Інтервал руху:		
у час «пік», хв	4	
у «міжпіковий» час, хв	4	
Кількість оборотних рейсів:		
робочі дні	8	
у час «пік»	4	
у «міжпіковий» час	4	
за місяць	224	
Кількість пасажирів на один автобус:		
за оборотний рейс	95	
за місяць	21288	

Таблиця 2

Економічні показники відкриття маршруту (на один автобус)

Показники	Доходи без ПДВ	Витрати	Прибуток
1	2	3	4
За рейс, грн	515,6	443,07	72,56
За місяць, грн	115494	99247	16253
На оборотний рейс:			
кількість пасажирів	95		

Продовження табл. 2

1	2	3	4
доходи без ПДВ, грн	515,6		
витрати, грн	443,07		
В тому числі:			
заробітна плата водія, грн	35,57		
паливно-мастильні матеріали, грн	207,8		
знос та ремонт автошин, грн	8,7		
ТО та ремонт, грн	39,4		
амортизація, грн	107,3		
прибуток, грн	72,56		
На місяць один автобус:			
кількість пасажирів	21288		
доходи без ПДВ, грн	115494		
витрати, грн	99247		
прибуток, грн	16253		
рентабельність, %	16,4		

4) витрати на технічне обслуговування (ТО) та ремонт ТЗ:

$$TOP = H_{TOP} \cdot K_{TOP} \cdot L_P / 1000 = 1323,5 \cdot 1,33 \cdot 22,4 / 1000 = 39,4 \text{ грн},$$

де $H_{TOP} = 9,268 \cdot 5,1 \cdot 28 = 1323,5$ грн – норми витрат на заробітну плату, матеріали та запчастини, що витрачаються на ТО та ремонт;

$K_{TOP} = 1,33$ – коефіцієнт, що коригує витрати на ТО та Р (категорія 3);

9,268 у.о. – норма витрат на заробітну плату, матеріали та запчастини;

5,1 – коефіцієнт зміни зарплати по 2016 р.;

28 грн/у.о. – курс валюти;

5) амортизація. У зв'язку з відсутністю документальних даних (Бюлетень товарознавця, інформаційна література та ін.) ціну автобуса МАЗ-206063 приймаємо із джерела Інтернет. На 01.10.2018 р. при продажу автобуса виставляються конкурентні ціни в рідких випадках, натомість, здебільшого – це ціни договірні. Провівши пошук та, проаналізувавши оголошення різних відділів продажу, за основу беремо таку інформацію:

– МАЗ-203, рік випуску – 2009, ціна – 1253800 грн;

– МАЗ-203, рік випуску – 2007, ціна – 333600 грн;

– МАЗ-107 469, оголошення з 2008 р., ціна – 143568 \$;

– МАЗ-206 063, рік випуску не зазначено, ціна – 6135920 грн, 6393000 грн, 6792700 грн та ін.

У квітні 2018 р. міська рада м. Дніпро закупила 17 автобусів МАЗ-206 063 за 53,4 млн грн за лізингом. Ціна одного автобуса становить 3142470 грн. Ураховуючи те, що автобуси МАЗ-206 063 реально працюють у м. Дніпро, для подальших розрахунків приймаємо цей тип автобуса та ціну за одиницю 3142470 грн.

Амортизація визначається за формулою

$$A_A = B_A \cdot L_P / (T_A \cdot L_{PI}) = 3142470 \cdot 22,4 / (10 \cdot 65587) = 107,3 \text{ грн},$$

де $B_A = 3142470$ грн – балансова вартість автобуса;

$T_A = 10$ років – розрахунковий термін експлуатації автобуса;

$L_{RP} = N_{II} \cdot D_M \cdot \Gamma_M + L_P \cdot K_P \cdot D_M \cdot \Gamma_M = 16 \cdot 28 \cdot 12 + 22,4 \cdot 8 \cdot 28 \cdot 12 = 65587$ км – середньорічний пробіг; $N_{II} = 16$ км – нульовий пробіг; $D_M = 28$ днів – кількість днів у місяці;

$\Gamma_M = 12$ місяців – кількість місяців у році; $K_P = 8$ – кількість рейсів;

б) загальні витрати:

$$Z_B = (3P_B + ПММ + Ш_A + TOP + A_A) / (1 - 0,1) = \\ = (35,57 + 207,8 + 8,7 + 39,4 + 107,06) \cdot 3 / 0,9 = 443,07 \text{ грн,}$$

Висновки. Результати розрахунків на один оборотний рейс, на один день та на один місяць занесемо до табл. 3.

Загальні витрати на прибуток в табл. 3 розраховуються за коефіцієнтом 0,91. Тобто витрати на один оборотний рейс не 398,77 грн, а 443,07 грн.

Таблиця 3

Економічна ефективність відкриття маршруту

Показники	Позначення	Результати розрахунку		
		на 1 об. рейс	на 1 день	на 1 місяць
Доходи	DP	515,63	4125	115494
Витрати				
Заробітна плата водія	$3P_B$	35,57	284,56	7967,7
Витрати на ПММ	$ПММ$	207,8	1662	46547
Знос та ремонт шин	$Ш_A$	8,7	69,6	1948,8
ТО та ремонт	TOP	39,4	315,2	8825,6
Амортизація	A_A	107,3	858	24035
Загальні витрати	Z_B	443,07	3544,5	99247
Прибуток, грн	$П$	72,56	580,5	16253
Рентабельність, %	P	16,4	16,4	16,4

Список використаних джерел

1. Корчагин В. А., Гринченко А. В., Суворов В. А. Определение пассажиропотока на автобусном маршруте города. *Автотранспортное предприятие*. 2006. Вип. 2. С. 38–42.
2. Логачов Є. Г., Гілевська К. Ю. Удосконалення організації роботи автобусів на маршруті за критеріями якості. *International Scientific and Practical Conference «WORLD SCIENCE» (Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Modern Scientific Achievements and Their Practical Application (October 20–21, 2015, Dubai, UAE)»)*. 2015. No 3(3), Vol. 1. P. 63–67.
3. Vdovychenko V., Nagorny Y. The formation of the methodological level of evaluation system efficiency of urban public transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. № 3/3 (81). P. 44–51
4. Логачов Є. Г., Платонова К. Ю. Мінімізація залучення перевізного ресурсу на маршруті міської пасажирської транспортної системи із урахуванням якості обслуговування пасажирів. *Вісник Національного транспортного університету*. 2004. Вип. 9. С. 169–173.

5. Brenner N., Schmid C. The 'urban age' in question. *International Journal of Urban and Regional Research*. 2014. Т. 38, № 3. Р. 731–755.
6. Шураков Я. П. Зарубежный опыт организации обслуживания пассажиров городским пассажирским транспортом. *Автотранспортное предприятие*. 2008. Вип. 9. С. 18–21.
7. Сайт державного комітету статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 12.12.2019).
8. Про затвердження Порядку організації перевезень пасажирів та багажу автомобільним транспортом: наказ Міністерства інфраструктури України № 480 від 15.07.2013 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1282-13> (дата звернення: 12.12.2019).
9. Лазарев Ю. Г., Сеницына Е. Б. Современное состояние проблемы совершенствования транспортной инфраструктуры. *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2013. № 4 (26). С. 71–74.
10. Ding H., Hu Z., Song Y. Value of the energy storage system in an electric bus fast charging station. *Applied Energy*. 2015. Vol. 157. P. 630–639.
11. Vuchic V.R. *Urban Transit Systems and Technology*. New Jersey, 2007. 602 p.
12. Андреев К. П., Терентьев В. В. Современные проблемы городского пассажирского транспорта. *Научный альманах*. 2016. Вип. 11(2). С. 19–21.
13. Energy efficiency analysis of a series plug-in hybrid electric bus with different energy management strategies and battery sizes / X. Hu, N. Murgovski, L. Johannesson, B. Egardt. *Applied Energy*. 2013. Vol. 111. P. 1001–1009.
14. Електробус на суперконденсаторах для городских перевозок / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, Е. В. Быкова, А. В. Пидгора. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2016. Вип. 72. С. 29–34.
15. Удосконалення організації транспортного процесу міста шляхом впровадження автоматизованої системи управління / В. І. Стадник, О. П. Сакно, В. І. Андрейченко, В. А. Доля, С. В. Меркотан. Наукові праці міжнар. наук.-практ. конф. «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту» (16–19 жовт. 2018 р. м. Харків, ХНАДУ). Харків, 2018. С. 185–187.

Стадник Віктор Іларіонович, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». Тел. +38(050)7603122.
Лиходій Олександр Сергійович, канд. техн. наук, завідувач кафедри експлуатації та ремонту машин ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». Тел. +38(097)2673424.
E-mail: a.likhodey.78@gmail.com.
Сакно Ольга Петрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». Тел. +38(050)2955116. E-mail: sakno-olga@ukr.net.
Колеснікова Тетяна Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». Тел. +38(095)2255253.
E-mail: tnk1403@ukr.net.

Stadnyk Viktor, Associate Professor, Department of Vehicle Operation and Maintenance, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel. +38(050)7603122.
Lykhodii Olexandr, PhD (Tech), Head of Department, Department of Vehicle Operation and Maintenance, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel. +38(097)2673424.
E-mail: a.likhodey.78@gmail.com.
Sakno Olha, PhD (Tech), Associate Professor, Department of Vehicle Operation and Maintenance, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel. +38(050)2955116. E-mail: sakno-olga@ukr.net.
Kolesnikova Tatyana, PhD (Tech), Associate Professor, Department of Vehicle Operation and Maintenance, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel. +38(095)2255253. E-mail: tnk1403@ukr.net.

Статтю прийнято 28.10.2019 р.

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)

УДК 629.4.077:629.463

ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ РОБОТИ ГАЛЬМОВОЇ ВАЖІЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Канд. техн. наук В. Г. Равлюк, старші викладачі М. Г. Равлюк, В. А. Гребенюк, магістрант М. Р. Ткачук

DETERMINATION OF THE FACTORS AFFECTING THE RELIABILITY OF THE BRAKE RIGGING OPERATION OF FREIGHT CAR BOGIES

PhD (Tech.) V. Ravlyuk, Senior lecturer M. Ravliuk, V. Hrebenuk, master M. Tkachuk

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.187.2019.196351>

У статті наведено результати досліджень, які дозволяють вирішити проблему сповільнення ненормативного зносу гальмових колодок вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця». У результаті досліджень розроблено квазідинамічні моделі процесів гальмування й виконана оцінка відповідних конструктивних рішень щодо поліпшення роботи гальмової системи вантажних вагонів.

На підставі проведених досліджень вирішено створити експериментальну серію модернізованих розпірок тріангелів гальмових важільних передач в умовах вагоноремонтного підприємства. Для проведення розширених дослідних випробовувань на мережі АТ «Укрзалізниця» запропоновано модернізовані тріангелі встановити на трьохелементні візки вантажних вагонів.

Ключові слова: вантажний вагон, гальмова важільна передача, гальмова колодка, клиноподібний та дуальний знос, квазідинамічні моделі.

The article deals with the materials of the cycle of scientific theoretical researches, which unite the search for ways of solving the problem of slowing down the non-normative wear of the brake pads of freight cars of JSC "Ukrzaliznytsia". Based on the analysis of data on the economic costs associated with the replacement of worn pads of wagons, during repairs to the depot, it is determined that the main causes of abnormal wear of the pads are the structural disadvantages of the brake levers of the three-element carts of freight wagons, which lead to increased partial damage. The working surfaces of the pads, which takes place in many mechanical brake systems (up to 90 %) of freight cars of the operational park, both JSC "Ukrzaliznytsia" and private enterprises where there is a private park freight wagon.

Experimental filming and the use of computational models of brake processes have identified "weaknesses" in brake levers. It is recognized that the work of one brake of triangel and the other differs because that they are structurally suspended in the frame of the trolley in different ways. It is determined that the attraction of one triangle of brake rigging differs from other in that they are suspended in the frame of the wagon differently. Moreover, these features are essential for the triangel, which is suspended by two rod-hinged devices. Therefore, in research has paid special attention to this.

Quasi-dynamic models of braking processes have been developed and design solutions have been evaluated to improve the performance of the brake system of freight wagons.

On the basis of the conducted researches it was decided to create an experimental series of modernized spacers of brake-lever triangles under conditions of a wagon-repairing enterprise. In order to carry out advanced testing on the network of JSC "Ukrzaliznytsya", it is proposed to install upgraded triangles on three-element trucks of freight wagons.

Keywords: freight wagon, brake lever gear, brake pad, dual wear, wedge-shaped and dual wear, quasi-dynamic models.

Вступ. Зі збільшенням швидкостей руху й осьових навантажень під час перевезення вантажів на АТ «Укрзалізниця», а також з необхідністю підвищення термінів міжремонтних робіт в гальмовій системі вантажних вагонів застосовано ряд нових конструктивних рішень [1].

Для наукового обґрунтування нововведень, що забезпечують продовження терміну безпечної експлуатації гальмових колодок, здійснено узагальнення матеріалу циклу досліджень, в яких об'єднано пошуки шляхів вирішення проблеми сповільнення зносу колодок вантажних вагонів у АТ «Укрзалізниця».

За результатами обстежень механічної частини гальм візків вантажних вагонів було звернено увагу на те, що більшість колодок мають часткову верхню стертість, яка не збігається із загальною площиною

зносу від гальмувань (рис. 1, а). Одночасно обстеження 16640 колодок у вантажних вагонах експлуатаційного парку в пунктах технічного обслуговування (ПТО) дозволили встановити, що більшість колодок у попущеному стані гальма схилені, впираються своїми верхніми крайками у поверхні кочення коліс і під час руху здійснюють тертя (рис. 1, б). Також необхідно зазначити, що на колодках утворюються дві поверхні зносу: верхня – де колодка стирається кососиметрично, під час руху вагонів без гальмування, досить інтенсивно за швидкості руху; нижня – якою здійснюється гальмування вагона. Результат цього фізичного процесу наведений на рис. 1, де подано фото зношених колодок вантажних вагонів інвентарного парку АТ «Укрзалізниця».



Рис. 1. Клинодуально зношені гальмові колодки: а – з верхньою шкідливою стертістю; б – за взаємодії верхнього кінця з поверхнею кочення колеса під час руху вагона

Показники ефективності використання вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» вказують на те, що гальмові системи в теперішніх умовах експлуатації є дуже вразливі й у багатьох вагонах перебувають у незадовільному стані. Тому в АТ «Укрзалізниця» й у керівних закладах, які мають відношення до залізничного транспорту, проводяться роботи стосовно до покращення надійності автогальм вантажних поїздів.

Дотепер науковцями вивчалися і досліджувалися плоскі квазідинамічні моделі роботи гальмових важільних передач (ГВП), різних конфігурацій, на основі яких автором запропонована розрахункова математична модель, для якої було виконано відповідні теоретичні розрахунки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням аналізу роботи гальмового обладнання вантажних вагонів приділялось достатньо уваги в роботах багатьох фахівців. Так, у роботі [2] доведено, що занадто велика кількість елементів і зайвих зв'язків у ГВП візка (мод. 18-100) перешкоджає самоустановленню поверхонь тертя гальмових колодок відносно площин кочення коліс. Зокрема, кількість зайвих зв'язків у кінематичній схемі дорівнює значенню $q=12$. У цьому ж дослідженні також сформульовано пропозиції, які дозволяють знизити цей показник до бажаного за рахунок конструктивних змін у розпірці триангеля. Проте вони й дотепер не отримали свого втілення і цей вузол не було доведено до удосконалення. Хоча таке рішення могло б сприяти не тільки самоустановленню колодок і колісних пар, але й підвищенню ефективності та безпеці гальмування в кривих ділянках колії.

У даний час на залізниці АТ «Укрзалізниця» і країн, які входять до Міжнародного союзу залізниць (UIC) найбільш розповсюдженим є пристрій з рівномірного зносу гальмових колодок, який складається зі скоби, що верхньою частиною закріплена на розпірці триангеля

в замку, а нижньою частиною охоплює розпірку й утримує її разом з вертикальним важелем у виваженому стані [3].

Проте цей пристрій має суттєві недоліки. Він не забезпечує тривалу надійну працездатність гальм через те, що динамічні навантаження, які діють на скобу під час руху вагона від маси розпірки та вертикального важеля, створюють залишкові деформації скоби, розтягують її за довжиною і скоба перестає виконувати свою основну функцію – забезпечувати рівномірний знос гальмових колодок.

Такий пристрій в даний час застосовується як типовий на візках вантажних вагонів, але після нетривалої роботи він виходить з ладу і перестає виконувати свої функції, тобто не забезпечує ефективне гальмування при нерівномірному зносі колодок, що призводить до зниження надійності в роботі системи гальмування вагона та перевищення витрат гальмових колодок на залізничному транспорті.

У праці [4] запропоновано пристрій для відведення колодок у візках вантажних вагонів із автоматичним корегуванням взаємного положення гальмових колодок відносно поверхонь кочення коліс. Але такий пристрій ускладнює конструкцію ГВП і потребує в умовах експлуатації періодичних трудомістких регулювань, через це його застосування недоцільне.

У Китаї створено перспективну конструкцію візка (мод. ZK1) з ГВП [5], з покращеними динамічними характеристиками. Важільна передача має нежорстку підвіску триангеля, що спирається на конусні втулки через гуму. Хоча деякі недоліки має і вона. Для використання гальмової передачі у бокових рамах візка ZK1 необхідно вилити спеціальні додаткові приливи, які утримують триангельну гальмову систему. У місцях контакту шипа триангеля з боковою рамою розповсюджуються втомні тріщини, тому і тут можуть виникати загрози безпеці руху. Крім того в процесі експлуатації

спостерігається підвищений знос конусних втулок і зменшення їх ресурсу.

Визначення динамічної навантаженості рухомого складу з метою забезпечення безпеки руху при комбінованих перевезеннях проводиться у праці [6]. Розв'язок математичних моделей динамічної навантаженості здійснений у програмному середовищі Mathcad. Однак при цьому не приділяється уваги дослідженню умов роботи гальмових систем рухомого складу.

За минуле десятиріччя з приводу підвищення надійної роботи ГВП закордонними фахівцями досліджувалися різні аспекти гальмування залізничного транспортного засобу. У праці [12] надано розрахунки для гальмової сили транспортного засобу, оснащеної пневматичним гальмом UIC для пасажирських поїздів, а в дослідженні [13] було зроблено спробу розповсюджувати цю ідею й для вагонів вантажних поїздів, що дасть змогу покращити гальмову ефективність.

Використовуючи традиційні методи досліджень, в [14] розроблено розмірну аналогову модель з кінцевими елементами блоку гальма на колеса, яка була об'єднана через контактний інтерфейс з контролем виробленого тепла при гальмуванні, а також розподілу тепла на поверхні блоку колеса через теплові контактні опори. Вплив температури в колесах і гальмових блоках при гальмуванні було проаналізовано при виконанні експериментальних досліджень на випробувальному гальмовому стенді в роботі [15, 26].

У працях [16, 17] досліджувався вплив температури на гальмування обода залізничного колеса. Попередньо, в межах циклу досліджень, автор оцінював різні показники працездатності залізничних транспортних засобів [18-23]. Він також провів аналогічні дослідження для автомобілів з магнітною левітацією [24] та повітряною подушкою [25].

Виконаний аналіз науково-технічних джерел стосовно працездатності ГВП

вантажних вагонів дозволив зробити висновок, що жодна із запропонованих конструкцій ГВП, які тепер застосовуються в трьохелементних візках, не вирішує проблему рівномірного зносу гальмових колодок через те, що фахівці в більшості випадків рухалися шляхом створення допоміжних пристроїв протидії силам, які нахиляють колодки до поверхонь кочення коліс.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є визначення факторів, які впливають на особливості умов роботи гальмової важільної передачі, на основі яких можна запропонувати створення раціональної конструкції механічної частини гальм з точки зору покращення вертикальної динаміки трьохелементних візків вантажних вагонів.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити особливості роботи триангелів гальмових важільних передач трьохелементних візків вантажних вагонів;
- розробити квазідинамічні моделі сучасних важільних передач візків вантажних вагонів, які допускають інтерпретацію їх роботи у вигляді безінерційних й інерційних плоских кінематичних схем;
- виконати розрахунки силових факторів, що діють на елементи важільних передач при гальмуванні візка для різних випадків, на основі яких знайти раціональне рішення для зменшення шкідливої дії крутного моменту, а також врахувати експлуатаційні умови роботи вантажного вагона при наїзді візків на нерівності рейкової колії типу «стик рейок»;
- запропонувати заходи, які дозволять знешкодити дію шкідливого крутного моменту, що порушує врівноваженість триангеля гальмової важільної передачі трьохелементного візка вантажного вагона.

Основна частина дослідження. Для зменшення можливого впливу шкідливої дії крутного моменту, обумовленого динамікою руху вантажних вагонів,

розглянемо триангелі ГВП трьохелементних візків і проаналізуємо шляхи їх удосконалення. На рис. 2 зображено модель ГВП візка вантажного вагона.

Умовно поділимо ГВП візка на дві частини, які віднесемо до першої (правої) і до другої (лівої – будуть позначені ') колісної пари, та побудуємо об'єднану схему розподілу силових факторів, що діють на відповідні елементи ГВП при

гальмуванні (рис. 2, б). На схемі наведено такі позначення: 1, 1' – вертикальні важелі; 2, 2' – триангелі; 3, 3' – гальмові башмаки; 4, 4' – гальмові колодки; 5, 5' – маятникові підвіски; 6, 6' – розпірки триангеля; 7 – затяжка вертикальних важелів; $T_0(t)$ – гальмова зовнішня сила; $N_1(X_1, Z_1)$ і $N_2(X_2, Z_2)$ – парні сили в підвісках триангелів; T_1 і T_2 – парні гальмові реакції (зі сторони коліс); $\delta T_2 = -\delta T_1$ – розпірні «віртуальні» сили.

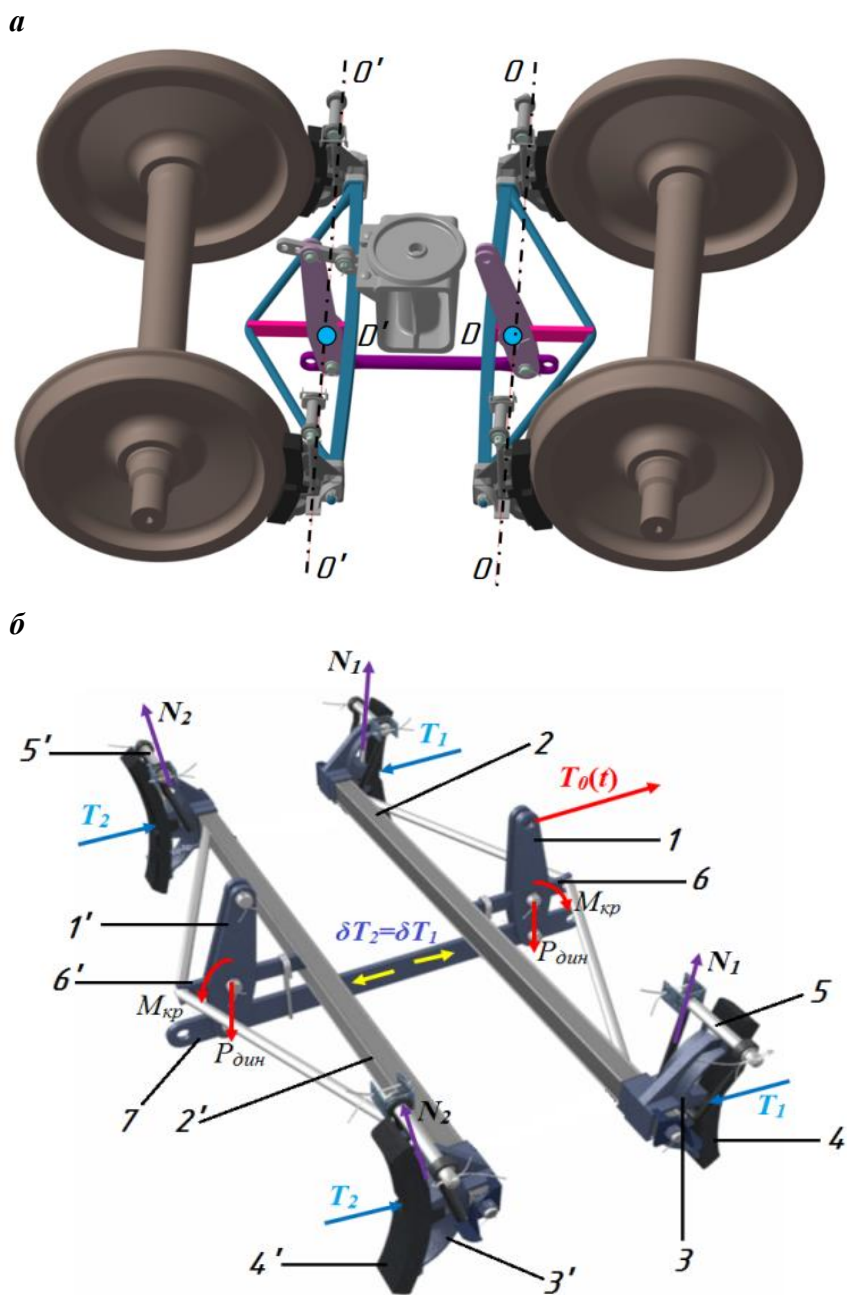


Рис. 2. Загальний вигляд моделі:
а – ГВП з колісними парами візка; б – ГВП вантажного вагона

Одна з частин (припустимо, права) має: підвішений триангель № 1 з ведучим важелем 1, через який зовнішнє зусилля $T_0(t)$ від пневмосистеми гальма передається на триангель № 1. Триангель своїми гальмовими башмаками з колодками натискає на колеса першої колісної пари та гальмує її. Тобто при гальмуванні вертикальні важелі 1 (1') триангелів 2 (2') з парами гальмових башмаків 3 (3') переміщують пари колодок 4 (4'), аж до повного їх контакту з колесами першої і другої колісної пари (рис. 1, б). Окрім того, триангелі № 1 і № 2, які підвішені до рами по обидва боки візка за схемою маятника (кожний поблизу своєї колісної пари) за допомогою стрижневих підвісок 5 (5'), переміщують при гальмуванні до коліс свої гальмові башмаки з колодками, які через валики шарнірно приєднані до жорстких балок. Аналогічні конструктивні рішення для лівої частини ГВП впливають з дзеркального відображення правої.

У праці [7] викладено пропозиції щодо створення нових розпірок триангелів, а в роботах [8, 9] запропоновано спосіб їх поновлення в звичайних умовах деповського ремонту. Завдяки цьому без введення допоміжних пристроїв і особливих змін в конструкції серійних триангелів досягається зменшення впливу вертикальної динаміки візка на шкідливий крутний момент $M_{кр}$, завдяки цьому вирішується проблема сповільнення інтенсивності зносу гальмових колодок в експлуатації [10, 11]. У механічній системі ГВП з модернізованими триангелями здійснює гальмування колісних пар зусиллями T_1 і T_2 переважно за всією робочою площею колодок. А контактні зусилля між гальмовими колодками та колесами колісних пар діють, як належить при гальмуванні. Плоска схема відносно силового навантаження елементів ГВП для теоретичного обґрунтування апробованих у процесі експлуатації конструктивних рішень наведена на рис. 3.

З метою узгодження досліджень за відомими спрощеннями плоских схем ГВП

трьохелементних візків при гальмуванні будемо вважати, що дві сили N_1 з обох сторін підвішування триангеля № 1 однакові та діють, як одна N_1 .

Так само і три (теж однакові) реакції N_2 діють, як одна N_2 в плоскій стрижневій моделі (рис. 3), де додається ще й сила приєднання триангеля № 2 через вертикальний важіль до «мертвої» точки O_3 в середині надресорної балки візка вантажного вагона.

Слід зазначити, що плечі вертикальних важелів ГВП сконструйовано так, що два вертикальних важелі діють таким чином: важіль 1 – зі збільшенням силової дії $T_0(t)$ в i_1 раз; а другий 2 – зі зменшенням сили $\delta T_2 = \delta T_1 = \delta T$ в i_2 раз, згідно із співвідношенням плечей в кожному з них ($i_1 \times i_2 = 1$). Тобто силове натискання гальмових колодок на першу (по ходу руху) колісну пару дорівнює натисканню аналогічних колодок на другу колісну пару:

$$T_1 = T_2, \quad (1)$$

де T_1 і T_2 – середні арифметичні зусилля парної дії колодок на першу й другу колісні пари при гальмуванні.

Вочевидь, що у сенсі горизонтальної динаміки трьохелементного візка раціональним є рішення, коли центри мас D і D' (рис. 2) у першого й у другого триангелів знаходяться на серединах балок триангелів, тобто осей $O-O$ і $O'-O'$, що завдяки симетрії візка (в плані) виконати конструктивно не важко.

З точки зору вертикальної динаміки, «оптимальним» було б рішення, де на фронтальній площині проектування центри тяжіння знаходилися б в точках перетинання проєкцій ліній підвішувань триангелів зі вказаними осями, що реалізувати не просто. Однак, для отримання позитивного ефекту, який ми очікуємо, можна зблизити ці точки перетинання, це було наведено в працях [7–9].

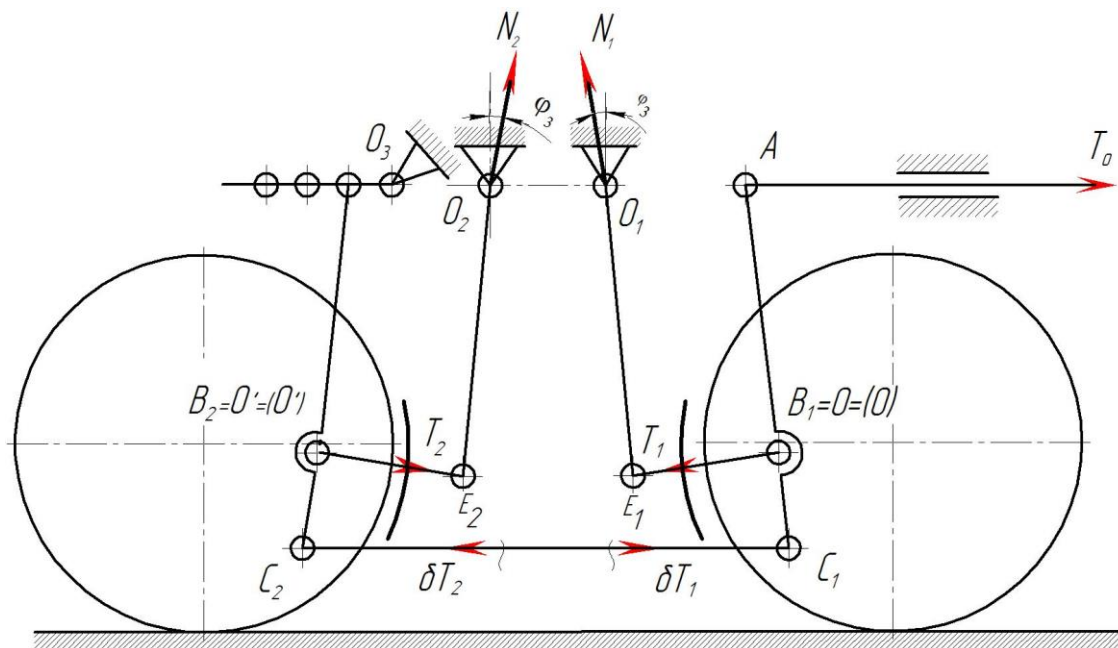


Рис. 3. Плоска схема навантаження елементів безінерційної ГВП візка вантажного вагона

Однак, у працях [7, 8] було отримано теоретичні рішення щодо раціонального розміщення центрів ваги триангелів D і D' на розпірках зі збігом цих точок з крайніми точками осей $O-O$ і $O'-O'$ на площині (рис. 2) для випадків роботи безінерційного й інерційного триангелів. Незважаючи на те, що конструктивні обмеження не дозволяють реалізувати «ідеальні» пропозиції на практиці, їх все ж таки треба враховувати.

Дійсно, з рис. 4, б для правої частини ГВП видно, що вісь $O-O$, яка проходить крізь центр тяжіння D триангеля 1, зв'язана

в точках $O-O$ обома гальмовими башмаками з колодками шарнірно.

Для пошуку раціональних рішень в конструюванні розпірок триангеля з урахуванням інерційності ГВП і вертикальної динаміки трьохелементного візка вантажного вагона узагальнено схеми моделей з цього приводу (рис. 4, в) і розроблена система рівнянь, яка дає змогу визначити невідомі силові фактори взаємодії елементів ГВП шляхом математичного моделювання при гальмуванні. В загальному вигляді для усіх трьох схем (рис. 4) маємо такі рівняння:

$$\sum X = 0; T_0 + \delta T - N_1 \sin \varphi_1 - T_1 \cos \varphi_1 = 0; \quad (2)$$

$$\sum Y = 0; N_1 \cos \varphi_1 - T_1 \sin \varphi_1 - P_{\text{дин}} = 0; \quad (3)$$

$$\sum M_{B_1} = 0; T_0 \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta - P_{\text{дин}} \cdot l_{B_1 D_1} + \delta T \cdot l_{B_1 C_1} \cdot \sin \beta - M_0 = 0, \quad (4)$$

де M_0 – компенсуючий момент, який утворюється при натисканні колодки на колесо й дорівнює $M_0 = T_0 \cdot l_{AC_1} \cdot \sin \beta$;

$P_{\text{дин}}$ – динамічна сила (за попередніми дослідями приймаємо $P_{\text{дин}} = 1 \text{ кН}$);

$l_{B_1 C_1}$, $l_{D_1 C_1}$, – геометричні параметри елементів ГВП (табл. 1).

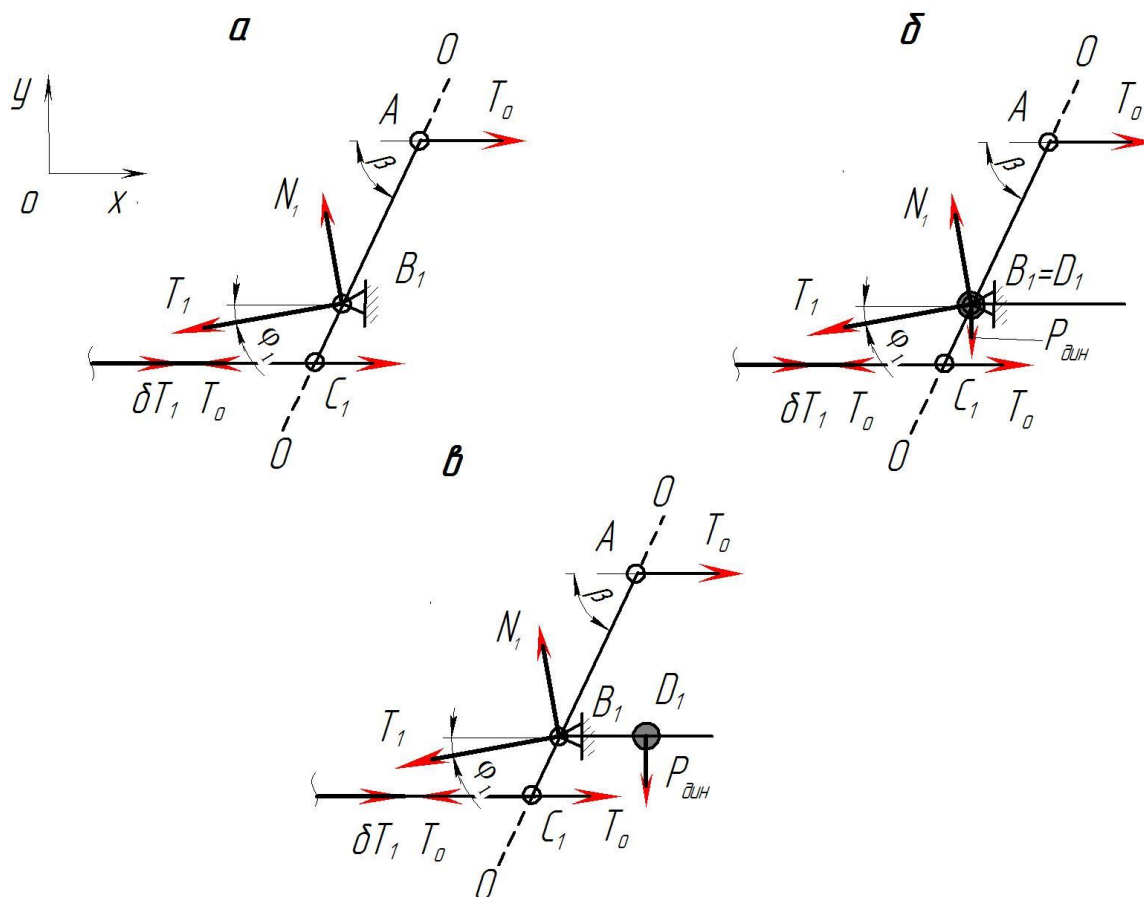


Рис. 4. Схеми розрахункових моделей передачі зовнішнього зусилля $T_0(t)$, що гальмує праву колісну пару: *a* – безінерційна «ідеальна»; *б* – інерційна «ідеальна»; *в* – інерційна зі зміщенням центру ваги триангеля C ; $N_1 (X_1, Z_1)$ і $N_2 (X_2, Z_2)$ – сили в підвісках триангелів (зовнішні); T_1 і T_2 – зовнішні гальмові реакції; $\delta T_2 = -\delta T_1$ – розпірні внутрішні «віртуальні» сили; $P_{дин}$ – динамічна сила, що змушує триангель до нахилу, у результаті чого відбувається притискання колодок верхніми окрайками до коліс

Таблиця 1

Вихідні параметри для виконання розрахунків

Позначення	Значення, мм	Значення, м	Найменування
$l_{B_1C_1}$	160	0.16	Відстань від лінії дії сили δT_1 до т. B_1
$l_{B_1D_1}$	200	0.20	Відстань від лінії дії сили до т. B_1
$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_4$	10^0	$\cos\varphi_1 = 0.984$	$\sin\varphi_1 = 0.1736$
$\varphi_5 = \varphi_6$	$3^058' = 3.97^0$	$\cos\varphi_5 = 0.997$	Кут нахилу сили δT до осі x
β	$64^043' = 64.72^0$	$\cos\beta = 0.427$	$\sin\beta = 0.904$

Примітка. Розглядається план положень елементів ГВП при гальмуванні візка вантажного вагона мод. 18-100, коли усі гальмові колодки притиснені до коліс.

У цьому випадку рівняння (2)–(4) перетворимо в систему (5), яку нескладно

привести до матричного вигляду (6):

$$\begin{cases} T_0 + \delta T - N_1 \sin \varphi_1 - T_1 \cos \varphi_1 = 0 \\ N_1 \cos \varphi_1 - T_1 \sin \varphi_1 - P_{\text{дин}} = 0 \\ T_0 \cdot l_{B_1C_1} \cdot \sin \beta - P_{\text{дин}} l_{B_1D_1} + \delta T \cdot l_{B_1C_1} \cdot \sin \beta - T_0 \cdot l_{AC_1} \cdot \sin \beta = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Вводимо вектор невідомих зусиль $\Delta = (N_1, T_1, \delta T)$, тоді матриця системи

рівнянь буде мати вигляд G , в якій права частина матриці має вигляд вектора-стовпчика R :

$$G = \begin{bmatrix} -\sin \varphi_1 & -\cos \varphi_1 & 1 \\ \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 \\ 0 & 0 & l_{B_1C_1} \cdot \sin \beta \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$R = \begin{bmatrix} -T_0 \\ P_{\text{дин}} \\ -T_0 \cdot l_{B_1C_1} \cdot \sin \beta + T_0 \cdot l_{AC_1} \cdot \sin \beta + P_{\text{дин}} \cdot l_{B_1D_1} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Для розв'язання системи рівнянь методом Крамера потрібно знайти визначник матриці $G = \Delta$. Якщо він не дорівнює нулю, тоді система лінійних алгебраїчних рівнянь має єдиний розв'язок.

Зусилля, які потрібно знайти, будуть обчислюватися для кожного моменту часу на плані положень за формулами

$$N_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad T_1 = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad \delta T = \frac{\Delta_3}{\Delta}, \quad (8)$$

де $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ – визначники матриць, в яких згідно з індексом стовпчика (1, 2, 3) матриці (6) системи замінено стовпчиком із матриці (7).

Користуючись програмним забезпеченням MathCad, визначено зусилля, які діють у складових елементах ГВП трьохелементних візків вантажних вагонів (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняння зусиль, які діють в елементах ГВП

Схема, для якої виконується розрахунок	T_1 , кН	T_2 , кН	N_1 , кН	N_2 , кН
Типова	46,0	46,0	-	-
Безінерційна «ідеальна»	45,53	45,53	8,03	8,03
Інерційна «ідеальна»	40,97	40,97	7,13	7,13
Інерційна зі зміщенням центру ваги триангеля	47,4	47,4	9,38	9,38

За результатами розрахунку встановлено, що з конструктивних міркувань раціонально перенести технологічний отвір розпірки триангеля, що здійснюється технічно доступним й економічно доцільним способом в умовах вагоноремонтного підприємства й не потребує значних капітальних вкладень.

Завдяки отриманим результатам запропоновано виконати експериментальну серію модернізованих розпірок триангелів гальмових важільних передач в умовах вагоноремонтного підприємства. Для проведення розширених дослідних випробовувань на мережі АТ «Укрзалізниця» запропоновано модернізовані триангелі встановити на трьохелементні візки вантажних вагонів.

Висновки. Визначено, що робота одного триангеля гальмової важільної передачі відрізняється від іншого з силової точки зору, тому що вони мають різне конструктивне підвішування до деталей трьохелементного візка вантажного вагона.

Розроблено квазідинамічні моделі сучасних гальмових важільних передач візків вантажних вагонів, які допускають інтерпретації їх роботи у вигляді плоских безінерційних й інерційних кінематичних схем.

Виконано розрахунки силових факторів, що діють на елементи важільних передач при гальмуванні візка для різних схем їх роботи. Ці результати вказують на існуючі недоліки при розрахунках навантаження елементів гальмових важільних передач і дозволяють уточнити їх дійсні значення. Після порівняння їх розрахункових результатів доведено, що найбільш практичним рішенням щодо зменшення шкідливого крутного моменту з урахованими експлуатаційними умовами роботи вантажного вагона, а також при наїзді візків на нерівності рейкової колії типу «стик рейок» є зміна в конструкції розпірки триангеля.

Запропоновано заходи, які дозволять знешкодити дію шкідливого крутного моменту, що порушує врівноваженість триангеля гальмової важільної передачі у механічній гальмовій системі візків вантажних вагонів шляхом збалансування триангеля в осях підвішування з встановленням його положення під час попущених гальм так, що колодки рівномірно відведені на встановлену відстань й не спираються своїми окрайками в поверхні кочення коліс.

Список використаних джерел

1. Нечволода С. І., Романюха М. О., Нечволода К. С. Проблеми нерівномірного зносу гальмівних колодок у вантажних вагонах. *Зб. наук. праць*. Харків: УкрДАЗТ, 2007. Вип. 86. С. 50–56.
2. Пути совершенствования конструкции тележки грузового вагона / А. А. Босов, С. В. Мямлин, В. Я. Панасенко, И. В. Клименко. *Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна*. Днепропетровск, 2009. С. 27–32.
3. Устройство по равномерному износу тормозных колодок 1180.000. Технические условия. ТУ 32 ЦВ 1351-80. Москва, 1974. 6 с.
4. Радзиховский А. А., Омеляненко И. А., Тимошина Л. А. Устройство отвода тормозных колодок. *Вагонный парк*. 2009. № 11/12. С. 18–21.
5. Тележки ЗК1 полувагонов, построенных в КНР / Е. П. Блохин, К. Т. Алпысбаев, В. Я. Панасенко [и др.]. *Вагонный парк*. 2012. № 9 (66). С. 12–14.
6. Ловська А. О. Дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи з контейнерами при перевезенні на залізничному поромі. *Залізничний транспорт України*. 2017. № 2. С. 16–20.

7. Підсилюючий пристрій до паралельного відведення колодок від коліс у гальмівній системі візків вантажних вагонів: пат. 121889 Україна, МПК51 В60Т 1/02 (2006.01), В61Н 15/00, В61Н 13/00. № 121889 / Равлюк В. Г., Нечволода С. І.; заявник та патентовласник Укр. держ. акад. залізн. трансп.; заявл. 24.04.17 ; опубл. 26.12.17, Бюл. № 24. 12 с.
8. Равлюк В. Г. Дефініція особливостей дуального зносу гальмових колодок вантажних вагонів. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2019. Вип. 183. С. 46–59. doi.: 10.18664/1994-7852.183.2019.169643
9. Спосіб і пристрій для підвищення довговічності та надійності механічної частини гальмівної системи вантажних вагонів: пат. 118624 Україна, МПК В61Н 15/00, В61Н 13/36 (2006.01), В61Н 13/22 (2006.01); № 118624 / Равлюк В. Г., Нечволода С. І.; заявник та патентовласник Равлюк В. Г., Нечволода С. І. заявл. 19.07.17; опубл. 11.02.19, Бюл. № 3. 15 с.
10. Равлюк В. Г. Спрощений кінетостатичний аналіз гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. *Зб. наук. пр. Держ. ун-ту інфраструктури та технологій. Серія: Транспортні системи і технології.* Київ: 2018. Вип. 32 (1). С. 55–70.
11. Равлюк В. Г. Дослідження особливостей дуального зносу колодок у гальмовій системі вантажних вагонів. *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.* Дніпро, 2019. Вип. 2 (80). С. 111–126. doi: 10.15802 / stp2019 / 166114.
12. Bureika G. & Mikaliunas S. Research on the compatibility of the calculation methods of rolling-stock brakes. *Transport.* Vol. 23. Issue 4. 2008. P. 351–355.
13. Liudvinavicius L. & Lingaitis L. P. Electrodinamic braking in high-speed rail transport. *Transport.* Vol. 22. Issue 3. 2007. P. 178–186.
14. Vernersson T. Temperatures at railway tread braking. Part 1: Modeling, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F. *Journal of Rail and Rapid Transit.* Vol. 221. Issue 2. 2007. P. 167–182.
15. Vernersson T. Temperatures at railway tread braking. Part 2: Calibration and numerical examples. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F. *Journal of Rail and Rapid Transit.* Vol. 221. Issue 4. 2007. P. 429–441.
16. Teimourimanesh S., Vernersson T., Lunden R., Blennow F., Meinel M. Tread braking of railway wheels – temperatures generated by a metro train. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F. *Journal of Rail and Rapid Transit.* Vol. 228. Issue 2. 2014. P. 210–221.
17. Teimourimanesh S., Vernersson T., Lunden R. Modelling of temperatures during railway tread braking: Influence of contact conditions and rail cooling effect. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F. *Journal of Rail and Rapid Transit.* Vol. 228. Issue 1. 2014. P. 93–109.
18. Sharma R. C. Recent advances in railway vehicle dynamics. *Int. J. Vehicle Structures & Systems.* Vol. 4. Issue 2. 2012. P. 52–63.
19. Sharma R. C. Ride analysis of an Indian railway coach using Lagrangian dynamics. *Int. J. Vehicle Structures & Systems.* Vol. 3. Issue 4. 2011. P. 219–224.
20. Sharma R.C. Modeling and simulations of railway vehicle system. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research.* Vol. 1. Issue 1. 2014. P. 55–66.
21. Sharma R. C. Sensitivity Analysis of ride behaviour of Indian railway Rajdhani coach using Lagrangian Dynamics. *Int. J. Vehicle tructures & Systems.* Vol. 5. Issue 3-4. 2013. P. 84–89.
22. Sharma R. C. Parametric analysis of rail vehicle parameters influencing ride behavior. *International Journal of Engineering Science and Technology.* Vol. 3. No. 8. 2011. P. 54–65.
23. Sharma R. C. Stability and eigenvalue analysis of an Indian railway general sleeper coach using Lagrangian dynamics. *Int. J. Vehicle Structures & Systems.* Vol. 5. Issue 1. 2013. P. 9–14.

24. Sharma R. C., Dhingra M., Pathak R. K., Kumar M. Magnetically Levitated Vehicles Suspension, propulsion and guidance. *International Journal of Engineering Research & Technology*. Vol. 3. Issue 11. 2014. P. 5–8.

25. Sharma R. C., Dhingra M., Pathak R. K., Kumar M. Air cushion vehicles: Configuration, resistance and control. *Journal of Science*. Vol. 4. Issue 11. 2014. P. 667–673.

26. Vakkalagadda M. R. K., Srivastava D. K., Mishra A., Racherla V. Performance analyses of brake blocks used by Indian Railways. *Original Research Article*. 2015. Vol. 328-329. P. 64–76.

Равлюк Василь Григорович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: ravvg@ukr.net.

Равлюк Микола Григорович, старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: ravmg@ukr.net.

Гребенюк Віталій Анатолійович, старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-35. E-mail: grebenyk_ukrdazt@ukr.net.

Ткачук Марія Русланівна, магістр кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: mariiatkachuk2@gmail.com.

Ravlyuk Vasyl G., PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Wagons, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: ravvg@ukr.net.

Ravliuk Mykola Senior lecturer, Department of Wagons, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: ravmg@ukr.net.

Hrebeniuk Vitalii Senior lecturer, Department of Wagons, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35. E-mail: grebenyk_ukrdazt@ukr.net.

Tkachuk Mariia, master, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: mariiatkachuk2@gmail.com.

Статтю прийнято 22.10.2019 р.

МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ (131, 132, 133)

УДК 621.867.3

УДОСКОНАЛЕНІ КОНСТРУКЦІЇ ПОХИЛИХ КІВШОВИХ ЕЛЕВАТОРІВ ДЛЯ СІПКИХ МАТЕРІАЛІВ З ВІДРІЗКОМ ГНУЧКОЇ СТРИЧКИ

Кандидати техн. наук С. В. Удовікова, В. О. Акмен, канд. екон. наук С. М. Гайдар, Ю. І. Зайцев

IMPROVED INCLINED BUCKET ELEVATOR DESIGNS FOR BULK MATERIALS WITH A FLEXIBLE TAPE

PhD (Tech.) S. Udovikova, PhD (Tech.) V. Akmen, PhD (Econ.) S. Gaidar, Y. Zaitsev

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.187.2019.196352>

Для вирішення проблеми зменшення втрат сипких товарів при проведенні вантажно-розвантажувальних робіт на залізничному транспорті та у різних галузях промисловості розроблено нові конструкції елеваторів, що оснащені ковшами та мають відрізок гнучкої стрічки. Такі форми ковшів характеризуються відсутністю зворотного висипання матеріалу під час руху ковшів як висхідними, так і нисхідними гілками елеватора, підвищеним коефіцієнтом їх наповнення, що значно впливає на продуктивність елеваторів та сприяє підвищенню економічної ефективності їх роботи.

Ключові слова: елеватор, ківш, рухоме днище, гнучка стрічка, сипкі матеріали.

The article deals with the issue of solving the problem of transport material storage by improving the discharge process, which occurs with the use of special equipment – bucket elevators.

Bucket elevators are indispensable in the transport of bulk materials and are used in the process of loading and unloading at industrial enterprises, in particular at rail transport and its infrastructures. Besides, bucket elevators are used at many industries of the food industry and agriculture, so a number of scientists are working to solve the problem of improving their design. The existing developments of domestic and foreign scientists on the improvement of structural features of ladle with moving elements are considered and a number of new changes in the design are proposed: introduction of elastic plate, change of shape and moving bottom with a flexible tape connection, which preventing cargo spillage, injury to its parts and repeated scraping the material.

It is found that in case of changing the shape of the front wall it is possible to increase the coefficient of filling of the bucket, which, in turn, will increase the productivity of the elevator and at the same time will not interfere with the process of filling the bucket with cargo during scooping when the bucket bends the lower tension sprockets.

On the basis of the introduced changes, a working body was proposed - a bucket elevator with a conveyor method of transporting material that can be used in various sectors of the food industry. The parameters of increasing the ladle filling coefficient, which will increase the productivity, reliability of the system, decrease of noise and dust during work, and also prevent overrun of electric energy during operation, are established. The algorithm for calculating a ladle with a moving bottom is developed and presented. Structures and operating procedures of the tilted double-chain elevator bucket with buckets and semicircular movable bottoms mounted on it and

with a flexible tape are schematically presented; the absence of pouring material from the bucket onto the chain and an additional elevator device, as well as the absence of trauma and re-scooping of material particles is proved. The calculation of the main parameters in accordance with the design and conditions for unloading the material from the ladle showed improvement of the entire elevator work and the economic effect of the introduction of new equipment. Further work will be aimed at researching and improving the unloading area of elevators.

Keywords: *elevator, ladle, movable bottom, flexible tape, friable materials.*

Вступ. На сучасному етапі економічного розвитку суспільства світова промисловість перебуває в стані переходу на новий, високотехнологічний, щабель розвитку. Проведені дослідження стосуються промислового транспорту і спрямовані на розробку методів удосконалення процесу вантажно-розвантажувальних робіт на підприємствах різних галузей промисловості, при внутрішніх та міжнародних перевезеннях, зокрема на залізничному транспорті та його структурних підрозділах, де відбувається активна співпраця з ученими щодо впровадження наукових розробок у всіх напрямках.

Залізничним перевезенням відведено основну роль як у внутрішньодержавних транспортуваннях вантажів, так і при здійсненні поставок товару за експортно-імпортними контрактами між контрагентами з України та з країн Європи й Азії. Залізничний транспорт задіяно для транспортування майже 70 % промислової продукції країни, де значну частку має вантажопотік зерна (зерно є єдиним видом масових вантажів, що перевозиться переважно вагонами). Залізничні перевезення тісно пов'язані із різними галузями будівельної промисловості, із сільським господарством, гірничодобувними підприємствами тощо і є основною ланкою операцій з постачання. Організація роботи на залізничному транспорті значною мірою визначається особливостями спеціалізації підприємств України, ступенем їх розвитку та рівнем продуктивності задіяного в них обладнання [1, 2]. Так, на підприємствах машинобудівної, харчової, переробної, легкої промисловості та багатьох інших для

сушіння, завантаження, розвантаження й переміщення різних матеріалів широко застосовуються стаціонарні та нестаціонарні вантажопідіймальні та транспортувальні машини, роторні механізми [3, 4]. У вантажно-розвантажувальних роботах на залізниці працює велика кількість машин, у яких одним із робочих органів є елеватор [5].

Ківшові елеватори з вертикальним або крутопохилим напрямом дії призначені для транспортування сипких та інших вантажів. Вони застосовуються як на транспортних підприємствах так і в багатьох галузях промисловості в усьому світі [6]. У системі підприємств з виробництва будівельних і оздоблювальних матеріалів та гірничого комплексу ківшові елеватори використовуються при завантаженні та розвантаженні залізничних вагонів, автотранспорту, що транспортують сипкі сировинні матеріали, при подачі матеріалу до цехів, внутрішньоскладському переміщенні тощо.

На переробних і харчових виробництвах, а також у системі підприємств агропромислового комплексу ківшові елеватори використовуються на зерноочисних комплексах, у зерносховищах, борошномельному та круп'яному виробництвах, на комбікормових підприємствах та ін. [7, 8].

Слід сказати, що раціональне оновлення конструкції елеваторів в Україні здійснювалось ще за радянських часів, а низка нових елеваторів також будується відповідно до застарілих вимог. На сьогодні такі конструктивні рішення впливають на економічний розвиток підприємств, які потребують застосування продуктивної сучасної техніки. Оскільки

для всіх підприємств, поряд із надійністю конструкції і швидким переміщенням, важливе значення має також і збереження кількості та якості транспортованого матеріалу, тому вдосконалення розвантажувального вузла елеватора впливає на підвищення продуктивності та є одним із пріоритетних напрямів удосконалення конструкцій елеваторних устаткування і надійності їх роботи [9].

Таким чином, робота в напрямі дослідження шляхів модернізації конструкцій елеваторів, які мають підвищену продуктивність за рахунок зміни конструктивних складових, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд і аналіз вітчизняної та іноземної науково-технічної літератури, авторських свідоцтв і патентів щодо конструкцій елеваторів і їх ковшів показав, що для того, щоб усунути той чи інший недолік у роботі елеваторів, необхідно внести конструктивні зміни або в конструкцію ковша, або в конструкцію елеватора, заздалегідь теоретично підібравши конструктивні зміни й напрямі підвищення його продуктивності.

Запропоновано робочий орган ківшового елеватора для розвантажувачів, пристроїв для вантажно-розвантажувальних робіт, який є більш досконалим, за рахунок закладеного найпродуктивнішого способу транспортування матеріалу – конвеєрного, який дає змогу поєднати зачерпування, транспортування та розвантаження матеріалу [9].

У ківшовому похилому ланцюговому елеваторі зі встановленими на ньому ковшами серійного виробництва є такі недоліки: зворотне висипання матеріалу з його ковшів та їх низький коефіцієнт наповнення. Ці недоліки призводять до зниження продуктивності ківшового елеватора.

Низький коефіцієнт наповнення серійних ковшів зумовлює пошук іншої форми ковшів. Наприклад, можна застосовувати ковші з рухомими днищами різної форми та різними додатковими

пристосуваннями до них. У цьому напрямі науковці Німеччини запропонували виготовляти ковші елеватора із гнучкої гумової стрічки, що утворює днище ковша та з'єднується з його жорсткими вертикальними стінками. Під час завантаження центри мас ковшів лежать у одній вертикальній площині з осями траверс, що запобігає появі коливань і просипанню сипких продуктів та інших вантажів [10].

Багато вчених приділяли увагу конструкціям, що давали змогу усунути проблему прилипання продуктів, які транспортуються, до внутрішньої стінки ковша з використанням еластичних сегментів і вкладок [11, 12].

Як відомо, на підвищення продуктивності елеваторів також істотно впливають такі чинники: геометричні розміри ковша та його об'єм; властивості транспортованих матеріалів; швидкість руху ланцюгів елеватора; крок розставляння ковшів; максимальний коефіцієнт наповнення ковша; процеси розвантаження матеріалу з ковшів елеватора, а також такі співвідношення між параметрами елеватора, як радіус привідного «барабана» елеватора та полюсна відстань.

Багато вчених продовжують працювати над удосконаленням конструкцій ковшів із рухомими днищами, які вже мають пріоритет на винахід і можуть бути впроваджені на підприємствах України [13, 17].

Ці конструкції елеваторів мають підвищену продуктивність за рахунок усунення основних недоліків роботи цього елеватора.

Розрахунок їх основних параметрів відповідно до конструкції та умов розвантаження матеріалу з ковшів показав наявність економічного ефекту від впровадження нового обладнання [9, 16–19].

Цей напрям залишається актуальним і перспективним для розробок, оскільки елеватори різних видів можуть бути задіяні в різних галузях промисловості, сприятимуть збереженню сировини та є екологічно чистим обладнанням.

Визначення мети та завдання досліджень. Розробити нові конструкції ковшів похилого дволанцюгового елеватора, що сприяють підвищенню його продуктивності за рахунок зміни форми ковшів та усунення існуючого недоліку – зворотного висипання матеріалу з ковшів. Для досягнення мети необхідно було розробити алгоритм до розрахунку параметрів ковша з рухомим днищем, визначити максимальний коефіцієнт наповнення ковша і далі запропонувати нові конструктивні елементи для похилих ківшових елеваторів із відрізком гнучкої стрічки, які використовуються під час вантажно-розвантажувальних робіт у залізничному транспорті та у різних галузях промисловості.

Основна частина дослідження. У роботі застосовано аналітичний метод дослідження з використанням математичного моделювання динамічних процесів у ковшах із рухомими днищами різних форм для підтвердження рухомості як маси матеріалу в ковші, так і окремих частинок матеріалу, які містяться на рухомому днищі ковша. Для складання та вирішення математичної моделі руху маси матеріалу та окремих частинок матеріалу в ковшах із рухомими днищами різних форм, а також для побудови залежностей відстані частинок від часу руху ковша застосовувався числовий метод диференціальних рівнянь.

Під час проведення експериментів використовувалися візуальний метод і методи фото- та відео-фіксації (для можливості фізичного моделювання проведено кінозйомку руху та розвантаження матеріалу в ковші). Для оцінювання адекватності результатів теоретичних розрахунків виконано кінозйомку руху та розвантаження як окремих частинок, так і маси матеріалу в ковші з рухомими днищами різних форм. Для обробки результатів експериментів та оцінювання їх адекватності результатам

теоретичних розрахунків застосовано метод математичної статистики.

За основу розробки взято ківшовий елеватор, що містить привідні зірочки, рами, ланцюги із закріпленими на них ковшами, гнучкі стрічки. Недоліком цього елеватора є те, що в запропонованій конструкції відрізок гнучкої стрічки зберігає вантаж від розсипання лише під час завантаження ковшів, коли ковші, переміщаючись ланцюгами, завантажуються.

Окрім цього, відрізки гнучких стрічок закріплені з двох боків: з одного – жорстко до ковша, а з другого – шарнірно за допомогою шпильки, що ускладнює конструкцію та створює додаткові деформації в гнучких стрічках.

Для зменшення розсипання вантажу під час роботи елеватора, а також зниження шуму та пилоутворення запропоновано вдосконалення конструкції елеватора, що забезпечуватиметься перекриттям проміжку між ковшами, за рахунок цього підвищуватиметься надійність роботи запропонованої конструкції. Такого ефекту можна досягти закріпленням відрізків гнучких стрічок болтами зі сферичною або потайною голівкою на ковшах, під час руху по прямолінійній ділянці зменшується розсипання вантажу, а під час огинання нижніх зірочок, коли відстань між ковшами збільшується, відрізки гнучких стрічок розпрямляються, і, з одного боку, запобігають розсипанню вантажу в збільшений простір між ковшами, а з другого – поверхня відрізка гнучкої стрічки виконує роль напрямної, по якій вантаж висипається з ковша. Таким чином досягається підвищення надійності конструкції та зниження шуму й пилоутворення під час роботи. Також пом'якшуються бічні коливання й удари ковшів об кожух торцями відрізків гнучких стрічок. Так, у похилого ківшового ланцюгового елеватора під час роботи частина вантажу, що висипається з ковша, ударялася в задню стінку ковша, розташованого попереду, створюючи

пилоутворення, а частина зсипалася між ковшами та потрапляла в кожух елеватора, обминаючи розвантажувальний лотік.

З урахуванням описаних недоліків розроблено ківш, схему якого наведено на рис. 1.

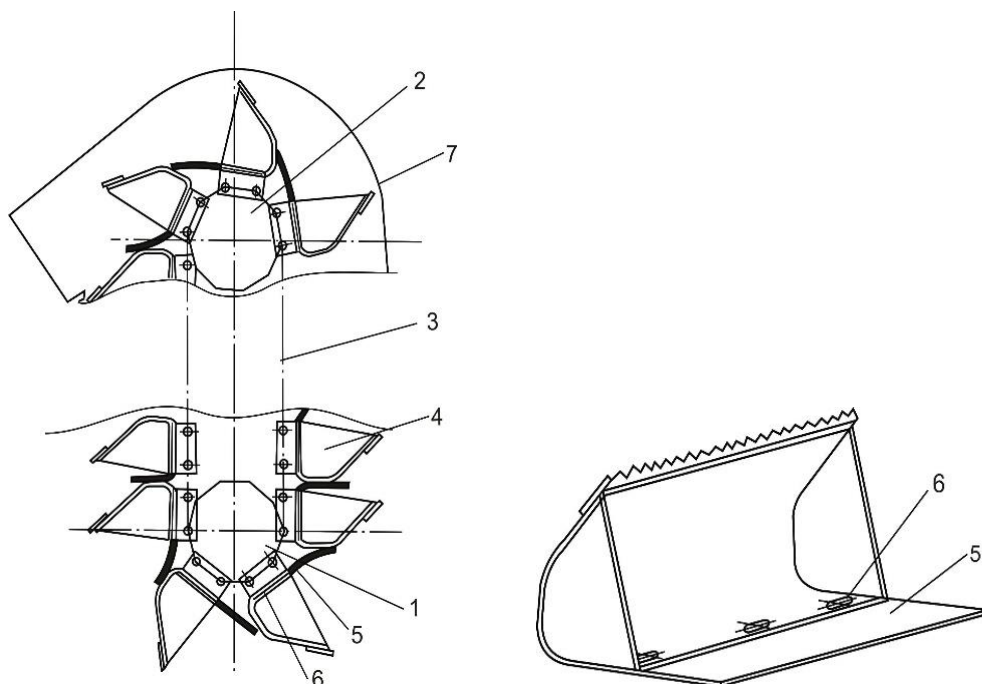


Рис. 1. Елеватор із ковшами з еластичною пластиною:

1 – привідна зірочка; 2 – натяжна зірочка; 3 – тягові ланцюги; 4 – ківш; 5 – відрізки гнучких стрічок – еластичні пластини; 6 – днище ковша; 7 – кожух

Особливістю цієї конструкції є еластична пружна пластина, виготовлена з транспортерної стрічки завтовшки від 6 до 8 мм. Із рисунка бачимо, що пластини призначено для перекриття проміжків між ковшами. Пластини, лягаючи на передню стінку ковша, є напрямним лотком для матеріалу, що розвантажуються з ковша.

Із рисунка бачимо, що запропонована пластина не заважає процесу заповнення ковша вантажем під час зачерпування, коли ківш огинає нижні натяжні зірочки. При цьому пластина не допускає розсипання вантажу між ковшами.

У ківшовому похилому дволанцюговому елеваторі наявність вільного простору, обмеженого днищем ковшів, маточинами зірочок і привідним валом було використано для збільшення поперечного перерізу ковшів, що дало

зможу підвищити їх об'єм, жорсткість і міцність.

Основні параметри елеватора, такі як радіус привідного барабана елеватора та полюсна відстань, забезпечуватимуть відцентрове розвантаження матеріалу з ковшів елеватора та усуватимуть зворотне висипання матеріалу через передню стінку кожного з ковшів цього (удосконаленого) елеватора.

Алгоритм розрахунку ковшів із рухомими днищами наведено на рис. 2.

На цій схемі показано: рис. 2,а – діаграма залежності $\varphi_{ак}, \alpha$ та $\frac{L}{h}$ за $\rho_m = 20^\circ \text{C}$; рис. 2,б – діаграма для визначення κ_α та κ'_α ; рис. 2,в – діаграма залежності діаметра барабана елеватора від швидкості ланцюгів елеватора.

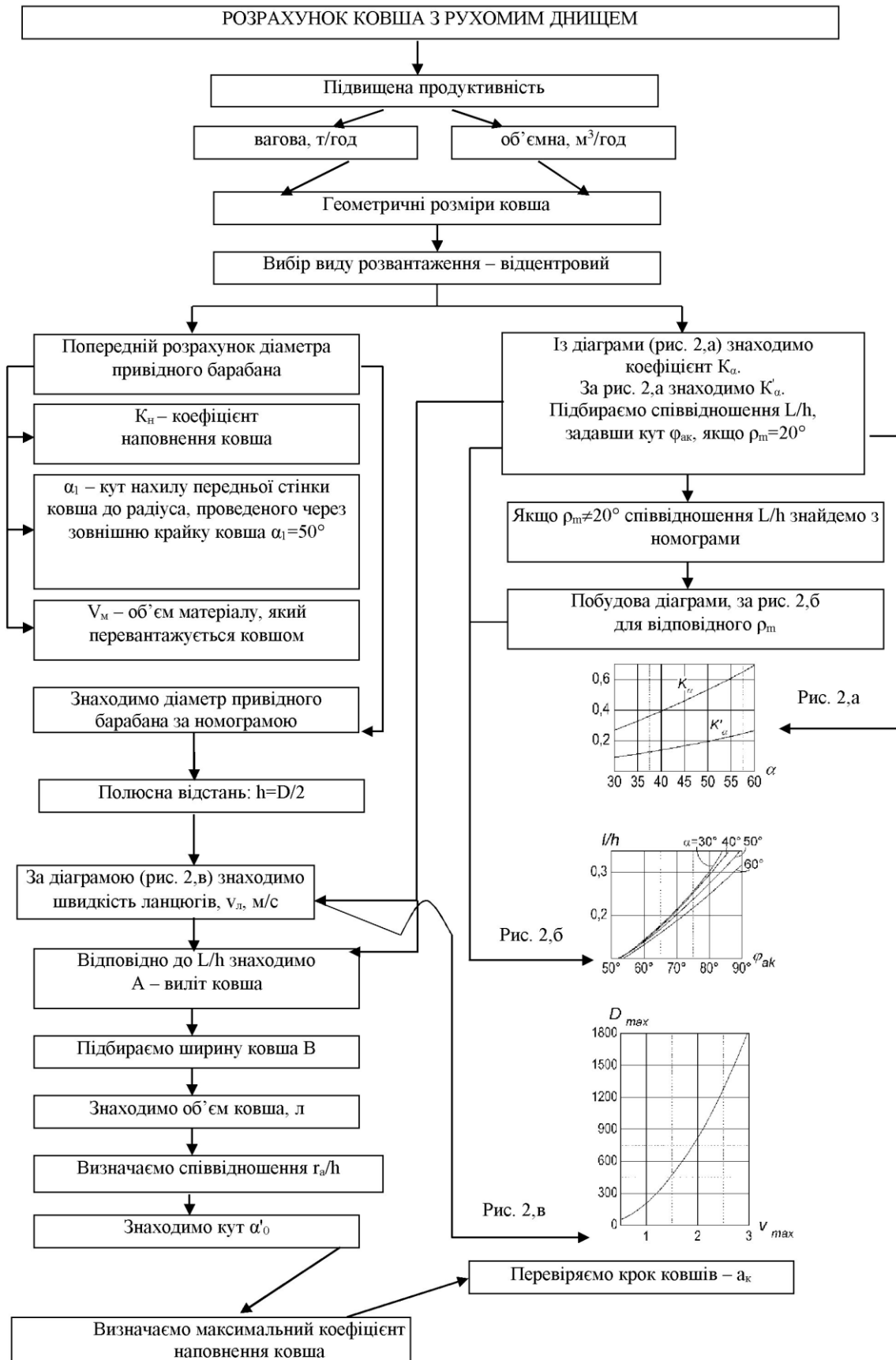


Рис. 2. Алгоритм до розрахунку ковша з рухомим днищем

У разі зміни форми передньої стінки можна підвищити коефіцієнт наповнення ковша, що у свою чергу підвищить продуктивність елеватора. Наприклад, виконавши передню стінку у формі півсфери, яка плавно переходить у дно ковша, та закріпивши всередині ковша (усією криволінійною поверхнею) відрізок гнучкої стрічки, буде забезпечено поліпшене розвантаження матеріалу, оскільки гнучка стрічка виштовхне матеріал, який схильний до злипання, з ковша на розвантажувальній ділянці елеватора.

Недооцінка тих або інших чинників, які впливають на роботу елеватора, нерідко призводить до псування транспортованого матеріалу та зниження продуктивності елеваторів унаслідок недостатнього заповнення ковшів або неправильного їх розвантаження, через що матеріал, піднятий ковшами вгору, не потрапляє у відвідні труби, а зсипається назад у башмак елеватора. Тому розроблено вдосконалений ківшовий похилий дволанцюговий елеватор зі встановленими на ньому ковшами з рухомими днищами півкруглої форми з гнучкою стрічкою, що показано на рис. 3.

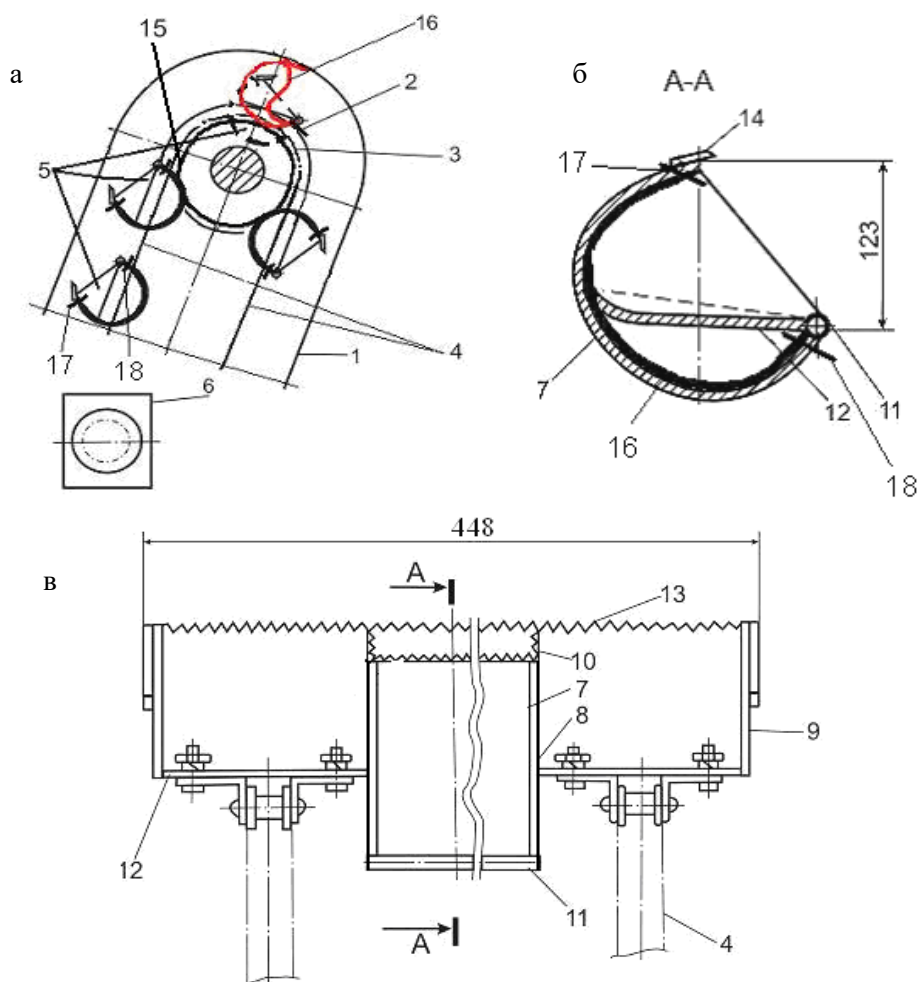


Рис. 3. Ківшовий похилий дволанцюговий елеватор зі встановленими на ньому ковшами з рухомими днищами півкруглої форми з гнучкою стрічкою:

- 1 – кожух; 2 – привідний вал; 3 – привідні зірочки; 4 – тягові ланцюги; 5 – ковші; 6 – привод; 7 – рухоме днище; 8 – вертикальні ребра; 9 – частини передньої стінки; 10 – пружні елементи; 11 – вісь; 12 – нижня стінка; 13 – гребінка із зубами; 14 – гребінка із зубами рухомого днища ковша; 15 – відтискне пристосування (шків); 16 – гнучка стрічка; 17, 18 – болтове з'єднання

Такий ківшовий елеватор містить кожух 1, раму, на якій розташовано привідний вал 2 із привідними зірочками 3, що захоплюються тяговими ланцюгами 4 із ковшами 5, жорстко закріпленими до ланцюгів. Елеватор приводиться в рух приводом 6 і закритий кожухом 1.

На рис. 3,а,б показано загальний вигляд ковша з гнучкою стрічкою та розріз А–А. Кожен ківш 5 із гнучкою стрічкою має боковини й заглиблену частину. Нижньою стінкою 12 ківш прикріплюється до ланцюгів 4 за допомогою болтового з'єднання. Дно кожного ковша 5 виконано із заглибленням, утвореним із вертикальних ребер 8 і рухомого днища 7, яке має в перерізі форму півкола, переходячи в передню стінку, встановлену з можливістю шарнірного переміщення всередину, ковша 5. Завдяки закріпленню однієї сторони днища за допомогою пружних елементів 10 на передніх частинах стінки 9, а другої сторони днища за допомогою осі 11, що прикріплена до ребер 8, на рухомому днищі кожного з ковшів закріплено гнучку стрічку 16 за допомогою болтового з'єднання 17 та 18. Днище ковша з гнучкою стрічкою контактує з вертикальними ребрами 8. На передніх частинах стінок 9 ковша розташовано гребінку із зубами 13, на рухомому днищі 7 ковша з гнучкою стрічкою також розташовано гребінку із зубами 14, при цьому ширина кожного з ковшів дорівнює 448 мм. Відтискне пристосування, змонтоване між тяговими ланцюгами 4 на привідному валі 2, виконано у вигляді шківів 15, а діаметр шківів менший від розділювального кола зірок.

Робота елеватора відбувається таким чином: у процесі огинання ковшем із гнучкою стрічкою 5 привідного вала елеватора рухоме днище, притиснуте пружними елементами 10 до частин передньої стінки 9, зачерпує матеріал гребінками із зубами 13 і 14, які розташовані на різних частинах ковша; під час торкання рухомого днища 7 об шківів 15

матеріал, що був у поглибленій частині ковша, приходять у рух і підштовхується днищем до розвантаження, розтягуючи пружні елементи 10; ківш, закріплений на ланцюгах, повертається по ланцюгах, а гнучка стрічка допомагає виштовхувати матеріал з ковша до повного розвантаження матеріалу з останніх.

Рухоме днище 7 стає у початкове положення та повертається по шківу до моменту сходження ковшів з гнучкою стрічкою 5 з привідних зірок 3. Розміри поглибленої частини, яка утворена ребрами 8 та днищем 7, такі, що днище з гнучкою стрічкою не торкається привідного вала 2 елеватора, а ребра не торкаються зірок 3 у процесі зачерпування матеріалу ковшем 5 та огинання ними зірок при зачерпуванні та розвантаженні.

Таким чином, не відбувається зсипання матеріалу з ковша на ланцюги та додаткове пристосування елеватора, пошкодження та повторне зачерпування частинок матеріалу, а відповідно відсутні перевитрати електроенергії.

Висновки. Таким чином, внесення додаткових конструктивних змін до елементів елеватора та його ковшів дало змогу усунути їх основний недолік – зворотне висипання матеріалів із ковшів елеваторів, і підвищити продуктивність елеваторних устаткувань, що досягнуто також завдяки усуненню налипання матеріалу в заглибленій частині ковша елеватора, відсутності багатократного перелопачування матеріалу, що призводило до подрібнення його часток; зменшенню додаткового шуму, швидкого зношування вузлів елеватора та перевитрати електроенергії.

Тобто розроблені і запропоновані у роботі конструкції ковшів елеватора сприяють покращенню роботи всього елеватора, але їх розвантажувальна ділянка потребує подальшого дослідження. Одним із подальших напрямів досліджень є виготовлення деталей із сучасних видів матеріалів з подовженим терміном зношування.

Список використаних джерел

1. Юрій С. М. Харчова промисловість в господарському комплексі України. *Advanced technologies of science and education*: мат-ли XIV Міжнар. наук. інтернет-конф. (19–21 квіт. 2018 р.). URL: <http://inkoft.org/yuriy-sm-harchova-promislovist-v-gospodarskomu-kompleksi-ukrayini/> (дата звернення: 20.08.2018).
2. Про соціально-економічне становище України: доповідь Держ. служби статистики України / за ред. І. Є Вернера. Київ. 2018. URL: www.ukrstat.gov.ua (дата звернення: 01.09.2018).
3. Кіптела Л. В. Удосконалення теплообміну роторного плівкового апарата. *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky*. Slovenia, 2017. Vol. 5. P. 43–45.
4. Improvement of a rotor film device for the production of high-quality multicomponent natural pastes / O. Cherevko, V. Mykhaylov, A. Zagorulko, A. Zahorulko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. Vol. 2. Vol. 11 (92). P. 11–17.
5. Зуев Ф. Г., Лотков Н. А. Подъемно-транспортные установки: учебник / по направлению «Пищевая инженерия». Москва: КолосС, 2007. 465 с.
6. Kokeisl Walter. Schüttgüter optimal zuführen – eine anspruchsvolle Aufgabe. *Wägen, Dossier. + Misch.* 2000. Vol. 3. P. 10–14.
7. Машкін О. М. Мобілізація промисловості в Україні на початку 20 ст. *Енцикл. історії України*. Київ: Наук. думка, 2010. Т. 7. С. 9–10.
8. Рідний Р. Ф., Шерстюк В. С., Стефанов Б. М. Удосконалення та дослідження роботи ковша елеватора для транспортування вантажів, схильних до злежування. *Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. Вісник ХНТУСГ*. Харків, 2011. Вип. 119. С. 1–5. URL: <http://old.khntusg.com.ua/node/1060> (дата звернення 02.02.2017).
9. Дерев'яно Д. А., Тарасенко О. П., Оробінський В. І. Вплив травмування на якість насіння зернових культур. Житомир, 2012. 439 с.
10. Huang Y. Verwendung eines Becherwerks für den Umschlag von Schüttgütern. Selbstshopfendes Becherwerk. *F+N : Fordern und Heben*. 1996. 46. Vol. 5. P. 334, 400–401.
11. Becherwerke. Bucket Elevators. *Bulk Solids Handling*. 1988. Vol. 3. P. 324–327.
12. Kalicki M. Ottimizzazione delle curve di scarico degli elevatori a fazzo. *Tech. Molit.* 1991. Vol. 42 (12). P. 1049–1050.
13. Створення новітніх конструкцій похилих ковшових елеваторів шляхом модернізації існуючих / В. М. Михайлов, А. О. Шевченко, С. В. Удовікова, Н. О. Гайдар. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*: зб. наук. праць. Харків, 2017. Вип. 2 (26). С. 221–234.
14. Михайлов В. М. Рух частинок у ковші з рухомим днищем півкруглої форми. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*: зб. наук. праць. Харків, 2018. Вип. 1 (27). С. 205–223.
15. Ковшовий елеватор: пат. 77962 Україна: МПК В65G 17/36(2006.01), В65G 47/08(2006.01), В65G 47/244(2006.01). № у 2012 06367; заявл. 28.05.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5. 7 с.
16. Ківшовий елеватор: пат. 124611 Україна: МПК (2018.01) В65 G 17/36 (2006.01), В65 G 65/00 № у 201712430; заявл. 14.12.2017; опубл. 10.04.2018, Бюл. № 7. 9 с.
17. Ловейкін В. С., Боргун В. А. Аналіз динаміки руху стрічкового ковшового елеватора. *Наук. праці ЗДАТУ*. Запоріжжя, 2010. Т. 2. Вип. 11. С. 74–82. URL: http://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdatu/11-2/11_2/9.pdf.

18. Ковшовый элеватор: а.с. 1221090 СССР: МКИ⁵ В65G 17/36. № 3735260/27–03; заявл. 29.04.84; опубл. 1986, Бюл. № 12. 2 с.

19. Нестеров А. П., Удовикова С. В. Наклонный ковшовый элеватор повышенной производительности. *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.* Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 149. С. 118–124.

Удовікова Світлана Володимирівна, канд. техн. наук, оператор ПЕОМ, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Тел.: 0995671209. E-mail: s0963738165@gmail.com.

Акмен Вікторія Олександрівна, канд. техн. наук, старш. викладач, кафедра товарознавства в митній справі Харківського державного університету харчування та торгівлі. Тел.: +380992107806.

E-mail: viktoriakmen@gmail.com.

Гайдар Сергій Михайлович, канд. екон. наук, доцент кафедри бухгалтерського обліку та аудиту Харківського державного університету харчування та торгівлі. Тел.: (057)349-45-18. E-mail: sergeygydar7@gmail.com.

Зайцев Юрій Іванович, аспірант, виконавчий директор ТОВ «Крановий електропривід». Тел.: +380660866319.

E-mail: zaycevy.krel@ukr.net.

Udovikova Svitlana, Cand of Tech. Sc., operator, Kharkiv State University of Food Technology and Trade.

Tel.: 0995671209. E-mail: s0963738165@gmail.com.

Akmen Viktoria, Candidate of Technics, Senior lecturer, Department of Customs Merchandise Expertise, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Tel.: +380992107806. E-mail: viktoriakmen@gmail.com.

Gaidar Sergey Mikhailovich, Cand. of Econ. Sc., Associate Professor of Accounting and Audit. Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Tel.: (057) 349-45-18. E-mail: sergeygydar7@gmail.com.

Zaitsev Yurii Ivanovich, executive director "Kranoviy elektroprivod" LLC. Tel.: +380660866319.

E-mail: zaycevy.krel@ukr.net.

Статтю прийнято 28.10.2019 р.

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ УКРАЇНСЬКОГО
ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

**COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS OF THE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF RAILWAY
TRANSPORT**

Випуск 187

«Збірник наукових праць УкрДУЗТ» включено до списку друкованих (електронних) періодичних видань, що включаються до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України від 15.10.2019 р. № 1301).

Статті друкуються в авторській редакції мовою оригіналу.
Всі статті пройшли подвійне сліпе наукове рецензування.

Відповідальний за випуск Новікова М. А.

Редактори Еткало О. О., Решетилова В. В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 29.10.2019 р.
Формат паперу А4. Папір писальний.
Умовн. друк. арк. 6,75. Тираж 55. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейсбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018р.