

КЕРУВАННЯ СКИДАЛЬНИМ ВІЗКОМ ПОРТОВОГО ЕЛЕВАТОРА ЯК НЕПОЗИЦІОНОВАНИМ МЕХАНІЗМОМ

У роботі розглядається модель керування розвантажувальним візком елеватора, яка доповнює існуючі загальні моделі керування транспортно-технологічним обладнанням що дозволяє формалізувати процес написання програми керування візком. У процесі досліджень сформульована проблема розробки і впровадження програмного забезпечення для систем керування транспортно-технологічними маршрутами зерна з точки зору побудови математичних моделей керування транспортуючими механізмами та маршрутами у частині керування розвантажувальним візком на портових елеваторах і залізобетонних елеваторах старих конструкцій. Показано причину і перспективу подальшого використання розвантажувального візка у технології переміщення зерна та обґрунтовано, чому раніше опубліковані моделі керування обладнанням не можуть застосовуватись до вирішення задачі як є. Проведено аналіз ймовірної технологічної схеми вивантаження зерна у залізобетонному силосному корпусі на ПрАТ «Херсонський комбінат хлібопродуктів» за фотоматеріалами з відкритих джерел. Обґрунтовано ймовірну кількість, схему розташування у надсилосному поверсі, умови експлуатації візків, кількість їх цільових позицій. Показано особливості використання розвантажувального візка під час керування транспортно-технологічним маршрутом. Розглянуто можливість використання уніфікованого представлення раніше відомої моделі керування непоозиціонованими механізмами для керування скидальним візком у складі транспортно-технологічного маршруту зерна. Показано, як використати раніше відому загальну модель керування непоозиціонованим механізмом для керування візком. Для цього запропоновано інкапсулювати у перехідний стан моделі керування непоозиціонованим механізмом, віртуальний граф керування скидальним візком під час його переміщення. Перехідний стан моделі керування відповідає операції з переміщення візка по конвеєру на стадії підготовки маршруту до транспортування зерна. Граф керування переміщенням візка представлено у вигляді функціональної мережі Петрі та пояснювальної таблиці до нього. Показані переваги запропонованого графу з точки зору підвищення уніфікації підходу, надійності програмного рішення, можливостей тиражування, інтеграції у загальні підходи і моделі керування транспортно-технологічними маршрутами елеватора.

Ключові слова: портовий елеватор, керування розвантажувальним візком, керування транспортно-технологічним обладнанням, непоозиціонований механізм, детерміновані стани маршруту, віртуальний граф, граф станів приводу скидального візка.

S.M. TKACHENKO

National Technical University "Dnipro Polytechnic"

CONTROLLING THE PORT ELEVATOR DISCHARGE TROLLEY AS A NON-POSITIONED MECHANISM

The paper considers the elevator unloading trolley control model, which complements the existing general transport and technological equipment control models, which allows formalizing the process of writing the trolley control program. In the process of research, the problem of developing and implementing software for control systems of grain transport and technological routes is formulated from the point of view of construction mathematical models of transport mechanisms and routes control in the part of control of the unloading trolley on port grain storages and reinforced concrete grain storages of old buildings. The reason and perspective of the further use of the unloading trolley in the technology of grain movement is shown, and it is justified why the previously published equipment control models cannot be applied to the solution of the problem as it is. An analysis of the probable technological scheme of grain unloading in a reinforced concrete silo at PrJSC "Kherson Bread Products Plant" was carried out based on photo materials from open sources. The probable number, location scheme in the under-silo floor, operating conditions of the trolley, and the number of their target positions are justified. Features of the use of the unloading trolley during the management of the transport and technological route are shown. The possibility of using a unified representation of a previously known control model of non-positioned mechanisms for controlling a dump trolley as part of a grain transport-technological route is considered. It is shown how to use the previously known general control model of a non-positioned mechanism to control a cart. For this purpose, it is proposed to encapsulate in the transition state of the control model of the non-positioned mechanism, a virtual graph of the control of the dump trolley during its movement. The transition state of the control model corresponds to the operation of moving the trolley along the conveyor at the stage of route preparation for grain transportation. The trolley movement control graph is presented in the form of a functional Petri net and an explanatory table to it. The advantages of the proposed graph from the point of view of increasing the unification of the approach, the reliability of the software solution, the possibilities of replication, integration into general approaches and the management model of the transport and technological routes of the grain storage are shown.

Key words: port grain storage, unloading trolley control, transport and technological equipment control, non-positioned mechanism, deterministic route states, virtual graph, dump trolley drive state graph.

Постановка проблеми

В умовах діючої військової агресії росії суттєву роль для успішної економічної діяльності аграрних підприємств України та підтримки світової продовольчої безпеки є розвиток та підвищення продуктивності портових елеваторів, розташованих у Херсонській, Миколаївській, а також Одеській областях. З подальшим звільненням територій виникне потреба у відновленні чи будівництві нових елеваторів у портах Бердянська, Маріуполя, Севастополя, Керчі. Спеціалізовані машинобудівні заводи України випускають повний перелік необхідного технологічного обладнання для елеваторів, а крім того, на ринку присутні й зарубіжні виробники, такі як GSI, Araj, Petkus, Neuero, Law і багато інших. Будь-яке обладнання, у тому числі, і для портових елеваторів, вимагає ефективного керування, яке на сьогодні неможливе без використання інформаційних та кіберфізичних систем різного рівня впливу – від окремого обладнання до керування ресурсами і підприємством. Одна з необхідних складових елеватора чи зерносховища будь-якого призначення – транспортно-технологічне обладнання із відповідними системами керування як окремим устаткуванням, так і технологічними маршрутами. Існують проблеми розробки програмного забезпечення до таких систем з точки зору побудови загальних математичних моделей керування маршрутами і транспортним обладнанням. Ці проблеми посилюється порівняно великою кількістю (до сотні й більше) маршрутів на кожному окремому підприємстві, транспортних механізмів (десятки), різноманітністю цих механізмів. Окремо серед них стоїть проблема побудови моделі керування розвантажувальним візком, який використовується переважно на портових елеваторах, а також на залізобетонних елеваторах старих конструкцій. При цьому процес експлуатації розвантажувального візка значною мірою відрізняється від експлуатації іншого транспортно-технологічного обладнання елеватора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогодні існує ряд наукових робіт з практичним впровадженням на елеваторах України, які надають універсальні математичні моделі керування загальним непозиціонованим обладнанням транспортно-технологічних маршрутів саме елеваторів: вентиляторами, норіями, транспортерами [1, 2]. Розроблено і апробовано на діючих елеваторах моделі керування позиціонованими механізмами, як мінімум, на рівні технологічного маршруту: засувками ланцюгових конвеєрів, розподільчих станцій [3]. Але портові елеватори працюють із збіжжям, яке має йти на експорт морським шляхом. Травмування під час переміщення такого збіжжя транспортним обладнанням елеватора призведе до підвищеної вірогідності псування у трюмах корабля й зниження його споживацьких характеристик. З іншого боку, силоси портових елеваторів мають більші обсяги, більшу висоту вертикальних сховищ та більш продуктивне транспортно-технологічне обладнання порівняно, наприклад, із лінійними чи елеваторами переробних підприємств [4]. Відповідно, зерно на таких елеваторах більш схильне до механічних пошкоджень під час переміщення. Тому для портових елеваторів проєктанти сьогодні і у перспективі схильні застосовувати стрічкові, більш ощадні до зерна конвеєри. Підхід до керування ними не відрізняється від загальних підходів до транспортно-технологічного обладнання елеватора [2, 3], але тут на верхніх галереях та на надсилосних поверхах старих конструкцій елеваторів замість розвантажувальних засувок технологія вимагає застосувати скидальний візок. З точки зору побудови моделі керування рухом візку, як складової системи керування транспортно-технологічними маршрутами елеватора, його поведінка виявляється більш складною, ніж поведінка непозиціонованого чи простого позиціонованого механізму. Тому не можна її описати методом приведення задачі керування позиціонованого механізму до графу керування позиціонованим механізмом, показаним у роботі [3] для засувки, через велику варіативність цільових позицій. Таким чином, виникає задача побудови спеціалізованого графу керування скидальним візком.

Мета дослідження

Полягає в розробці методу керування зерновим скидальним візком для елеватора, що дозволяє побудувати на його основі спеціалізовану кіберфізичну систему для подальшого інтегрування її у автоматизовану систему керування транспортно-технологічними маршрутами портового елеватора.

Викладення основного матеріалу дослідження

Розглянемо будову елеваторів, де використовуються зерноскидальні візки на прикладі ПрАТ «Херсонський комбінат хлібопродуктів». Аналіз зображень з Google Maps [5] показує, що це портовий елеватор, який складається із залізобетонного силосного корпусу та металевих ємностей. Корпус має 6 рядів по 11 штук циліндричних зернових силосів, разом $11 \cdot 6 = 66$. Але, зазвичай, у бетонних елеваторах з циліндричними силосами під зберігання використовуються також і міжсилосні простори, так звані «зірки». Зірок на одну менше у ряду, ніж силосів, і рядів зірок на 1 менше (оскільки вони утворені внутрішніми) стінами силосів. Тобто, зірок $10 \cdot 5 = 50$. Разом маємо 116 силосів зберігання різної форми, у яких із надсилосної галереї має вивантажуватись зерно. Оцінка за зовнішнім виглядом фотографій, дозволяє припустити, що елеватор має в надсилосному поверсі 6 стрічкових конвеєрів з шістьма скидальними візками. Може бути й по 5 візків з конвеєрами, але приймаємо максимум. При цьому на 5 візках встановлено по одному перекидному клапану, які забезпечують вивантаження зерна на дві сторони. Шостий візок, нижній на рисунку 1, має одностороннє вивантаження.

Металевих ємностей поряд із залізобетонним корпусом два ряди по 7 штук. З огляду на те, що на фото з Google Maps над ними змонтовано дві закриті надсилосні галереї, ймовірно, що зерно до ємностей доставляється стрічковими конвеєрами. А це ще два візка з одностороннім вивантаженням. Така велика кількість візків (8 штук) притаманна саме портовим елеваторам. Залізобетонні силосні корпуси для тривалого зберігання зазвичай мають 4 або 2 візки в залежності від розташування силосної башти і можуть переміщуватись через кілька корпусів. Візки переміщуються за допомогою реверсивного електроприводу, мають привод перекидного клапану [6, 7, 8], а також (опціонально) систему аспірації.

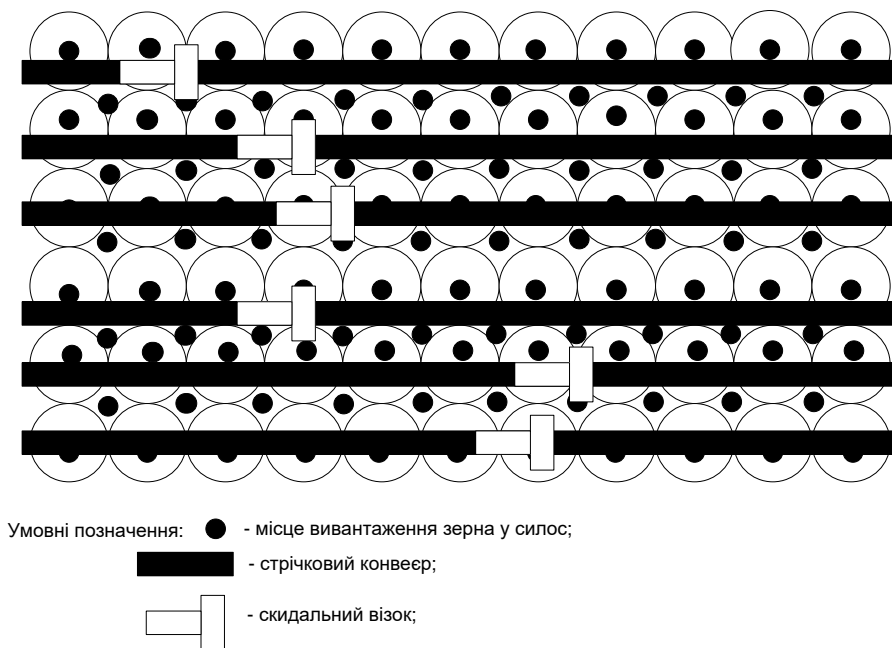


Рис. 1. Імовірна схема розвантаження зерна у силоси залізобетонного силосного корпусу на ПрАТ «Херсонський комбінат хлібопродуктів»

У будь-якому випадку керування силосним розвантажувальним візком відбувається за наступних умов:

- 1) позицій для зупинки візка може бути досить багато, до кількох десятків;
- 2) візок може вивантажувати зерно у двох напрямках, перпендикулярних стрічці конвеєра, для чого застосовується перекидний клапан з реверсивним приводом;
- 3) аспірація зернового пилу на візку є опційною, тому вентилятор аспірації може розглядатись як окремий пристрій на рівні транспортно-технологічного маршруту;
- 4) візків може бути декілька на один елеватор, що вимагає узагальненого підходу до вирішення задачі побудови моделі керування ними.

Розглянемо поведінку скидального візка як елемента транспортно-технологічного маршруту. Маршрут має наступні детерміновані стани [3]:

R0 – початковий невизначений стан, коли інформаційні ознаки від механізмів ще не надійшли;

R1 – стан готовності маршруту, коли всі механізми маршруту зупинені та справні;

R2 – стан запуску маршруту. Частина механізмів вже запущена чи запускається, а частина очікує своєї черги;

R3 – нормальна робота маршруту;

R4 – штатна зупинка маршруту, коли витримується час на зсипку зерна з механізму чи довитяжку пилу елементом аспірації;

R5 – нештатна зупинка маршруту, може настати під час запуску, роботи чи штатної зупинки у разі виникнення нештатної ситуації на одному з механізмів – аварійної або неочікуваної зупинки механізму. Нештатний механізм і всі механізми у напрямку, протилежному руху зерна, зупиняються миттєво і одночасно, а всі інші зупиняються послідовно, як у режимі штатної зупинки;

R6 – стан неготовності маршруту, коли маршрут зупинено і у нього є несправні механізми або такі, що запускаються, запущені чи зупиняються в складі іншого маршруту.

Візок можна віднести до окремої групи транспортно-технологічного обладнання елеватором [2], але на сьогодні більш перспективним шляхом видається привести його до уніфікованого представлення на рівні моделі маршрутів. Це представлення має бути таким, як і для непоозиціонованих механізмів [3]:

M0 – початковий невизначений стан механізму. Існує під час запуску системи, коли інформаційні ознаки сигналів датчиків ще не надійшли;

M1 – початковий стан механізму, механізм справний і зупинений;

M2 – перехідний стан механізму, механізм запускається;

M3 – цільовий стан механізму, механізм працює;

M4 – перехідний стан механізму, механізм зупиняється;

M5 – початковий стан механізму, механізм несправний, видано керуючий вплив на його зупинку.

У наведеному переліку станів немає згадки ні про позицію скидального візка у надсилосній галереї, ні про положення перекидного клапану, ні про роботу електроприводів візка. Тим не менш, можливо привести модель керування візком до моделі керування транспортером, інкапсулювавши ряд специфічних інформаційних і функцій візка у вигляді підграфів станів M1...M5. Загальна умова переходу між станами непоозиціонованого механізму виглядатиме:

$$M_r = \bigwedge_{i=1}^k X_i \& \bigvee_{j=k}^n \bar{X}_j, \quad (1)$$

де M_r – один зі станів M1...M5 непоозиціонованого механізму (M0 не цікавить, бо це просто відсутність інформації); X_i – сукупність k обов'язкових факторів, які мають бути присутніми; \bar{X}_j – сукупність $(n - k)$ ознак факторів нештатних подій, яких не має бути [2].

Розглянемо характеристики візка у стані M1. Тут всі електроприводи мають бути вимкнені і неважливо, де зараз знаходиться візок та яке положення його перекидного клапану. Тобто тут обов'язкові фактори X – це вимкнені електроприводи і відсутність команди на запуск.

Тепер поглянемо на цільовий стан М3. Тут також всі електроприводи мають бути вимкнені, але візок та перекидний клапан мають знаходитись на цільових позиціях. Таким чином, до обов'язкових факторів тут додається знаходження у правильній позиції. Звичайно, має бути присутня і команда запуску візка, хоча його приводи й зупинені, оскільки лише команда запуску у даному випадку є відмінною ознакою між початковим М1 і цільовим станом М3 візка. Якщо процес визначення відповідності поточних позицій цільовим для візка і клапану винести в окремий функціональний блок, то умова входу у стан М3 аналогічна непозиціонованим механізмам.

Розглянемо стан М4. Він тут, як такий, відсутній, оскільки у стані М3 електроприводи візка були зупинені. Просто була знята команда на запуск, а у такому випадку М4 не відрізняється від М1. Тобто, затримка часу на перехід від М4 до М1 нульова. Для непозиціонованих пристроїв, якщо під час зупинки не відбулось нештатних подій, наприклад, сходження стрічки конвеєра або залипання контакту пускача, тривалість М4 не має значення і визначається лише інертністю механізму.

Стан М5 не передбачає активних дій. У цьому стані всі приводи мають бути виключені і лише надаються інформаційні ознаки механізмів для нештатної зупинки маршруту, подальшого аналізу й діагностики. До виконання, власне, діагностики не має значення, що за механізм перейшов у стан М5.

Найбільш складними залишається перехідний стан М2. Розглянемо лінійний рух візка по рейкам транспортера. Тут можливі варіанти:

- 1) візок знаходиться на позиції, меншій за номером від цільової;
- 2) візок знаходиться на позиції, більшій за номером від цільової;
- 3) візок знаходиться на цільовій позиції;
- 4) візок знаходиться на між позиціями, невідомо де.

У даному випадку граф керування приводом візка у стані М2 виглядатиме, як показано на рисунку 2.

Стосовно перекидного клапана візка – граф, представлений на рисунку 2 описує і його поведінку також, з тим лише зауваженням, що у перекидного клапана в основному є лише дві позиції, а також контроль зворотного зв'язку від пускачів приводу необов'язковий через короткочасність керуючого впливу (близько 1–2 секунд).

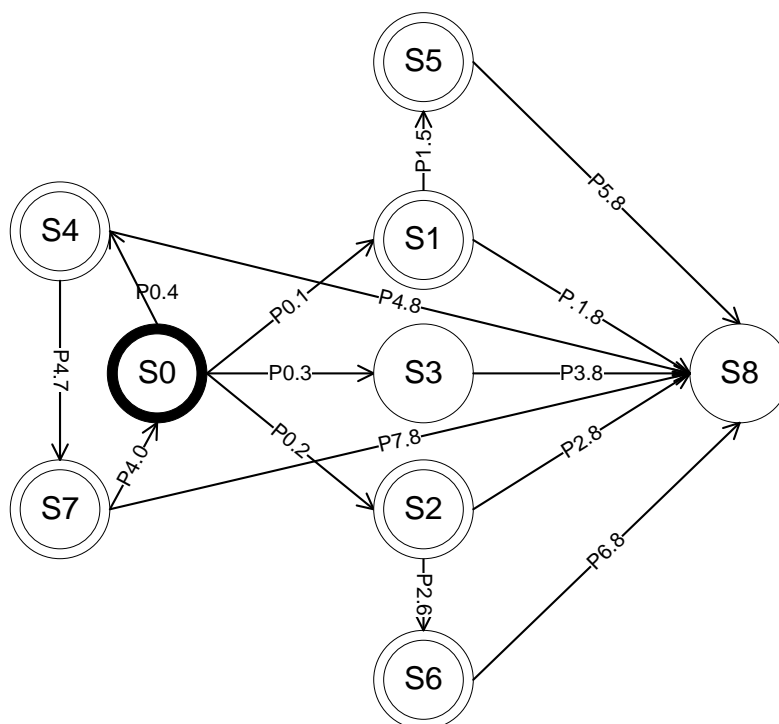


Рис. 2. Граф станів приводу переміщення скидального візка

Таблиця 1

Пояснювальна таблиця до графу станів приводу переміщення скидального візка

Позначення	Опис стану чи умови переходу
S0	Початковий стан. Головний граф керування візком у ввійшов у стан M2. Йде Визначення поточної позиції візка. Двигун зупинено
S1	Запуск двигуна у режимі прямого ходу. Очікування зворотного зв'язку
S2	Запуск двигуна у режимі реверсного ходу. Очікування зворотного зв'язку
S3	Надати головному графу одну з інформаційних ознак X_i для дозволу переходу у стан M3
S4	Запуск двигуна для позиціонування (прямий чи реверсний хід, не має значення). Очікування зворотного зв'язку
S5	Контроль зворотного зв'язку прямого ходу та граничного часу переміщення
S6	Контроль зворотного зв'язку реверсного ходу та граничного часу переміщення
S7	Візок запущено для позиціонування
S8	Нештатна ситуація. Надати головному графу одну з інформаційних ознак X_i для дозволу переходу у стан M5
P0.1	Візок у позиції, номер якої менше цільової
P0.2	Візок у позиції, номер якої більше цільової
P0.3	Візок у цільовій позиції
P0.4	Візок поза позиціями
P1.5	Прийшов зворотній зв'язок про роботу двигуна у режимі прямого ходу
P1.8, P2.8, P4.8	Час очікування зворотного зв'язку про роботу двигуна минув
P2.6	Прийшов зворотній зв'язок про роботу двигуна у режимі реверсного ходу
P3.8	Візок зійшов з цільової позиції
P4.0	З'явилась ознака досягнення деякої позиції
P4.7	Прийшов зворотній зв'язок про роботу двигуна у режимі позиціонування
P5.8, P6.8, P7.8	Втрачено зворотній зв'язок від двигуна або граничний час переміщення минув

Розроблений граф має бути інкапсульований у перехідний стан M2, що відповідає процесу запуску механізму у складі маршруту, що дозволяє інтерпретувати розвантажувальний візок як непозиціонований механізм із загальною моделлю керування [2], і використовувати його у моделі керування транспортно-технологічними маршрутами [3].

Висновки

В результаті дослідження запропоновано віртуальний граф керування скидальним візком для надсилосного стрічкового конвеєра елеватора, який інкапсулюється й виконується в якості підзадачі у перехідному стані запуску загального графу керування візком як непозиціонованим механізмом. Це дозволяє формалізувати створення програмного забезпечення кіберфізичної системи керування скидальним візком, що робить його більш надійним і збільшує можливість тиражування. Наново створюване програмне забезпечення для позиціонування візка матиме інтерфейс взаємодії із графом керування транспортно-технологічними маршрутами, аналогічний загальному для непозиціонованих механізмів, таких як вентилятори аспірації, транспортери чи норії. Таким чином, запропонований підхід спрощує інтеграцію кіберфізичної системи візка у розроблювані системи керування маршрутами елеватора, зокрема портів й лінійні, де такі візки застосовуються. Це забезпечує перевагу у застосуванні запропонованої моделі керування візком зокрема, а також перспективу подальшого розвитку і більш широкого застосування загальних моделей керування транспортно-технологічними механізмами й маршрутами зерна для створення й тиражування спеціалізованого програмного забезпечення під час відновлення і створення нових підприємств зберігання й переробки зерна.

Список використаної літератури

1. Тимчук О., Кунденко М., Мардзявко В. Аналіз автоматизованих систем управління обладнанням для транспортування зернової продукції на елеваторах. *Енергетика і автоматика*. 2021. т. 58, № 6. С. 18–32.

2. Тимчук С. О., Сиротенко М. О., Мардзявко В. А. Підвищення ефективності технологічного процесу елеваторного комплексу за рахунок оптимальної маршрутизації. *Інженерія природокористування*, 2021. № 4(22). С. 82–88.
3. Serhii Tkachenko, Liliia Beshta. General model of a transport-technological grain store route node for control systems programs. *International scientific journal «Computer systems and information technologies»*. 2021, 1. P. 25–31.
4. Топ зернових елеваторів: які типи бувають /Матеріали компанії “Sojam”: офіц. сайт. URL: <https://sojam.ua/top-zernovih-elevatoriv/>. (дата звернення 16.11.2023).
5. ПрАТ «Херсонський комбінат хлібопродуктів» /Google Maps: офіц. сайт. URL: https://www.google.com/maps/place/ПрАТ+«Херсонський+комбінат+хлібопродуктів»/@46.6335988,32.6295434,17z/data=!4m14!1m7!3m6!1s0x40c4054bf0229443:0xdabc6daab042e3f1!2z0J_RgNCQ0KIgwqVQpdC10YDRgdC-0L3RgdGM0LrQuNC5INC60L7QvNCx0ZbQvdCw0YIgw0YXQu9GW0LHQvtC_0YDQvtC00YPQutGC0ZbQssK7!8m2!3d46.6333244!4d32.6298659!16s%2Fg%2F11gfndl9kb!3m5!1s0x40c4054bf0229443:0xdabc6daab042e3f1!8m2!3d46.6333244!4d32.6298659!16s%2Fg%2F11gfndl9kb?entry=tту (дата звернення 12.12.2023).
6. Розвантажувальний візок. /Виробнича фірма «Веда-Техно»: офіц. сайт. URL: <https://veda-techno.com.ua/ua/rozpodilniki-potokiv/rozvantajuvalniy-vizok/> (дата звертання 28.03.2023).
7. Візок скидач ТСЗ. /ТОВ «Елеватор-Сервіс»: офіц. сайт. URL: <https://elevator-service.trade/vizok-skidach-tsz/> (дата звернення 12.12.2023).
8. Система автоматичного керування розвантажувальним візком. /Компанія «Зернова Столиця»: офіц. сайт. URL: <https://zeo.ua/article/noviy-poglyad-na-stare-obladnannya-avtomatizaciya> (дата звернення 12.12.2023).

References

1. Tymchuk, O., Kundenko, M., & Mardziavko, V. (2021). Analiz avtomatyzovanykh system upravlinnia obladnanniam dlia transportuvannia zernovoi produktsii na elevatorakh [Analysis of automated equipment management systems for transporting grain products on grain storages]. *Enerhetyka i avtomatyka t. 58*, 6, 18–32. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-4\(112\)-10](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-4(112)-10) [in Ukrainian]
2. Tymchuk, S.O., Syrotenkom, M.O., & Mardziavko, V.A. (2021). Pidvyshchennia efektyvnosti tekhnolohichnoho protsesu elevatornoho kompleksu za rakhunok optymalnoi marshrutyzatsii [Increasing the efficiency of the technological process of the grain storage complex due to optimal routing]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*. 4(22). 82–88. [https://doi.org/10.37700/enm.2021.4\(22\)](https://doi.org/10.37700/enm.2021.4(22)) [in Ukrainian]
3. Tkachenko, S., & Beshta, L. (2021). General model of a transport-technological grain store route node for control systems programs *International scientific journal «Computer systems and information technologies»*. 1. 25–31. <https://doi.org/10.31891/csit-2021-3-4> [in English]
4. Top zernovykh elevatoriv: yaki typu buvaiut (2023). [Top grain elevators: what types are there]. Sojam company. Ofitsiyni sait [Official site]. Retrieved from: <https://sojam.ua/top-zernovih-elevatoriv/> [in Ukrainian]
5. PrAT «Khersonskyi kombinat khliboproduktiv» [PJSC "Khersonsk Bread Products Factory"]. Google Maps (2023). Ofitsiyni sait [Official site]. Retrieved from https://www.google.com/maps/place/ПрАТ+«Херсонський+комбінат+хлібопродуктів»/@46.6335988,32.6295434,17z/data=!4m14!1m7!3m6!1s0x40c4054bf0229443:0xdabc6daab042e3f1!2z0J_RgNCQ0KIgwqVQpdC10YDRgdC-0L3RgdGM0LrQuNC5INC60L7QvNCx0ZbQvdCw0YIgw0YXQu9GW0LHQvtC_0YDQvtC00YPQutGC0ZbQssK7!8m2!3d46.6333244!4d32.6298659!16s%2Fg%2F11gfndl9kb!3m5!1s0x40c4054bf0229443:0xdabc6daab042e3f1!8m2!3d46.6333244!4d32.6298659!16s%2Fg%2F11gfndl9kb?entry=tту [in Ukrainian]

6. Rozvantazhuvalnyi vizok [Unloading trolley]. Production company "Veda-Techno" (2023). Ofitsiinyi sait [Official site]. Retrieved from <https://veda-techno.com.ua/ua/rozpodilniki-potokiv/rozvantajuvalniy-vizok/> [in Ukrainian]
7. Vizok skydach TSZ [Dump trolley TSZ]. "Elevator-Service" LLC (2023). Ofitsiinyi sait [Official site]. Retrieved from <https://elevator-service.trade/vizok-skidach-tsz/> [in Ukrainian]
8. Systema avtomatychnoho keruvannia rozvantazhuvalnym vizkom [The system of automatic control of the unloading trolley]. "Zernova Stolytsia" company (2023). Ofitsiinyi sait [Official site]. Retrieved from <https://zeo.ua/article/noviy-poglyad-na-stare-obladnannya-avtomatizaciya> [in Ukrainian]

Ткаченко Сергій Миколайович – к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка». E-mail: sergntkach@gmail.com, tkachenko.s.m@nmu.one, ORCID: 0000-0003-1156-3151, Web of Science Researcher ID: AAI-7727-2020.

Tkachenko Serhii Mykolaiovych – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Information Technology and Computer Engineering of Dnipro University of Technology. E-mail: sergntkach@gmail.com, tkachenko.s.m@nmu.one, ORCID: 0000-0003-1156-3151, Web of Science Researcher ID: AAI-7727-2020.