УДК. 62-50

ВИКОРИСТАННЯ КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ МАРШРУТИЗАЦІЇ ЕЛЕВАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ

КУНДЕНКО М.П. док. техн. наук, професор, професор кафедри теплотехніка та енергоефективні технології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: n.p.kundenko@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5841-4367;

МАРДЗЯВКО В.А. аспірант Державного біотехнологічного університету, Харків, Україна, e-mail: vitalijmardzavko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7327-9215;

РУДЕНКО А.Ю. аспірант Державного біотехнологічного університету, Харків, Україна, e-mail: andrey0911r@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5103-6412;

Мета роботи. *Метою даної роботи є описання критеріїв оптимальності для визначення напрямку вирішення задачі оптимізації транспортно-технологічних маршрутів зернової продукції на елеваторному комплексі.*

Методи дослідження. *Був застосований аналітичний метод дослідження, для визначення технологічних характеристик лінії елеваторного комплексу та залежності якості транспортуючої продукції від побудованого маршруту транспортування. Застосовано математичний метод для опису складових елементів критеріїв оптимізації.*

Отримані результати. *Був визначений один із напрямків підвищення й покращення технологічного процесу на елеваторі, шляхом удосконалення алгоритмів керування в напрямку оптимізації технологічних процесів елеватора за багатьма критеріями. За критерії оптимізації, для забезпечення оптимальних умов транспортування повинні використовуватися мінімум втрат, мінімум часу на транспортування, мінімум енергозатрат та мінімальна довжина прокладеного шляху транспортування, тому був виконаний опис основних критеріїв які в першу чергу можуть вплинути на ефективність роботи елеваторного комплексу.*

Наукова новина. *Визначений напрямок вирішення задачі оптимізації транспортно-технологічних маршрутів. Аналітичне виведення критерію мінімум енергозатрат та критерію мінімум бою зерна.*

Практична цінність. *Оптимізація елеваторного комплексу для забезпечення варіативного транспортування зернових мас, що вплине на підвищення продуктивності і якості технологічного процесу елеваторного комплексу.*

Ключові слова: мінімізація бою зернової продукції, мінімум енергозатрат, програмно-логічний контролер, логічні рівняння, елеваторний комплекс, процес маршрутизації.

I. ВСТУП

Сучасний метод прокладання та забезпечення процесу транспортування зернової продукції по елеватору [1]-[2] базується на різних засобах забезпечення технологічного процесу, як результат він характеризується наявністю у своєму складі виконавчих механізмів і обладнання для транспортування та електронного обладнання: датчиків, програмованих контролерів, програмного забезпечення з підтримкою програмування - SCADA систем і т.д. [3], однак розгладаючи [4]-[5] сучасну організацію та функціональну структуру елеваторного комплексу, стає зрозумілим, що автоматизована система залишається без значних змін, а отже і якість управління технологічним процесом транспортування зернової продукції теж не змінюється. Оскільки потреби продовжують збільшуватися, виникає необхідність підвищення ефективності процесів за збереженням тих самих умов, використовуючи можливі невеликі зміни, такі як модернізація, оптимізація та удосконалення, з чого виникає завдання в оптимізації процесу маршрутизації технологічного процесу транспортування.

II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для підвищення надійності та забезпечення ефективного процесу транспортування можуть використовуватися резервні транспортні гілки (додаткові вертикальні або горизонтальні транспортери), а для підвищення виробничих показників – додаткові транспортні гілки та зерно-обробні машини для одночасного прийому або вивантаження продукції на декілька автомобілів або вагонів одночасно [6]-[7]. Таким чином, під час транспортування зернової продукції може бути велика кількість маршрутів слідування зерна з одного технологічного пункту до іншого, один з яких зазвичай обирає вручну оператор, оскільки використовувані програмні комплекси керування технологічним обладнанням не мають можливості автоматичного пошуку маршрутів слідування зерна.

Існуючі алгоритми маршрутизації елеватора по-

© Кунденко М.П., Мардзявко А.В., Руденко А.Ю., 2023
DOI 10.15588/1607-6761-2023-4-5

будовані так, що обирається перший вільний наявний маршрут із заздалегідь запрограмованих, без врахування його ефективності. Маршрути програмуються без урахування критеріїв оптимальності, які б і забезпечували вибір або побудову оптимального маршруту, забезпечуючи якісні умови транспортування. Застосування даного методу призводить до значних збільшень затрат, в фінансовому плані так й в практичному.

З розглянутого раніше аналізу [8]-[9] маршрутизації технологічного процесу елеватора було визначено, що в якості умов побудови оптимального маршруту може служити критерії сумарного часу транспортування, довжина маршруту, енергоощадність та якість зерна.

Застосування автоматизованої системи прокладки маршрутів [10]-[11] в якій можна застосовувати певні критерії для оптимізації процесу транспортування та буде враховувати стан обладнання, дасть можливість будувати оптимальний маршрут для забезпечення та збереження необхідної продуктивності, а в деяких випадках забезпечить більшою ефективністю.

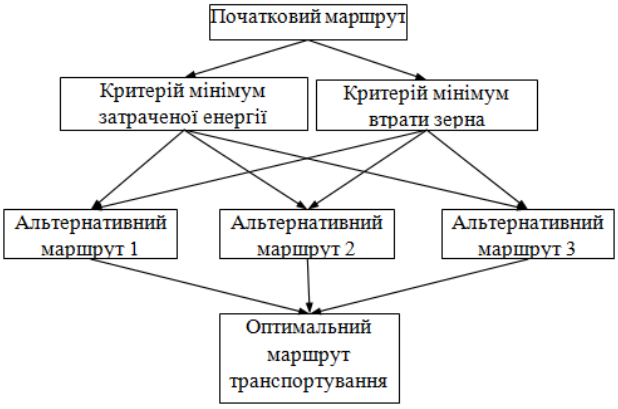

Рисунок 1. Схема зв'язків критеріїв оптимізації та прокладання альтернативних маршрутів транспортування

На рис. 1 ми можемо побачити залежність оптимізаційного маршруту від критеріїв оптимізації, які своєю чергою допомагають прокласти відповідний маршрут транспортування.

Використовуючи критерії оптимізації, система може вибирати більш ефективний маршрут транспортування із заздалегідь запрограмованих. Застосовуючи відповідний критерій ми можемо будувати альтернативні маршрути транспортування які відрізнятимуться від стандартних, дана можливість дасть нам більшу мобільність при тих же затратах. Наприклад, розглянемо ситуацію з прибутковістю елеватора, де необхідно, щоб зерно відповідало встановленим експортним стандартам, тобто підприємство само вирівнює і коригує якість зерна. Для досягнення цієї якості часто доводиться штучно змішувати різні партії зерна, що може бути здійснено за рахунок складання необхідного технічного завдання і внесення змін в керуючу програму формування маршрутів переміщення зерна [12]. За допомогою даного рішення вирівнювати якість зерна на експорт стало можливо до 50 % від усього прийнятого обсягу [13], однак витрачаються багато зусиль.

Розглядаючи зерно, яке призначене для експорту, слід враховувати, що це вимагає вищих стандартів якості. Використання критеріїв мінімізації втрат зерна та оптимальної довжини маршруту дозволить нам побудувати маршрут, який зменшить втрати зерна під час його транспортування (коефіцієнт бою зерна) і покращить його якість, тим самим зменшивши витрати на його формування та підвищити ефективність транспортного маршруту, в сукупності з попереднім рішенням, до 90 %.

Незважаючи на те що дане застосування критеріїв є ефективним, все ж зважаючи на необхідність покращення технологічних показників та зменшення затрачених ресурсів виникає ідея застосовувати зазначені критеріїв в момент прокладання маршруту транспортування [14]. Тобто транспортуючий маршрут буде будуватися в режимі реального часу, відштовхуючись від заданих критерії та отриманої інформації про стан обладнання, що дасть можливість не тільки будувати маршрут, але і змінювати його в залежності від потреб.

Спираючись на технологічне обладнання маршруту (див. рис. 2), поставлена задача оптимізації, буде вирішуватися за допомогою програмованого логічного контролера з урахуванням стану технологічного обладнання та можливості розгалуження визначають усі можливі на цей час маршрути переміщення зерна з вихідного до кінцевого пункту [15].

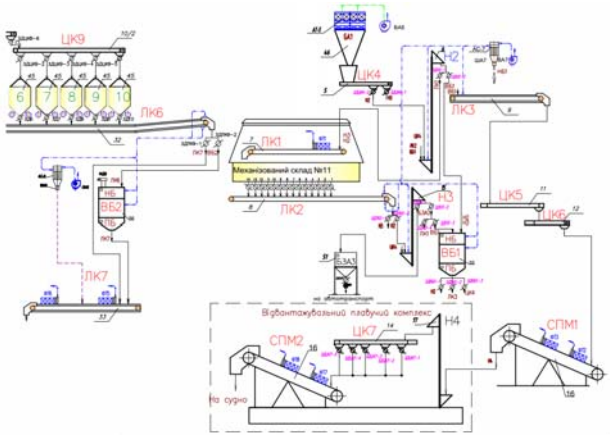

Рисунок 2. Частина технологічного маршруту транспортування зерна

Після чого з виділених маршрутів, з використанням принципу оптимальності та врахуванням потужності приводів транспортного обладнання та його впливу на якість зерна, видаються команди з вихідних

затискачів контролера на підготовку клапанів і засувок, що входять до складу технологічного обладнання оптимального за критерієм мінімізації приросту бою зерна під час транспортування та мінімуму електроспоживання маршруту під час транспортування. Після команди на запуск лінія вмикатиметься автоматично і працюватиме вже враховуючи програмно-логічні технологічні блокування, які спрямовані на забезпечення критеріїв оптимальності. Тобто система працюватиме, споживаючи при цьому мінімально можливу кількість електроенергії та наносячи мінімальні механічні пошкодження зерну в процесі транспортування.

III. ФОРМУЛЮВАННЯ МЕТИ РОБОТИ

Метою даної роботи є описання критеріїв оптимальності для визначення напрямку вирішення задачі оптимізації транспортно-технологічних маршрутів зернової продукції на елеваторному комплексі.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

З розглянутого аналізу маршрутизації технологічного процесу елеватора було визначено один із критерії оптимізації який забезпечував би енергоефективності роботи зернопереробних та зернозберігаючих комплексів, даним критерієм виступає мінімуму затрати електроенергії при процесі транспортування (електроспоживання маршруту). Енергоємність комплексу транспортно-технологічних операцій транспортуючого обладнання визначається сумарною кількістю енергії, що витрачається на виконання взаємно пов'язаних транспортних і технологічних операцій. Таким чином критерій оптимальності: мінімум електроспоживання маршруту можна охарактеризувати як сума потужностей електроприводів технологічних установок та приводів клапанів та засувок, що виконують технологічну операцію, враховуючи їх задіяність в процесі транспортування:

$$C_{e.\min} = P_{e.дв.}k_n + P_{e.кл.}k_n + P_{e.зас.}k_n + ... + P_i k_n, \qquad (1)$$

де $P_{e.дв.}$ - сума потужностей електроприводів технологічних установок; $P_{e.кл.}$ - сума потужностей електроприводів клапанів технологічних установок; $P_{e.зас.}$ - сума потужностей електроприводів засувок технологічних установок; k - коефіцієнт, яких характеризує задіяність елемента в процесі маршрутизації ($k = 0$ - елемент використовується для транспортування, $k = 1$ - елемент не використовується для транспортування).

Описання даного критерію можливо на основі алгоритму прокладання маршруту транспортування за даним критерієм, рис. 3.

Виходячи з даного алгоритму ми бачимо, що прокладання маршруту транспортування відбуватиметься від мінімального значення до максимального в залежності від значення суми потужностей (всіх потужностей електроприводів) технологічних установок. Тобто приймемо, що для транспортування зернової продукції з точки А в точку Б система буде прокладати маршрут провіряючи можливі варіанти та незагруженість цих маршрутів, якщо маршрут буде вільним то за результатами суми потужностей елементів маршрут буде прокладений.

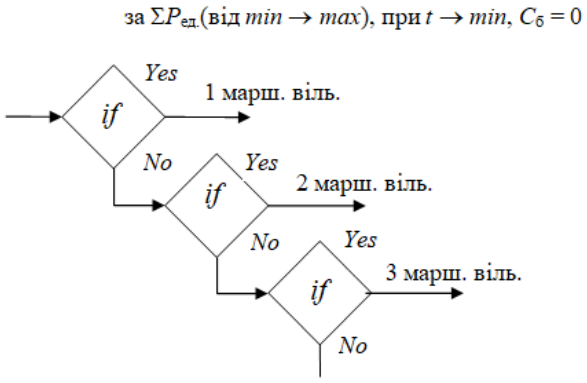

Рисунок 3. Алгоритм вибору прокладання маршруту за критерієм $C_{e.\min}$

На основі зазначеного алгоритму, система може обирати маршрут транспортування не з маршрутів, а відразу прокладати його спираючись на дані електротехнічних установок, які будуть задіяні в процесі транспортування. До таких даних можна віднести призначення транспортних елементів, необхідність їх функціонування в даному процесі переміщення, та їх потужність.

Використання зазначеного критерії забезпечує додаткову умову транспортування, мінімізацію часу на транспортування, тобто при мінімізації затраченої електроенергії ми забезпечуємо кратність протяжності маршруту та задіяних технологічних установок, що в свою чергу позитивно впливає на час транспортування та покращення енергоефктривності технологічного процессу в елеваторному комплексі. Однак використовуючи даних критерій відбувається нехтування втратами зернової продукції, які проявляються в пошкоджені та втрати з транспортуючого обладнання.

Пошкодження зернової культури під час їх транспортування по елеватору і засипання в ємності для зберігання - це фактори, з яким доводиться миритися. Всі зернові культури в різному ступені травмуються, отримуючи механічні пошкодження ще на полях під час збирання врожаю, і продовжуючи травмуватися на зерносховищах. Одним з факторів, що спричиняють бій зерна і зниження його якості в елеваторному комплексі є завантаження його в ємкості для зберігання та переробки [9]. Як правило, перші десятки, або і сотні тонн зерна, які першими потрапляють в порожні металеві та бетонні ємності ушкоджуються і дробляться. Відповідно погіршуються якісні показники зерна та збільшується кількість недопустимих зернових домішок. Наступним фактором ушкодження зернової маси є його переміщення під

час технологічного процесу, яке відбувається технологічним обладнанням елеватора (транспортери, норії) [10].

Механічні ушкодження зерна під час транспортування відбувається внаслідок різноманіття технологічного обладнання та його впливу на зернові культури, а точніше взаємодія з різними фізичними параметрами, таким чином для досягання показників якості зернової маси, необхідно створення відповідних умов транспортування для різних видів або сумісних за показниками, зернових культур.

Для підвищення якості транспортування зерна в елеваторному комплексі можна впровадити автоматичний спосіб визначення оптимального маршруту за критерієм мінімізації приросту бою зерна під час транспортування.

Застосування оптимізаційного критерію $C_{б.min}$ зерна може здійснюватися як і в попередньому випадку за рахунок програмно-логічного комплексу керування технологічним обладнанням, які відображатиме стан обладнання на маршруті. Прокладаються усі можливі на даний момент маршрути переміщення зерна з вихідного до кінцевого пункту і далі з виділених маршрутів, з врахуванням впливу транспортного обладнання на якість зерна, визначається найбільш оптимальний маршрут.

Розглядаючи механічні ушкодження зерна під час транспортно-технологічних операцій, їх можна охарактеризувати як суму впливу елементів транспортуючого обладнання, клапанів і засувок технологічного маршруту. При цьому необхідно враховувати, в кожному наступному елементі, коефіцієнт впливу попереднього елементу транспортуючого обладнання, таким чином критерій оптимальності за $C_{б.min}$ зерна можна представити у вигляді:

$$C_{б.з.\min}=K_{б.e1}k_n+(K_{б.e1}+K_{б.e2})k_n+(K_{б.e1}+K_{б.e2}+K_{б.e3})\times \times k_n+\ldots+\sum K_{б.en+1}k_n \quad , (2)$$

де $K_б$ - коефіцієнт впливу елементів транспортуючого обладнання, клапанів і засувок технологічного маршруту; k - коефіцієнт, яких характеризує задіяність елемента в процесі маршрутизації (k = 0 - елемент використовується для транспортування, k = 1 - елемент не використовується для транспортування).

Використання зазначеного критерію при створені маршруту транспортування може забезпечити зменшення механічних пошкодження зернової маси під час транспортування, що в свою чергу підвищить продуктивність та якість технологічного процесу в елеваторному комплексі. Також для підприємств, орієнтованих на міжнародні споживчі ринки, домінуючими є показники якості зерна, котрі в деяких випадках можна покращити за рахунок пошуку оптимальних маршрутів транспортування зерна за заданими оператором критеріями.

Описання даного критерію $C_{б.min}$ можливо на основі алгоритму прокладання маршруту транспортування, рис. 4.

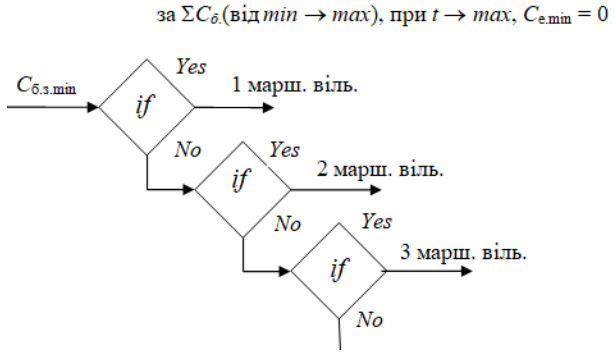

Рисунок 4. Алгоритм вибору прокладання маршруту за критерієм $C_{б.min}$ зерна

З даного алгоритму ми бачимо, що як і в попередньому випадку що прокладання маршруту транспортування відбуватиметься від мінімального значення до максимального в залежності від значення суми величини коефіцієнта впливу елементів транспортуючого обладнання, клапанів і засувок технологічного маршруту на зернові культури. Тобто приймемо, що для транспортування зернової продукції з точки А в точку Б необхідно зберегти якість якомога більше продукції, система буде прокладати маршрут провіряючи можливі варіанти та незагруженість цих маршрутів, якщо маршрут буде вільним то за результатами суми величини коефіцієнта впливу на бій зерна маршрут буде прокладений.

Побудова технологічного маршруту за критерієм $C_{б.min}$ забезпечить додаткову умову транспортування, за рахунок складання необхідного технічного завдання і внесення змін в керуючу програму формування маршрутів переміщення зерна, що підвищить якість зерна на експорт, однак використовуючи даний критерій, відбувається погіршення в швидкості та економічності технологічного процесу транспортування.

Отже, застосування вказаного принципу у побудові технологічних маршрутів може бути використано для розв'язання завдання створення оптимального маршруту транспортування. Однак в такому маршруті може враховуватися не тільки вказані раніше критерії оптимальності, а й критерії довжини і часу транспортування, що дасть нам можливість підвищити завантаження підприємства. А швидкий процес моделювання оптимального маршруту транспортування, збільшує швидкість завантаження транспортуючого обладнання, що в свою чергу призводить до підвищення ефективності при тих же потужностях. Проте, вирішення даного завдання можливе на основі створення алгоритму багатокритеріальної оптимізації (рис. 5).

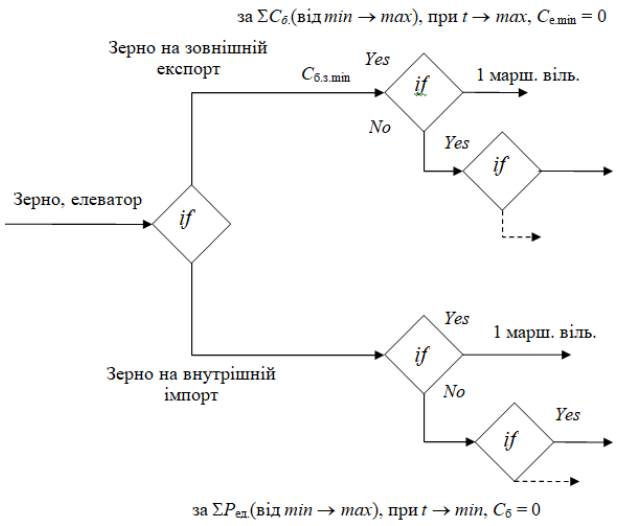

Рисунок 5. Алгоритм вибору прокладання маршруту виходячи з експорту зерна

Використання багатокритеріального підходу у визначенні маршруту транспортування зерна до елеватора дозволяє урахувати та оптимізувати не лише один аспект, а кілька критеріїв одночасно. Цей метод дозволяє збалансувати різні аспекти, такі як експортна якість зерна, мінімізація втрат, довжина маршруту та інші, для досягнення оптимального результату при плануванні та виборі маршруту транспортування.

V. ВИСНОВОК

На основі аналізу функціональної структури керування та алгоритму побудови технологічних маршрутів, визначений напрямок вирішення задачі оптимізації транспортно-технологічних маршрутів, що своєю чергою призведе до підвищення продуктивності і якості технологічного процесу. Для удосконалення процесу маршрутизації технологічного процесу транспортування у елеваторі і підвищення енергоефективності та якості транспортування зерна має сенс розглядати інтеграцію зазначених критеріїв оптимізації разом з урахуванням економічних та технічних обмежень. Задача оптимізації маршрутизації полягає в мінімізації споживання електроенергії під час транспортування зернових культур. Це досягається шляхом використання критерію, що базується на сумарній потужності електроприводів технологічних установок та дозвіл клапанів та засувок, враховуючи їх задіяність в процесі транспортування. Для досягнення показників якості транспортування згідно з критерієм мінімізації втрат зерна, необхідно враховувати фактори, що спричиняють травмування зернової маси, такі як механічні пошкодження під час переміщення засобами транспортування. Обидва критерії мають свою вагому важливість у побудові оптимальних маршрутів транспортування в елеваторних комплексах. Вибір конкретного критерію може залежати від конкретних потреб та цілей підприємства.

Тому важливо збалансувати різні аспекти, такі як енергоефективність, мінімізація втрат та якість транспортованої продукції, для досягнення найоптимальніших результатів. Таким чином, важливо враховувати енергоефективність, якість та безпеку транспортування зерна, щоб покращити загальну ефективність виробничого процесу в елеваторному комплексі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

[1] Конакбаєв О. Б. Автоматизація зерноприймання / О. Б. Конакбаєв, К. І. Мізамова // Вістник науки. – 2021. – Т. 6, № 39. – С. 315–321.

[2] Digital Twins: A novel traceability concept for post-harvest handling [Електронний ресурс] / G. Dyck [та ін.] // Smart Agricultural Technology. – 2023. – № 3. – С. 2772–3755. – Режим доступу: https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100079

[3] Захарченко Р. Автоматизована система керування процесом сушіння зернових культур : автореф. кандидатская работа / Захарченко Р. – Полтава, 2019. – 24 с.

[4] О. В. Просяник. Перспективні напрямки розвитку автоматизованих систем на підприємствах зберігання та переробки зерна [Електронний ресурс] / О. В. Просяник, М. О. Просяник, С. М. Ткаченко // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2012. – № 39. – С. 128–136. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu_2012_39_20

[5] Люлько Ю. Проблеми та перспективи розвитку хлібоприймальних підприємств та елеваторів / Ю. Люлько // Зернові продукти і комбікорми. – 2016. – Т. 2, № 18. – С. 12–15.

[6] Кудряшов В. С. Решение задач автоматизации елеваторного комплекса [Електронний ресурс] / В. С. Кудряшов // Вістник ВГУІТ. – 2018. – № 1. – С. 117–123. – Режим доступу: https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-1-117-123

[7] Підвищення ефективності елеваторної норії [Електронний ресурс] / І. Білюк [та ін.] // 2022 IEEE 4th international conference on modern electrical and energy system, Кременчук. – Кременчуг, 2022. – С. 1–5. – Режим доступу: https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005735

[8] Мардзявко В. А. Підвищення ефективності технологічного процесу елеваторного комплексу за рахунок оптимальної маршрутизації [Електронний ресурс] / Мардзявко В. А, Тимчук С. О, Сиротенко М. О // Інженерія природокористування. – 2021. – Т. 22, № 4. – С. 82–88. – Режим доступу: https://doi.org/10.5281/zenodo.6964706

[9] Мардзявко В. А. Аналіз методу маршрутизації транспортно-технологічних ліній переміщення зерна на елеваторах [Електронний ресурс] / В. А. Мардзявко, С. О. Тимчук // Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі : зб. матеріалів доп. учасн. XVII-й Міжнар. форум молоді, Харків. – Харків, 2021. – С. 233–234.

[10] Система стеження за мікроманіпулятором на основі п'єзоелектричного двигуна [Електронний ресурс] / І. Білюк [та ін.] // 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System, Кременчуг. – Кременчуг, 2023. – С. 1–6. – Режим доступу: https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402375

[11] Тимчук С. О. Аналіз транспортування зернової продукції на елеваторах [Електронний ресурс] / С. О. Тимчук, П. М. Кунденко, Л. В. Вахоніна // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2021. – Т. 4, № 112. – С. 96–106. – Режим доступу: https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-4(112)-10

[12] Спосіб підвищення енергоефективності роботи зернопереробних і зернозберігаючих комплексів : пат. 130996 Україна : G05B 13/00 / М. О. Сиротенко [та ін.]. – № u201804032 ; заявл. 13.04.2018 ; опубл. 10.01.2019, Бюл. № 2006.01.

[13] Фесун Т. П. Елеваторна промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс] / Т. П. Фесун. – Київ : Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка, 2021. – 180 с. – Режим доступу: https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/34263

[14] В. Б. Мокін. Розробка інтелектуальних технологій енергозберігаючої оптимізації роботи зернового елеватора з використанням нейромережевих моделей та методів навчання з підкріпленням / В. Б. Мокін, М. В. Дратований, А. Лухверчик // Науковий прогрес: інновації : Міжнар. науково-практ. конф., Мюнхен. – [Б. м.], 2023. – С. 138–144.

[15] Мардзявко В. Шляхи підвищення якості зерна за рахунок умов транспортування / В. Мардзявко, С. Тимчук // Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві : Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих уч., Харків. – 2021. – С. 81–84.

[16] Ilesaliev. Optimization of transport flows of the grain storage / Ilesaliev, Daurenbek, Kobulov // E3S web of conferences. – 2023. – С. 272–278.

Стаття надійшла до редакції 29.01.2024

USE OF CRITERIA FOR PROCESS OPTIMIZATION ELEVATOR COMPLEX ROUTING

KUNDENKO M.P. Dock. technical Sciences, professor, professor of the department of heat engineering and energy-efficient technologies of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: n.p.kundenko@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5841-4367;

MARDZIAVKO V.A. graduate student of the State University of Biotechnology, Kharkiv, Ukraine, e-mail: vitalijmardzavko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7327-9215;

RUDENKO A.Y. graduate student of the State University of Biotechnology, Kharkiv, Ukraine, e-mail: andrey0911r@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5103-6412;

The goal of the work. *The purpose of this work is to describe the optimality criteria for determining the direction of solving the problem of optimizing transport and technological routes of grain products at the elevator complex.*

Research methods. *An analytical research method was applied to determine the technological characteristics of the elevator complex line and the dependence of the quality of transported products on the constructed transportation route. A mathematical method is applied to describe the constituent elements of the optimization criteria.*

Obtained results. *One of the directions for increasing and improving the technological process at the elevator was determined, by improving the control algorithms in the direction of optimizing the technological processes of the elevator by many criteria. According to optimization criteria, to ensure optimal transportation conditions, minimum losses, minimum transportation time, minimum energy consumption, and minimum length of the laid transportation path should be used, therefore, a description of the main criteria that can primarily affect the efficiency of the elevator complex was performed.*

Scientific news. *The direction of solving the problem of optimising transport and technological routes is determined. The analytical derivation of the criterion of minimum energy consumption and the criterion of minimum grain breakage.*

Practical value.*Optimisation of the elevator complex to ensure variable transportation of grain masses, which*

will improve the productivity and quality of the technological process of the elevator complex.

Key words: minimization of the battle of grain products, minimum energy consumption, software-logic controller, logic equations, elevator complex, routing process.

REFERENCE

[1] Konakbaiev, O. B., & Mizamova, K. I. (2021). Automation of grain acceptance. *Herald of science*, *6*(39), 315–321. DOI:10.1016/j.atech.2022.100079

[2] G. Dyck. (2023). Digital Twins: A novel traceability concept for post-harvest handling. *Smart Agricultural Technology*, (3), 2772–3755. DOI: doi.org/10.1016/j.atech.2022.100079

[3] Zakharchenko, R. (2019). *Automated control system for grain drying process* [Unpublished extended abstract of candidate's work].

[4] Prosianyk, O. V., Prosianyk, M. O., & Tkachenko, S. M. (2012). Prospective directions for the development of automated systems at grain storage and processing enterprises. *Collection of scientific works of the National Mining University*, (39), 128–136.

[5] Liulko, Y. (2016). Problems and prospects of the development of grain processing enterprises and elevators. *Cereal Products and Compound Feed*, *2*(18), 12–15.

[6] Kudriashov, V. S. (2018). Solving problems of automation of the elevator complex. *Herald of VGUIT*, (1), 117–123. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-1-117-123

[7] I. Biliuk, D. Shareiko, O. Savchenko, & S. Havrylov. (2022). Increasing the efficiency of the elevator noria. In *2022 IEEE 4th International conference on modern electrical and energy system* (pp. 1–5). DOI:10.1109/MEES58014.2022.10005735

[8] Mardziavko V. A, Tymchuk S. O, & Syrotenko M. O. (2021). Increasing the efficiency of the technological process of the elevator complex due to optimal routing. *Nature management engineering*, *22*(4), 82–88. DOI: doi.org/10.5281/zenodo.6964706

[9] V. A. Mardziavko & S. O. Tymchuk. (2021). Analysis of the routing method of transport and technological lines of grain movement on elevators. In *Youth and agricultural machinery in the 21st century* (pp. 233–234).

[10] I. Biliuk, D. Shareiko, O. Savchenko, & S. Havrylov. (2023). Piezoelectric motor-based micromanipulator tracking system. In *5th international conference on modern electrical and energy system* (pp. 1–6). DOI: 10.1109/MEES61502.2023.10402375

[11] S. O. Tymchuk, P. M. Kundenko, & L. V. Vakhonina. (2021). Analysis of transportation of grain products on elevators. *Herald of Agrarian Science of the Black Sea Region*, *4*(112), 96–106. DOI: 10.31521/2313-092X/2021-4(112)-10

[12] A method of increasing the energy efficiency of grain processing and grain storage complexes (Patent of Ukraine No. 130996). (2019).

[13] T. P. Fesun. (2021). *Elevator industry: traditions and innovations. Domestic and international experience.* National University of Food technology.

[14] V. B. Mokin, M. V. Dratovanyi, & A. Lukhverchyk. (2023). Development of intelligent technologies for energy-saving grain elevator operation optimization using neural network models and reinforcement learning methods. In *Scientific progress: Innovations* (pp. 138–144).

[15] V. Mardziavko & O. Tymchuk. (2021). Ways to improve grain quality due to transportation conditions. In *Computer-integrated technologies for automation of technological processes in transport and production* (pp. 81–84).

[16] Ilesaliev, Daurenbek, & Kobulov. (2023). Optimization of transport flows of the grain storage. In *E3S web of conferences* (pp. 272–278).