

О. С. Черпаха¹
Д. О. Галушак²
О. В. Колісник¹
Д. В. Барміна¹

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТАВКИ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ В КОНТЕЙНЕРАХ МІЖ УКРАЇНОЮ ТА ІСПАНІЄЮ

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Вінницький національний технічний університет

Запропоновано вирішення актуальної науково-прикладної задачі визначення раціональної технології доставки продукції рослинного походження в контейнерах у міжнародному сполученні між Україною та Іспанією в умовах трансформації логістичних ланцюгів та обмеженої пропускної здатності прикордонної інфраструктури. Особливу увагу приділено обґрунтуванню доцільності використання контейнерних перевезень як альтернативи традиційним схемам доставки із застосуванням вагонів-зерновозів, що дозволяє мінімізувати часові витрати, скоротити витрати на перевантажувальні операції та підвищити гнучкість транспортно-логістичних процесів. Розроблено методичний підхід до формування та вибору раціональної технології доставки, який базується на побудові математичної моделі визначення сумарних витрат логістичного ланцюга. Сформована модель враховує комплекс технологічних операцій, зокрема навантаження, розвантаження, перевантаження, зберігання, транспортування, очікування відправлення та документальне оформлення. Розроблено повнофакторний план експерименту та виконана відповідна серія чисельних розрахунків. На основі отриманих результатів побудовано регресійні математичні моделі для двох альтернативних технологій доставки, що характеризуються високими показниками адекватності та статистичної значущості. Проведений порівняльний аналіз дозволив встановити, що застосування контейнерної технології забезпечує стійке зниження загальних витрат у всьому діапазоні зміни вхідних параметрів. Середній економічний ефект від впровадження запропонованого підходу становить понад 24 тисячі гривень на одну партію вантажу, а максимальний – перевищує 42 тисяч гривень. Практична цінність результатів полягає у можливості використання розроблених математичних моделей та методичного підходу в діяльності транспортно-експедиторських і логістичних компаній для оптимізації процесів міжнародних перевезень, обґрунтування управлінських рішень та формування раціональних логістичних схем.

Ключові слова: змішане сполучення, продукція рослинного походження, контейнер, модель, регресійний аналіз.

Вступ

Україна є одним із провідних світових виробників і експортерів аграрної продукції, зокрема соняшникової олії, пшениці, ячменю та інших культур, значна частка яких належить до зернової групи. Повномасштабне вторгнення Росії фактично зупинило головний маршрут експорту – українські порти Чорного моря, через які проходило понад 90% поставок. Експорт зернових має критичне значення для економіки України, оскільки забезпечує приблизно п'яту частину валютних надходжень. Водночас українські зернові є важливими для продовольчої безпеки багатьох держав світу. З метою підтримки експорту та забезпечення альтернативних шляхів доставки Європейська комісія розробила й реалізувала комплекс заходів, спрямованих на полегшення транспортування різних видів вантажів з України [1].

Європейська комісія провела ґрунтовний аналіз основних проблем у транспортному сполученні. Наразі на кордоні України з Польщею та Румунією простоюють тисячі вагонів із зерном. Середній час затримки становить близько 16 діб, а в окремих випадках – сягає навіть місяця [1]. Ключовою причиною таких затримок є різниця у ширині залізничної колії між Україною та країнами ЄС. Для перетину кордону необхідно або замінювати вагонні візки, або здійснювати перевантаження зерна з українських вагонів у європейські. За оцінками Європейської комісії, наявні технічні можливості суттєво поступаються реальним потребам. У зв'язку з цим європейські посадовці звернулися до компаній із проханням надати або знайти на ринку мобільні перевантажувачі зерна [1]. Одним із можливих рішень також розглядається перевезення зернових у універсальних контейнерах, оскільки їх можна значно швидше перевантажувати за допомогою спеціалізованих кранів з українських залізничних платформ на європейські [1].

Значна частка українського експорту товарів припадає на продукцію рослинного походження. При цьому, частка цих товарів в українському експорті збільшилася з 22,8 % до 32,4 % між 2021 та 2023 роком [2]. В 2023-му році, Україна експортувала продукцію рослинного походження на 11,7 млрд. дол. США, з яких більше половини (6,2 млрд. дол. США) припало на країни ЄС. Варто відзначити, що структура українського експорту продукції рослинного походження малодиференційована – частка зернових в експорті цих товарів становить приблизно 71 % в 2023-му році [2]. Номенклатура експорту товарів в Іспанію достатньо широка. Товари, які відносяться до продукції рослинного походження, займають домінуючу частку експорту. В п'ятірці товарів по вартості експорту в 2023 році займали перше місце – зернові культури з обсягом в 1917285,49 тис. дол. США (рис.1.3) [3]. В 2024 році обсяг експорту зернових культур збільшився на 34,7 %.

Процес доставки продукції рослинного походження в напрямку Європейських країн є складним технологічним процесом, де необхідно розвивати мультимодальні кластери різного рівня [4-6]. В цих кластерах будуть об'єднані виробничі, складські, транспортні та перевантажувальні ресурси. Найбільш надійним та ефективним, а ще при цьому достатньо вартісним, в теперішній ситуації нашої країни, є спосіб доставки різних видів вантажів у контейнерах [7-9]. Це повинно дозволити спростити процес перетину кордону для перевезень по залізниці, саме при незначних обсягах замовлень, але при значній відстані – наприклад, при доставці до портів Іспанії. А також будувати раціональне функціонування всіх елементів системи організації доставки з найменшими витратами ресурсів. Тому необхідно вибрати методичний підхід щодо формування раціональної технології доставки продукції рослинного походження в контейнерах між Україною та Іспанією.

Метою роботи є визначення раціональної технології доставки продукції рослинного походження в контейнерах між Україною та Іспанією за рахунок ефективного використання ресурсів підприємства.

Результати дослідження

Для доставки продукції рослинного походження можуть використовуватись універсальні та спеціалізовані контейнери (20-ти футові); їх вантажопідйомність приблизно складає 24 т. В універсальні контейнери завантаження здійснюється через відповідні торцеві двері, що для кожного замовника створює незручності при відправці продукції рослинного походження. Універсальний контейнер, що використовується для доставки продукції рослинного походження, має бути обладнаний додатковими пристроями: контейнерним вкладишем (типу «Liner Bag») з завантажувальним певного виду рукавом, дерев'яним або металевим щитом для захисту дверей контейнеру від тиску продукції. Ці конструкції дозволяють контейнеру витримувати допустимі динамічні навантаження при спуску з «гірки» платформ з контейнером на залізничній сортувальній станції [10-12].

Розглянемо в дослідженні два варіанти технології доставки продукції рослинного походження у міжнародному сполученні – Україна – Іспанія. Перша схема розглядається з моменту розвантаження автомобіля-зерновоза на елеваторі, далі партія продукції рослинного походження зберігається до моменту подачі вагонів-зерновозів до елеватору (рис.1. а). Потім партія продукції рослинного походження навантажується в вагон-зерновоз і далі сформована партія вагонів відправляється до сортувальної станції, де формується потяг, який прямує до станції на кордоні. На цій станції (стикування), відбувається зміна колісних пар. Після чого потяг відправляється до станції призначення на території Іспанії, де здійснюється розвантаження та зберігання партії продукції рослинного походження. Далі автомобілем продукція рослинного походження доставляється до одержувача. Друга технологія пропонується компанії реалізовувати наступним чином: з моменту розвантаження автомобіля-зерновоза на елеваторі партія продукції рослинного походження зберігається до моменту подачі контейнеру до зони завантаження, контейнер завантажується (рис.1. б). Далі контейнер зберігається деякий час на складі (елеваторі), потім навантажується на залізничну платформу і далі сформована партія вагонів відправляється до сортувальної станції, де формується потяг, який прямує до станції на кордоні. На цій станції відбувається перевантаження контейнерів на платформи «європейського» перевізника та оформляються відповідні документи, після чого потяг відправляється до станції призначення на території Іспанії, де здійснюється розвантаження контейнеру та його зберігання.

З майданчика зберігання контейнер завантажується на спеціальний автомобіль і перевозиться до вантажоодержувача, де й розвантажується продукції рослинного походження з контейнеру.

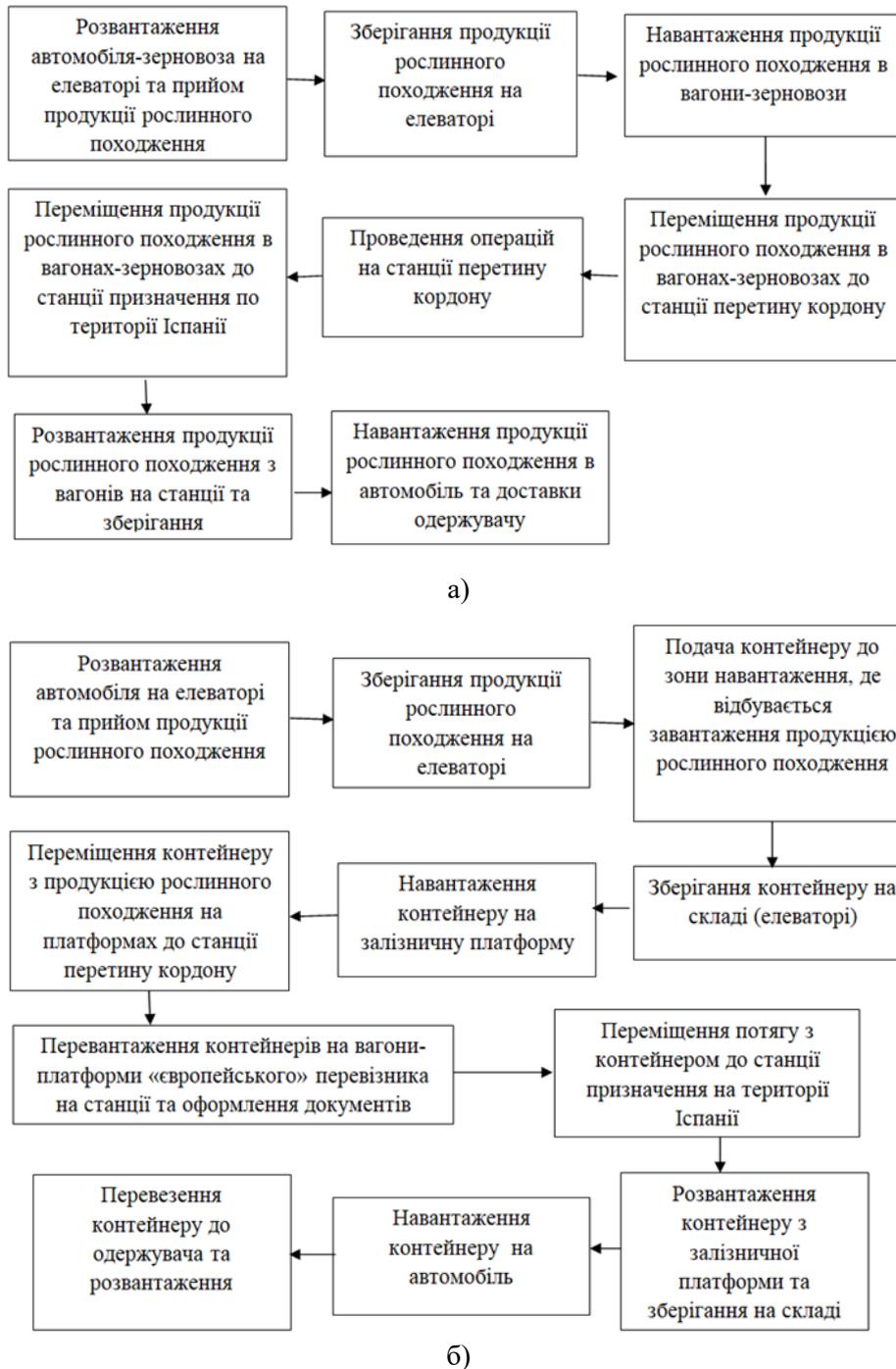


Рис. 1. Схематичне представлення технології доставки продукції рослинного походження: а – «Технологія 1», б – «Технологія 2»

Визначення раціональної технології доставки продукції рослинного походження в контейнерах пропонується проводити за оціночним показником – сумарні витрати на доставку ($B_{\text{сум}}^0$), які формують встановлену множину значень визначених витрат за кожним елементом технології, що розглядається. На оціночний показник будуть впливати зовнішні фактори: параметри попиту: обсяг замовлення продукції рослинного походження (Q_0), т; відстані перевезень продукції рослинного походження (L_0), км. А також керовані фактори: часові параметри виконання відповідної i -ої операції (t_i^0), год; вартість виконання відповідної i -ої операції (U_i^0), грн. Відстань перевезення розподіляються на два види: відстань підвезення (вивезення) продукції рослинного походження – $L_0^{n(e)}$ та відстань перевезення продукції рослинного походження на магістральному виді транспорту – L_0^m . Таким чином оціночний параметр буде залежити від встановлених параметрів:

$$B_{\text{сум}}^{\delta} = f(Q_{\delta}, L_{\delta}^{n(\epsilon)}, L_{\delta}^m, t_i^{\circ}, C_i^{\circ}). \quad (1)$$

Сумарні витрати на доставку продукції рослинного походження будуть визначатися в загальному вигляді:

$$B_{\text{сум}}^{\delta} = B_{n(p)}^{\text{конт}} + B_{n(p)}^{\text{мп.од.}} + B_{\text{зб}}^{\epsilon} + B_{\text{мп.}} + B_{\text{оч}}^{\text{мп}} + B_{\text{док.}}^{\text{оф.}} \quad (2)$$

де $B_{n(p)}^{\text{конт}}$ – витрати на навантаження (розвантаження) контейнеру, грн; $B_{n(p)}^{\text{мп.од.}}$ – витрати на навантаження (розвантаження), перевантаження продукції рослинного походження (контейнеру) на (із) ТЗ (автомобіль, вагон) відповідного виду транспорту, грн; $B_{\text{зб}}^{\epsilon}$ – витрати на зберігання продукції рослинного походження (контейнеру) на складі та технологічні простой на відповідному транспорті, грн; $B_{\text{мп.}}$ – витрати на перевезення продукції рослинного походження (контейнеру) транспортним засобом (автомобіль, вагон) на відповідному виді транспорту по території України та Європи (Іспанії), грн; $B_{\text{оч}}^{\text{мп}}$ – витрати на очікування відправлення продукції рослинного походження (контейнеру) на відповідному виді магістрального транспорту, грн; $B_{\text{док.}}^{\text{оф.}}$ – витрати на документальне оформлення процесу доставки продукції рослинного походження (контейнеру), грн.

Витрати на навантаження (розвантаження) контейнеру:

$$B_{n(p)}^{\text{конт}} = C_{n(p)}^{\text{к}} \cdot t_{n(p)}^{\text{к.}\epsilon} \cdot Q_{\delta}, \quad (3)$$

де $C_{n(p)}^{\text{к}}$ – середня вартість навантаження (розвантаження) контейнеру продукцією рослинного походження, грн/год.; $t_{n(p)}^{\text{к.}\epsilon}$ – час навантаження (розвантаження), однієї тони продукції рослинного походження в (із) контейнер, год./т.

Витрати на навантаження (розвантаження), перевантаження продукції рослинного походження (контейнеру) на (із) ТЗ відповідного виду транспорту:

$$B_{n(p)}^{\text{мп.од.}} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^f C_{n(p)ij}^{\text{мп.од.}} \cdot t_{n(p)ij}^{\text{мп.од.}} \cdot n_{\text{вант}ij}, \quad (4)$$

де $C_{n(p)ij}^{\text{мп.од.}}$ – середня вартість навантаження (розвантаження), перевантаження на i -му виді транспорту в j -му пункті (склад для зберігання контейнерів, залізнична станція), грн/од.; $t_{n(p)ij}^{\text{мп.од.}}$ – час навантаження (розвантаження), перевантаження відповідної кількості вантажу (контейнерів) на i -му виді транспорту на j -му пункті, год.; k – гранична кількість видів транспорту, од.; f – гранична кількість пунктів за відповідною технологією доставки, од.; $n_{\text{вант}ij}$ – кількість вантажу (контейнерів), завантаженого (розвантаженого) на i -му виді транспорту на j -му пункті, од.

Витрати на зберігання продукції рослинного походження (контейнеру) на складі та технологічні простой на відповідному транспорті:

$$B_{\text{зб}}^{\epsilon} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^f C_{\text{зб}ij}^{\epsilon} \cdot t_{\text{зб}ij}^{\epsilon} \cdot Q_{\delta}, \quad (5)$$

де $C_{\text{зб}ij}^{\epsilon}$ – середня вартість зберігання продукції рослинного походження та технологічні простой на i -му виді транспорту в j -му пункті (склад, залізнична станція), грн/т·год.; $t_{\text{зб}ij}^{\epsilon}$ – час на зберігання відповідної кількості вантажу (контейнерів) та технологічні простой на i -му виді транспорту на j -му пункті, год.

Витрати на перевезення продукції рослинного походження (контейнеру) транспортним засобом (автомобіль, вагон) на відповідному виді транспорту по території України та Європи (Іспанії):

$$B_{\text{мп.}} = \sum_{i=1}^k \sum_{r=1}^z C_{\delta.ir} \cdot L_{\delta.ir}^{n(\epsilon),m}, \quad (6)$$

де $C_{\delta.ir}$ – середня вартість перевезення продукції рослинного походження (контейнеру) i -им видом транспорту на r -ій ділянці, грн/км; z – гранична кількість ділянок за відповідною схемою

доставки, од.; $L_{\partial,ir}^{n(e),M}$ – відповідні відстані перевезення (підвезення (вивезення) та магістральному) продукції рослинного походження (контейнеру) i -им видом транспорту на r -ій ділянці, км.

Витрати на очікування відправлення продукції рослинного походження (контейнеру) на відповідному виді магістрального транспорту:

$$B_{оч}^{mp} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^f C_{оч,ij} \cdot t_{оч,ij}^{mp,od} \cdot Q_{\partial} \cdot K_{вл,ij}, \quad (7)$$

де $C_{оч,ij}$ – середня вартість очікування відправлення продукції рослинного походження (контейнеру) на i -му виді транспорту в j -му пункті, грн/т·год.; $t_{оч,ij}^{mp,od}$ – час очікування відправлення продукції рослинного походження (контейнеру) на i -му виді транспорту в j -му пункті, год.; $K_{вл,ij}$ – коефіцієнт впливу на час очікування на i -му виді транспорту в j -му пункті.

Витрати на документальне оформлення процесу доставки продукції рослинного походження (контейнеру):

$$B_{оок}^{оф.} = \sum_{i=1}^k (C_{оф,\partial,i} + C_{стр,i}) \cdot n_{конт} + C_{митн,i}^{оф.мп.} + C_{митн,i}^{оф.вант.} \cdot Q_{\partial}, \quad (9)$$

де $C_{оф,\partial,i}$ – вартість оформлення документів на доставку продукції рослинного походження i -им видом транспорту, грн/од.; $C_{стр,i}$ – вартість страхування доставки продукції рослинного походження i -им видом транспорту, грн/од.; $C_{митн,i}^{оф.мп.}$ – вартість митного оформлення ТЗ для доставки продукції рослинного походження, грн; $C_{митн,i}^{оф.вант.}$ – вартість митного оформлення продукції рослинного походження, грн/т.

Далі для проведення моделювання по визначенню раціональної технології доставки продукції рослинного походження в контейнерах між Україною та Іспанією проведено статистичний аналіз встановлених факторів впливу: обсяг замовлення продукції рослинного походження, відстань підвезення (вивезення) продукції рослинного походження та відстань перевезення продукції рослинного походження на магістральному транспорті). Значення їх було отримано шляхом безпосереднього аналізу замовлень на доставку продукції рослинного походження з України до Іспанії. Загальна кількість зазначених замовлень (спостережень) дорівнює ста одиницям.

Натурні дослідження проводилися за результатами обробки замовлень компанії «Global Ocean Link». Замовлення були проаналізовані за вересень 2025 року. Результати визначення обсягів вибірки та статистичних показників для технологічних параметрів доставки меблевої продукції наведені в таблиці 1. Розрахунки були виконанні за допомогою програмного середовища «Excel». Визначено, що значення встановлених параметрів попиту розподіленні за нормальним законом розподілу випадкових величин. Це підтверджується відповідним рівнем довірчої ймовірності. Також визначені мінімальні та максимальні значення параметрів попиту (табл. 2).

Таблиця 1

Результати проведених розрахунків обсягів вибірки для визначених технологічних параметрів

Показники	Обсяг замовлення продукції рослинного походження, т	Відстань підвезення (вивезення) продукції рослинного походження, км	Відстань перевезення продукції рослинного походження на магістральному транспорті, км
Математичне очікування	150	40	3500
Середньоквадратичне відхилення	126,8	56,05	1188,58
Похибка розрахунків	7,5	2	175
Обсяг вибірки, од.	92	97	64

Таблиця 2

Результати оцінки визначених параметрів попиту

Рівень значень	Обсяг замовлення продукції рослинного походження, т	Відстань підвезення (вивезення) продукції рослинного походження, км	Відстань перевезення продукції рослинного походження на магістральному транспорті, км
Мінімальне	20	15	3120
Максимальне	280	65	3880

Розроблено повнофакторний план експерименту для трьох встановлених вхідних параметрів. План було складено для досягнення максимальної точності вимірювань при відповідній мінімальній кількості досліджень, а також для збереження статистичної достовірності отриманих результатів. План для трьох параметрів та двох рівнів (мінімальний та максимальний) складається з восьми серій дослідів. На основі складеного плану проведено моделювання для кожної серії дослідів. Було проведено тестування отриманих значень на достатність відповідно до критеріїв Кохрена. В результаті проведення експерименту отримали значення оціночного критерію – сумарні витрати на доставку продукції рослинного походження по встановленим двом альтернативним варіантам схем з урахуванням комбінацій мінімальних та максимальних значень вхідних параметрів (табл. 3).

Для аналізу впливу параметрів (обсяг замовлення продукції рослинного походження, відстань перевезення продукції рослинного походження по підвезенню (вивезенню), відстань перевезення продукції рослинного походження на магістральному транспорті) на встановлений критерій ефективності – сумарні витрати проведено регресійний аналіз.

Таблиця 3

Результати визначення сумарних витрат за двома варіантами технології доставки продукції рослинного походження

Номер серії дослідів	Обсяг замовлення продукції рослинного походження, т	Відстань підвезення (вивезення) продукції рослинного походження, км	Відстань перевезення продукції рослинного походження на магістральному транспорті, км	Сумарні витрати на доставку продукції рослинного походження, грн	
				«Технологія 1»	«Технологія 2»
1	20	15	3120	97203,48	66665,41
2	20	15	3880	118103,82	80345,31
3	20	65	3120	99453,28	68765,43
4	280	15	3880	251079,32	208725,74
5	280	15	3120	230179,37	195045,68
6	280	65	3120	232429,34	197145,77
7	20	65	3880	120353,64	82445,49
8	280	65	3880	253329,36	210825,51

За допомогою програмного комплексу «MS Excel» та вбудованого елемента надбудови «Data Analysis-Regression» були визначені відповідні показники: дисперсія, коефіцієнти рівняння за змінними та регресійна статистика. Визначені регресійні моделі лінійного типу, у яких кожний коефіцієнт повинен вказувати на ступінь впливу відповідного технологічного фактору на наш результативний показник – сумарні витрати на доставку продукції рослинного походження. Міра визначеності « R -квадрат» дорівнює одиниці для всіх двох варіантів технологій, що говорить про те що побудовані аналітичні моделі пояснюють всю змінність відповідних технологічних параметрів; «множинний R », який повинен виражати ступінь залежності відповідних незалежних змінних X та залежної змінної Y , також дорівнює одиниці для всіх варіантів; «рівень значимості F », значення якого повинні бути меншими за 0,05, дорівнює для варіанту «Технологія 1» $9,08 \cdot 10^{-65}$, а для «Технологія 2» складає $1,96 \cdot 10^{-64}$, що відповідає умовам. Оцінка відповідних значень коефіцієнтів лінійної регресії

показала, що для варіанту «Технологія 2» – вільний коефіцієнт не враховується. Тоді регресійна модель лінійного типу для «Технологія 1»:

$$B_{\text{сум1}}^{\text{о}} = 500 + 511,44 \cdot Q_{\text{о}} + 45 \cdot L_{\text{о}}^{n(e)} + 27,5 \cdot L_{\text{о}}^m. \quad (10)$$

Регресійна модель лінійного типу для «Технологія 2»:

$$B_{\text{сум2}}^{\text{о}} = 493,77 \cdot Q_{\text{о}} + 42 \cdot L_{\text{о}}^{n(e)} + 18 \cdot L_{\text{о}}^m. \quad (11)$$

За отриманими прогнозними моделями проведемо розрахунки за комбінаціями значень параметрів попиту та представимо результати на рисунку 2.

Для визначення раціональної технології доставки продукції рослинного походження в контейнерах між Україною та Іспанією порівнюємо значень сумарних витрат:

$$E_k = B_{\text{сум1}}^{\text{о}} - B_{\text{сум2}}^{\text{о}}. \quad (12)$$

Результати порівняння варіантів представлені в таблиці 4.

З отриманих результатів розрахунку ефекту з таблиці 4 бачимо, що «Технологія 2» при порівнянні з «Технологією 1» при всіх комбінаціях значень технологічних параметрів буде мати позитивний результат – сумарні витрати менші (найбільший рівень ефекту 42502,6 гривень при максимальних значеннях вхідних параметрів). Середній ефект складає 24347 гривень.

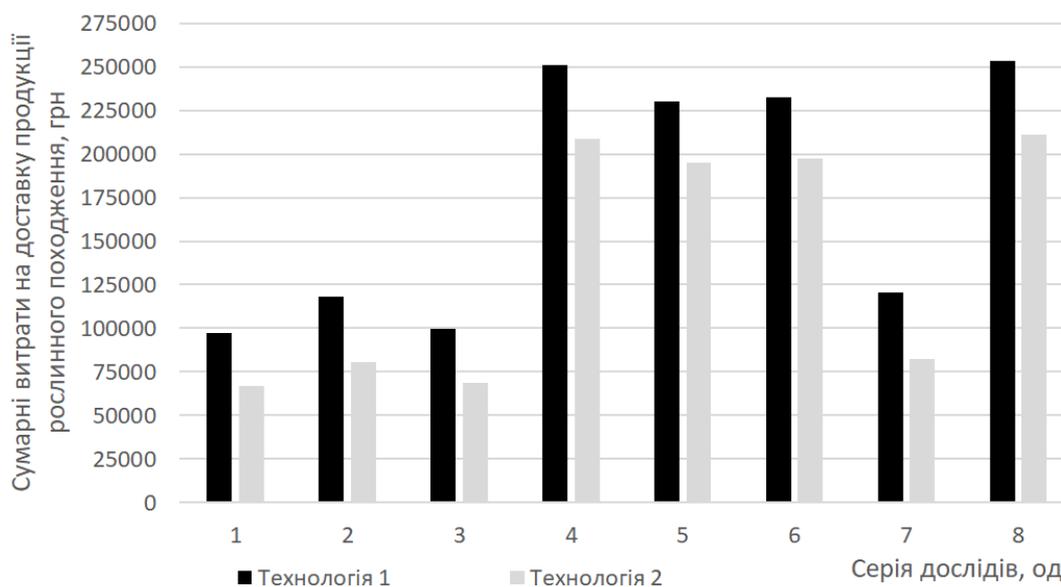


Рис. 2. Графік залежності сумарних витрат на доставку продукції рослинного походження в контейнерах між Україною та Іспанією від комбінацій значень відповідних вхідних параметрів за кожною серією дослідів

Таблиця 4

Результати порівняння значень сумарних витрат за варіантами

Обсяг замовлення продукції рослинного походження, т	Відстань підвезення (вивезення) продукції рослинного походження, км	Відстань перевезення продукції рослинного походження на магістральному транспорті, км	Результат порівняння сумарних витрат, грн
20	15	3120	30538,2
20	15	3880	37758,4
20	65	3120	30688,8
280	15	3880	42352,6
280	15	3120	35132,1
280	65	3120	35282,3
20	65	3880	37908,4
280	65	3880	42502,6

Висновки

В результаті дослідження було розроблено та апробовано методологічний підхід до визначення раціональної технології доставки рослинної продукції в контейнерах між Україною та Іспанією з урахуванням комплексу технологічних, економічних та логістичних факторів. Запропонована модель дозволяє комплексно оцінювати альтернативні схеми транспортування за допомогою інтегрального критерію – загальних витрат на доставку, що включають витрати на завантаження та розвантаження, перевантаження, зберігання, транспортування, очікування відправлення та оформлення документів. В ході дослідження було сформовано дві альтернативні схеми технологічної доставки: традиційна, заснована на використанні зернових вагонів, та інноваційна, що передбачає використання універсальних контейнерів з вкладишами типу «Liner Bag». Розроблена узагальнена математична модель визначення сумарних витрат на доставку, яка враховує повний комплекс складових логістичного процесу: витрати на навантаження та розвантаження, перевантаження, зберігання, транспортування, очікування відправлення, а також документальне оформлення. Особливістю моделі є її параметричний характер, що дозволяє адаптувати її до різних схем доставки, типів вантажу та варіантів організації транспортного процесу. Модель формалізує взаємозв'язки між керованими та некерованими факторами, що забезпечує можливість прогнозування рівня витрат при зміні обсягу партії, транспортних відстаней та часових параметрів. Статистичний аналіз параметрів попиту та повнофакторний експеримент дозволили встановити закономірності впливу обсягу замовлення, відстані доставки (експорту) та відстані основного транспортування на загальні витрати логістичного процесу. Отримані результати свідчать про те, що технологія контейнерних перевезень («Технологія 2») є більш економічно доцільною, ніж традиційна, для всіх розглянутих комбінацій вхідних параметрів. Економічний ефект від її впровадження становить від 30,5 до 42,5 тисяч гривень на одну партію вантажу, а середнє значення економії становить близько 24,3 тисяч гривень. Це підтверджує доцільність переходу на контейнерні схеми перевезення рослинної продукції в умовах обмеженої пропускної здатності прикордонної інфраструктури та різної ширини залізничних колій. Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості використання розробленої моделі експедиторськими компаніями, логістичними операторами та експортерами сільськогосподарської продукції для вибору оптимальної технології доставки залежно від параметрів замовлення та ринкових умов. Запропонований підхід може бути інтегрований у системи підтримки прийняття рішень, а також використовуватися при формуванні мультимодальних логістичних кластерів. Перспективи подальших досліджень включають розширення моделі з урахуванням стохастичних факторів, таких як затримки на кордоні, коливання тарифів, ризику воєнного часу та сезонні зміни попиту. Також доцільно вивчити екологічні аспекти контейнерних перевезень, оптимізувати використання контейнерного парку та розробити адаптивні моделі планування доставки для різних напрямків міжнародної торгівлі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] У ЄС схвалили план, як допомогти Україні експортувати зерно : веб-сайт. URL: <https://www.dw.com/uk/u-yes-predstavlyu-plan-yak-dopomohy-ukraini-eksportuvaty-zerno/a-61778651>
- [2] Міжнародна торгівля в Україні: огляд ключових трендів : веб-сайт. URL: https://ces.org.ua/international_trade_ukraine_key_trends/
- [3] Зовнішньоекономічна діяльність : веб-сайт. URL: <https://ukrstat.gov.ua/>
- [4] Taran, I., Kairatkyzy, G., Pavlenko, O., Nefyodov, V. & Muzylyov D. (2025). *Determining the optimal service area of a logistics center: a quantitative approach*. *Transport Problems*, 20(3), 5-18.: <https://doi.org/10.20858/tp.2025.20.3.01>
- [5] D. Muzylyov, I. Medvediev та O. Pavlenko, “Risk factor assessment in agricultural supply chain by fuzzy logic”, *IOP Conf. Ser.: Earth Environmental Sci.*, т. 1376, № 1, с. 012038, лип. 2024. Доступно: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012038>
- [6] A. G. Guimarães та A. D. G. Maia, “Challenges and Innovation Opportunities in Load Multimodal Transport - LMT in Brazil: cluster technique application as a support tool for Decision Making”, *Transp. Res. Procedia*, т. 25, с. 870–887, 2017. Дата звернення: 18 лют. 2026. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.463>
- [7] M. Ouni та R. Mraïhi, “The role of container port traffic, global value chains participation and logistics performance in Tunisia’s inclusive growth: evidence from quantile on quantile regression and hybrid quantile causality analysis”, *Case Stud. Transport Policy*, т. 23, с. 101727, берез. 2026. Дата звернення: 18 лют. 2026. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2026.101727>
- [8] S. Emde та A. A. Tudoran, “The first mile is the hardest: A deep learning-assisted heuristic for container assignment in first-mile logistics”, *Eur. J. Oper. Res.*, січ. 2025. Дата звернення: 18 лют. 2026. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2025.01.024>
- [9] Y. Ma, Y. Zhou, Q. Fang, S. Xia та W. Chen, “A three-dimensional container loading algorithm for solving logistics packing problem”, *EURO J. Transp. Logistics*, т. 14, с. 100167, 2025. Дата звернення: 18 лют. 2026. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2025.100167>
- [10] Перспективи експортних перевезень зернових вантажів у контейнерах / Р. В. Вернигора та ін. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2018. №16. С.22–30.
- [11] Покращення конкурентного середовища підприємств автомобільного транспорту на ринку вантажних перевезень / В.П. Кужель, О.С. Глодний, Д.О. Гусев // *Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології*

та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. Вінниця: ВНТУ, 2025. С. 259 – 261 (PDF, 536 с.). ISBN 978-617-8163-71-6 (PDF)

[12] Перспективи розвитку вантажних перевезень в Україні в умовах сьогодення / В.П. Кужель, С.П. Куліш, Д.С. Литвинчук, М.С. Пашенько. Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку авто-мобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 198-202.

Черепанха Олександр Сергійович – канд техн. наук, доцент кафедри транспортних технологій, <https://orcid.org/0009-0004-6129-1945>, e-mail: a.cherepaha@tek-europa.com.ua

Барміна Дар'я Вячеславівна – студентка факультету транспортних систем, <https://orcid.org/0009-0008-2991-0741>, e-mail: barminadasha2020@gmail.com

Колісник Олена Володимирівна – студентка факультету транспортних систем, <https://orcid.org/0009-0009-5045-3060>, e-mail: tamaravvik@gmail.com

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Галушчак Дмитро Олександрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, <https://orcid.org/0000-0001-9752-9821>, e-mail: galuschak.d@gmail.com

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

O. Cherepakha¹
D. Halushchak²
D. Barmina¹
O. Kolisnyk¹

Determination of rational technology for the delivery of plant products in containers between Ukraine and Spain

¹ Kharkiv National Automobile and Highway University

² Vinnytsia National Technical University

A solution to the current scientific and applied problem of determining a rational technology for delivering plant products in containers in international traffic between Ukraine and Spain in the context of the transformation of logistics chains and limited capacity of border infrastructure is proposed. Particular attention is paid to substantiating the feasibility of using container transportation as an alternative to traditional delivery schemes using grain wagons, which allows minimizing time losses, reducing costs for transshipment operations and increasing the flexibility of transport and logistics processes. A methodical approach to the formation and selection of a rational delivery technology has been developed, which is based on building a mathematical model for determining the total costs of the logistics chain. The formed model takes into account a complex of technological operations, in particular loading, unloading, reloading, storage, transportation, waiting for shipment and documentation. The order volume, delivery (export) distance and main transportation distance were used as input parameters. To form a reliable statistical base, an analysis of real orders for the transportation of plant products from Ukraine to Spain was carried out, on the basis of which the laws of distribution of random variables and sampling parameters were determined. A full-factorial experimental design was developed and a corresponding series of numerical calculations were performed. Based on the results obtained, regression mathematical models were constructed for two alternative delivery technologies, characterized by high indicators of adequacy and statistical significance. The comparative analysis made it possible to establish that the use of container technology ensures a sustainable reduction in total costs in the entire range of changes in input parameters. The average economic effect of implementing the proposed approach is over 24 thousand hryvnias per consignment of cargo, and the maximum exceeds 42 thousand hryvnias. The practical value of the results lies in the possibility of using the developed mathematical models and methodological approach in the activities of freight forwarding and logistics companies to optimize international transportation processes, justify management decisions and form rational logistics schemes. The proposed solutions can be integrated into decision support systems and digital traffic flow management platforms.

Keywords: mixed transport, plant products, container, model, regression analysis.

Cherepaha Oleksandr – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport Technologies, <https://orcid.org/0009-0004-6129-1945>, e-mail: a.cherepaha@tek-europa.com.ua

Halushchak Dmytro – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, <https://orcid.org/0000-0001-9752-9821>, e-mail: galuschak.d@gmail.com

Barmina Darya – Student of the Faculty of Transport Systems, <https://orcid.org/0009-0008-2991-0741>, e-mail: barminadasha2020@gmail.com

Kolisnyk Olena – Student of the Faculty of Transport Systems, <https://orcid.org/0009-0009-5045-3060>, e-mail: tamaravvik@gmail.com