

«Моделювання транспортної логістики зернового експорту в умовах невизначеності»

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЛОГІСТИКИ ТА ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ЗЕРНОВОГО ЕКСПОРТУ	13
1.1 Визначення логістики та її основні завдання.....	13
1.2 Особливості логістики у зерновому секторі	24
Висновки до першого розділу	30
2. АНАЛІЗ ТА ПОБУДОВА МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ ЗЕРНОВОГО ЕКСПОРТУ	32
2.1 Стан логістики зернового експорту в Україні в умовах сьогодення	32
2.2 Аналіз підходів до моделювання транспортної логістики експорту зерна.....	43
2.3 Дослідження моделей транспортної логістики перевезень зерна.....	53
Висновки до другого розділу.....	74
3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕЛІ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	76
3.1 Обґрунтування чинників впливу на економіко-математичну модель.....	76
3.2 Економіко-математичне моделювання багатоетапного транспортування експорту зерна	81
3.3 Аналіз результатів моделювання та прогнозування перевезення експорту кукурудзи.....	84
Висновки до третього розділу	93
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97
ДОДАТКИ.....	103

ВСТУП

Актуальність теми роботи. 24 лютого 2022 року став переломним моментом для України через початок повномасштабної агресії. Транспортний колапс, що спричинив зупинку авіаперевезень, блокування портів та затримки на залізниці, поставив країну перед серйозними викликами. В результаті, основні логістичні потоки були перенаправлені на гуманітарні вантажі для задоволення потреб населення та армії. У зв'язку з цим виникла необхідність в оптимізації транспортної логістики, яка стала критично важливою для забезпечення функціонування країни в умовах кризи.

До війни морський шлях складав 95% експорту. Однак після блокування більшості портів внаслідок війни, пропускна здатність була обмежена, що спричинило зупинку понад 20 мільйонів тонн зерна та олійних культур. Вартість логістичних послуг зросла в 2-3 рази через підвищення тарифів, більшу відстань доставки та інфляцію.

Основні завдання для логістичних компаній полягали в швидкому розробленні нових маршрутів, безпеці перевезень та оптимізації витрат. Моделювання транспортної логістики зернового експорту стало важливим для підвищення ефективності перевезень, з урахуванням усіх чинників.

Мета дослідження — вдосконалення моделей логістики зернового експорту з урахуванням невизначеності та розробка рекомендацій для оптимізації процесу, стабільності ланцюга постачання та зниження впливу невизначеності.

Завдання дослідження:

- аналіз літератури щодо транспортної логістики та експортних процесів;
- дослідження етапів транспортного ланцюга зернового експорту;
- визначення факторів, що впливають на логістику зернових;
- оптимізація ланцюга постачання та розробка стратегії;

- створення моделей для вибору оптимальних маршрутів та транспортних засобів;
- оцінка впливу логістики на вартість експорту та розробка збалансованих економічних стратегій;
- розробка адаптивних сценаріїв для управління логістикою в умовах змін.

Об'єкт дослідження – процес реалізації транспортної логістики зернового експорту.

Предмет дослідження – теоретичні основи та економіко-математичне моделювання організації перевезення зерна на експорт.
База дослідження: ТОВ «Консалт Агро».

Методи дослідження. У процесі дослідження було застосовано кілька методів. Спочатку проведено літературний огляд, що дозволив проаналізувати наявні публікації та дослідження з теми транспортної логістики, моделювання та управління невизначеністю. Далі здійснено емпіричні дослідження, під час яких були зібрані конкретні дані про транспортну логістику зернового експорту, зокрема інформація щодо маршрутів, обсягів вантажів та термінів поставок. Для оптимізації процесів було використано математичне моделювання, що дозволило розробити моделі перевезень із врахуванням факторів невизначеності. Окрім того, застосовувалося комп'ютерне моделювання, що дало змогу створити та проаналізувати моделі логістичних процесів з використанням спеціалізованих програмних засобів.

Наукова новизна дослідження.

Практичне значення результатів полягає у можливості їх застосування для оптимізації витрат підприємств, що займаються транспортною логістикою, а також для прийняття рішень щодо ефективності перевезень і вирішення ситуативних завдань при транспортуванні вантажів.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ ЗЕРНОВОГО ЕКСПОРТУ

1.1 Поняття логістики та її основні завдання

Логістика — це процес планування та реалізації ефективного транспортування й зберігання товарів від виробника до споживача з метою своєчасного та економічного задоволення потреб клієнтів.

Спочатку логістика стосувалася переміщення військових ресурсів, але сьогодні цей термін застосовується до всіх аспектів комерційного ланцюга постачання. Вона охоплює управління матеріальними ресурсами під час придбання, виробництва, транспортування та зберігання.

Науковці трактують поняття «логістика» по-різному. Одні визначають її як науку з оптимізації коопераційних відносин, інші акцентують увагу на виробничих процесах, включаючи планування завантаження обладнання [1]. Західні фахівці вважають логістику інтеграцією транспортування з виробництвом, що охоплює завантаження, розвантаження, перевезення та інформаційний супровід [1; 2].

Німецький дослідник Пфол розглядає логістику як економічний процес планування, виконання та контролю, що включає інформацію про вартість, рух і зберігання ресурсів та доставку продукції відповідно до вимог замовника. Різноманітність визначень логістики зумовлена її активним розвитком і відсутністю уніфікованих термінів [1].

У [1] автор вважає, що логістика — це комплекс стратегій і методів для ефективного управління постачанням товарів та послуг від виробника до споживача. Хоча вона асоціюється з перевезенням і зберіганням, її сфера охоплює планування, координацію та контроль усіх етапів постачання: оптимізацію запасів, транспорт, інформаційні потоки та взаємодію між учасниками ланцюга.

Сутність логістики — в інтеграції елементів ланцюга постачання в єдину злагоджену систему, що дозволяє скорочувати витрати й час доставки товарів [2]. Вона є важливою частиною стратегічного управління, допомагаючи компаніям швидко адаптуватися до ринкових змін та підвищувати конкурентоспроможність завдяки сучасним технологіям.

Інформаційне управління відіграє вирішальну роль у логістиці. Автоматизовані системи аналізу даних дозволяють прогнозувати потреби, реагувати на зміни й оптимізувати роботу ланцюга постачання. Це також сприяє екологічній ефективності, знижуючи викиди та покращуючи транспортні маршрути [2].

Гнучкість є ще одним важливим аспектом логістики: здатність змінювати маршрути, впроваджувати нові технології та адаптуватися до ринкових умов забезпечує підприємствам перевагу. У глобалізованому світі, де швидкість і точність є критично важливими, логістика відіграє ключову роль в організації та виконанні постачання товарів.

Перевагою сучасної транспортної логістики є здатність забезпечити високий рівень сервісу для клієнтів. Точність і швидкість доставки підвищують конкурентоспроможність компаній, дозволяючи ефективно управляти запасами та знижувати витрати на зберігання [2].

Інноваційні технології, такі як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та блокчейн, сприяють оптимізації логістики. Вони забезпечують відстеження вантажів у реальному часі, прогнозування ризиків і швидку реакцію на зміни в умовах доставки [2]. Ефективна логістика поєднує швидкість із сталістю, використовуючи мультимодальні та інтермодальні підходи для комбінування різних видів транспорту [1; 2].

Сталий розвиток є важливим трендом у логістиці. Використання екологічно чистих транспортних технологій та альтернативних джерел енергії допомагає зменшити викиди та впроваджувати більш відповідальні підходи до транспортування [11].

Логістичні послуги надають як великі компанії з повним спектром інфраструктури (наприклад, DHL, FedEx, UPS), так і спеціалізовані постачальники. Багато підприємств передають логістичні операції стороннім постачальникам: «3PL» (третя сторона) для окремих логістичних завдань, або «4PL» (четверта сторона) для повного аутсорсингу. Це дозволяє знизити витрати і позбутися складних логістичних процесів [17].

Транспортування відіграє центральну роль у логістиці, забезпечуючи переміщення матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції в логістичному ланцюзі. Це ключова діяльність, що включає експедицію, вантажопереробку, пакування, передачу прав на вантаж і страхування. Ефективність транспортування впливає на загальні витрати та функціонування матеріального потоку [2].

Значущість транспорту настільки велика, що його дослідження виділено в окремий напрямок — транспортну логістику. Це дозволяє оптимізувати перевезення в межах логістичних стратегій підприємств та ланцюгів постачання [11].

Роль транспорту в логістиці проявляється на двох рівнях:

1. Функціональні області логістики. Транспорт забезпечує ефективність закупівельної, виробничої та розподільчої сфер, координуючи всі етапи логістики.
2. Економічна галузь. Транспорт є окремим сектором економіки, що пропонує послуги, отримує доходи та формує прибуток.

Процес транспортування є унікальним «продуктом», що хоч і нематеріальний, але потребує матеріальних ресурсів: транспортних засобів, робочої сили та супутніх витрат.

Транспорт відіграє важливу роль у логістичній системі та економіці завдяки своїм унікальним особливостям. Одна з таких особливостей — неможливість зберігати або накопичувати транспортні послуги, тому пропускна здатність завжди обмежена доступними ресурсами. Водночас транспортні процеси супроводжуються значними витратами, пов'язаними з

переміщенням матеріальних потоків. Оптимізація цих процесів є ключовим інструментом для зниження витрат та підвищення ефективності.

Транспорт також має географічну прив'язаність до конкретних маршрутів, регіонів або інфраструктурних об'єктів, що робить його залежним від локальних умов. Саме ці фактори визначають значущість транспорту як для логістики, так і для економічного розвитку загалом.

З огляду на особливості транспортної логістики, можна виділити два основні типи транспорту за їх призначенням. Перший — це транспорт загального користування, який задовольняє потреби різних галузей господарства та населення. До нього належать залізничний, автомобільний, водний (морський і річковий), повітряний та трубопровідний транспорт. Основне завдання цього виду транспорту — забезпечення масштабних перевезень вантажів і пасажирів на різні відстані.

Таким чином, транспортна логістика є невіддільною частиною ефективного управління матеріальними потоками та стратегічного розвитку підприємств.

Транспорт незагального користування охоплює внутрішньовиробничий транспорт та транспортні засоби, що належать підприємствам, які не є транспортними. Цей транспорт є важливою частиною виробничих процесів, оскільки забезпечує переміщення матеріалів у межах підприємства та пов'язаний із завданнями виробництва, закупівель і розподілу. Організація такого транспорту залежить від особливостей внутрішньовиробничої логістики та потреб конкретного виробництва.

Завдання транспортної логістики для транспорту загального користування включають кілька важливих аспектів. По-перше, це вибір виду транспортного засобу, який залежить від типу вантажу, відстані та інших умов. По-друге, вибір конкретного типу транспортного засобу, наприклад, певного автомобіля, судна чи поїзда.

Також значною задачею є оптимізація процесів змішаних перевезень, коли поєднуються різні види транспорту для підвищення ефективності

доставки. Важливим є й визначення оптимальних маршрутів для зменшення часу перевезень та витрат. До цього додається технологічна інтеграція транспортних та складських процесів для забезпечення безперервного переходу між етапами логістики.

Ефективна координація транспортних і виробничих процесів також відіграє важливу роль, дозволяючи поєднувати транспортні операції з виробничими завданнями. Це допомагає підвищити ефективність усієї логістичної мережі.

Таким чином, на нашу думку, логістика — це складний процес управління, що охоплює весь життєвий цикл продукції та послуг, від постачання сировини до доставки кінцевому споживачу. Основна мета логістичного менеджменту полягає в забезпеченні безперервності цього циклу та оптимізації всіх його складових для досягнення максимальної ефективності.

Перший етап логістичного циклу — постачання сировини та матеріалів — визначає ефективність подальших процесів. Важливо забезпечити стабільне постачання, оптимізувати ланцюг постачання та вибрати найкращих постачальників. Крім того, необхідно враховувати ризики та розвивати стратегії для їхнього управління, щоб забезпечити стабільність постачання.

Процес виробництва, що є частиною логістичної системи, впливає на якість та кількість готової продукції. Інтеграція виробництва в логістичний ланцюг передбачає вдосконалення технологій, оптимізацію процесів та впровадження інновацій для підвищення продуктивності і зниження витрат.

Транспортування готової продукції є важливою фазою логістики. Вибір оптимальних маршрутів, ефективне управління транспортом та врахування особливостей різних видів транспорту дозволяють забезпечити швидкість доставки та економію витрат.

Сучасні технології значно покращують транспортні системи. Використання GPS, автоматизованих систем моніторингу та управління

транспортom дає можливість контролювати рух транспорту в реальному часі та оптимізувати його.

Ефективне зберігання та управління запасами є важливими аспектами в логістиці. Оптимізація складського простору, правильне розміщення товарів і використання сучасних систем управління запасами дозволяють уникнути зайвих витрат і забезпечити постачання за вимогою.

Автоматизовані системи зберігання та управління запасами, основані на штучному інтелекті та аналізі даних, дозволяють автоматизувати процеси прийому, зберігання та відвантаження товарів, а також максимально ефективно використовувати складські площі.

Інформаційне управління є невід'ємною частиною логістики. Використання інформаційних технологій для моніторингу, аналізу та управління даними забезпечує ефективність всього ланцюга постачання.

Сучасні інформаційні технології включають в себе ERP-системи, автоматизацію логістичних процесів та електронні системи обміну даними (EDI), що спрощують обробку і обмін інформацією між учасниками ланцюга постачання.

Динамічні зміни в бізнес-середовищі, спричинені глобалізацією, технологічними інноваціями та соціальними змінами, вимагають трансформацій в логістичних процесах для адаптації до нових умов.

Глобалізація вимагає нових стратегій логістики для оптимізації міжнародних ланцюгів постачання, ефективного транспортування через кордони, дотримання міжнародних стандартів та вирішення митних питань.

Зростаюча екологічна свідомість змінює логістичні стратегії. Зелена логістика включає заходи з енергоефективності, використання екологічних транспортних засобів та відновлюваних джерел енергії.

Швидкий розвиток інформаційних технологій відкриває нові можливості для аналізу даних, прогнозування попиту та оптимізації логістичних процесів.

Необхідність використання логістики в сучасних підприємствах пояснюється зниженням собівартості продукції, підвищенням якості постачань, забезпеченням конкурентної переваги та ефективною організацією руху сировини, а також науково-технічним прогресом і комп'ютеризацією управлінських процесів. Водночас розширюється сфера логістики шляхом дослідження нових об'єктів, таких як енергетичні, трудові та інші потоки в економічній системі.

Логістика відіграє важливу роль у розвитку підприємства, допомагаючи подолати наслідки фінансово-економічних криз. Вона є не тільки наукою, але й галуззю діяльності, яка охоплює різні аспекти виробництва, розподілу та обміну продукцією. Впровадження логістики в інноваційно-інвестиційну сферу дозволяє ефективніше використовувати ресурси, що позитивно впливає на кінцевий результат діяльності підприємства.

Ефективність компаній значною мірою залежить від розвитку логістичної інфраструктури. Професійні логістичні експерти наголошують, що для досягнення високих доходів необхідно мати хороше обладнання та ефективно його використовувати.

Новий підхід до логістики базується на створенні та управлінні ефективною логістичною системою, що враховує економічні компроміси та оптимізацію ресурсів в умовах експлуатації. Це дозволяє компаніям отримувати найбільший ефект від логістичних процесів.

Логістика є комплексним методом розробки стратегій та оптимізації ділових відносин, орієнтуючись на економічні компроміси між компаніями та видами діяльності. Спеціаліст Х. Стабенау підкреслює, що застосування логістичних методів може значно знизити витрати на транспортування та зберігання, а також зменшити загальну собівартість, що сприяє збільшенню прибутку.

В Україні необхідно створити широку мережу логістичних організацій, які допоможуть підприємствам відновити економічні відносини після криз та

оптимізувати виробничі процеси. Такі організації зможуть швидко усунути перешкоди в економічних відносинах і відновити ритм виробництва.

Система управління матеріальними потоками, що існує в Україні, є більш традиційною. Однак сьогодні логістика є важливою частиною конкурентної стратегії компаній, зосередженою на економії трудових ресурсів. Вона представляє собою системний підхід до організації руху матеріальних, інформаційних, фінансових і трудових ресурсів через потоки. Логістика також включає в себе алгоритм оптимізації руху матеріальних потоків і організацію їхнього ефективного використання на всіх етапах виробничого процесу, а також закупівлю, зберігання та доставку сировини, продукції й товарів споживачам.

Концепція логістики стає все популярнішою серед керівників, оскільки вона дозволяє знижувати витрати і собівартість виробництва. Логістика передбачає інтеграцію ресурсів та стратегії виробництва, що дає змогу гарантувати необхідний тип запасів у потрібному місці та часі, забезпечити стабільність транспорту та своєчасну доставку відповідно до виробничих вимог. Також важливою є синхронізація складської та транспортної діяльності, що зменшує ресурсоємність і оптимізує запаси.

Впровадження логістики на підприємствах дає можливість налагодити партнерські відносини, скоротити простой обладнання, швидко реагувати на зміни на ринку, підвищити якість продукції, зменшити втрати матеріалів і покращити ефективність виробництва. Це має особливе значення для України, оскільки її економіка орієнтована на експорт, а застосування логістичних методів у зовнішньоекономічних відносинах є важливим і перспективним напрямком.

Для ефективного здійснення зовнішньоекономічної діяльності необхідно застосовувати логістичний системний підхід, що сприяє підвищенню ефективності цієї діяльності та розвитку національної економіки. Використання логістики дозволяє спрямувати асортимент продукції на відповідний ринок, збільшити доходи, підвищити

конкурентоспроможність, пришвидшити економічне зростання, а також знизити собівартість продукції та покращити ефективність її реалізації. Це сприяє оптимальному використанню фінансових ресурсів, максимізації прибутку та укладенню ефективних угод з урахуванням своєчасного ціноутворення.

Розвиток логістики стимулює підприємства до швидкої реакції на зміни кон'юнктури ринку та адаптації до нових умов. Це приводить до створення ефективних логістичних систем на підприємствах. Однак з розвитком інтеграційних процесів у глобальній економіці змінюється основне призначення логістики, що відкриває нові можливості для міжнародних логістичних систем, особливо у контексті ввезення товарів через національні кордони. Окрім цього, логістика повинна активно використовуватися в аграрному секторі економіки України, що є важливим для розвитку цієї галузі.

1.2 Особливості та тенденції логістики на ринку зерна

Зерновий сектор є важливою частиною економіки, що забезпечує продовольчу безпеку і сприяє економічному розвитку. У цьому контексті логістика відіграє ключову роль, ефективно керуючи переміщенням та зберіганням зернових культур від поля до кінцевого споживача. Зернова логістика постійно змінюється під впливом різноманітних факторів, таких як погодні умови та глобальні економічні тенденції. Такі зміни можуть суттєво вплинути на врожайність і, відповідно, на обсяги перевезень та складування зерна, а також на попит і пропозицію на ринку.

Зростання світового населення і зміни в харчових звичках підвищують попит на зернові продукти, що ставить перед зерновою логістикою завдання швидкого і надійного постачання продукції на ринки споживання. У зв'язку з цим, система логістики повинна бути гнучкою і здатною адаптуватися до нових споживчих уподобань.

Основними викликами для зернової логістики є ефективне транспортування, зберігання зерна, а також забезпечення якості продукції. Великі обсяги зернових вантажів, потреба в спеціалізованому обладнанні для транспортування і складських площах роблять логістику складною. Інноваційні рішення в зберіганні та управлінні запасами допомагають забезпечити якість та безпеку зернових продуктів, а також швидко реагувати на зміни на ринку.

Для подолання викликів, які стоять перед сучасною зерною логістикою, активно впроваджуються інноваційні технології та методи. Одним з важливих кроків є використання систем контролю та управління, що дозволяють у реальному часі відстежувати рух зерна та моніторити умови транспортування та зберігання. Це дає змогу оперативно реагувати на будь-які зміни та зберігати високий рівень ефективності у процесі переміщення зернових культур.

Особлива увага приділяється оптимізації складських площ. Завдяки автоматизованим системам та технологіям «розумного» складу можна максимально ефективно використовувати наявні площі, зменшувати втрати продукції та створювати ідеальні умови для довготривалого зберігання зерна, що позитивно впливає на загальну ефективність логістичних процесів.

Важливою складовою є також інтеграція екологічно чистих технологій у сферу транспортування. Використання автономних транспортних засобів на альтернативних джерелах енергії дозволяє знизити вуглецевий слід та зменшити витрати на транспортування, що робить процес більш сталим і економічно вигідним.

Моделювання транспортної логістики експорту зерна в умовах невизначеності стає важливим інструментом для оптимізації перевезень та збереження ефективності при непередбачуваних факторах, таких як погодні умови, цінові коливання чи технічні поломки. Крім того, в умовах війни забезпечення безперервного постачання зерна набуває особливої важливості, оскільки безперервність логістичних ланцюгів має вирішальне значення для

продовольчої безпеки та стабільності економіки. Моделювання в таких умовах дозволяє розробити стратегії для збереження надійності поставок навіть в умовах бойових дій та уразливості інфраструктури.

Для розробки ефективної логістичної системи, яка відповідає конкретним завданням, важливо враховувати різноманітні фактори, що впливають на її проєктування та функціонування. Інформація, яку слід враховувати при проєктуванні логістичної системи, поділяється на кілька основних категорій:

1. Ринкова інформація:

- Композиція та масштаб ринку: аналіз характеристик ринку, його розмірів, стабільності та динаміки розвитку.
- Кількість і характеристики покупців: дослідження попиту на продукцію, визначення цільових сегментів клієнтів.
- Місцезнаходження клієнтів: для оптимізації маршрутів транспортування і складування важливо враховувати географічне розташування клієнтів.
- Чутливість до попиту: аналіз сезонних коливань, прогнозування змін попиту на продукцію.
- Економічна ситуація в регіоні: важливим фактором є стан економіки, який може вплинути на попит та стратегію логістичних рішень.
- Законодавство та політика державного регулювання: вплив на бізнес законодавчих змін і регуляцій в галузі транспорту, зберігання та торгівлі.

2. Інформація про виробництво:

- Потреби в матеріальних ресурсах: оцінка необхідних матеріалів, обладнання та потужностей для задоволення виробничих вимог.
- Ймовірність спільного постачання: визначення можливості об'єднання постачань для зниження витрат та підвищення ефективності.
- Способи виробництва: оцінка виробничих процесів і визначення, який з них є найбільш підходящим для конкретних умов.
- Завантаження виробничих потужностей: аналіз рівня завантаження

виробничих потужностей для оптимізації використання ресурсів.

- Обсяг виробництва та тривалість циклів: визначення масштабів виробництва і часу, необхідного для його здійснення.

3. Інформація про матеріальний потік:

- Характеристики матеріального потоку: аналіз руху матеріалів та товарів, оцінка обсягів і швидкості переміщення.

- Відомості про вантаж: характеристики вантажу, що транспортується, його вимоги щодо зберігання і транспортування.

- Прийоми праці під час руху: ефективність застосовуваних методів транспортування та складування.

- Термін доставки: визначення оптимальних термінів доставки і вимог до швидкості транспортування.

4. Інформація про потік даних:

- Опис характеристик інформаційного потоку: аналіз стану даних, що передаються в системі, включаючи їх обсяг, швидкість і якість.

- Інформаційна система: оцінка наявної системи для обробки та збереження даних.

- Методи обробки та захисту даних: вивчення засобів для обробки, зберігання та захисту інформації в логістичних процесах.

- Методи збору та поширення інформації: вивчення методів отримання та передачі даних у системі.

- Здатність до зберігання та накопичення інформації: оцінка можливостей для тривалого збереження і доступу до важливої інформації.

Оскільки проектування логістичної системи є складним процесом, важливо розглядати всі ці фактори в комплексі. Для прогнозування та дослідження поведінки системи використовуються економіко-математичні моделі, які дозволяють представити логістичні процеси у вигляді математичних структур і оптимізувати управлінські рішення на основі цього аналізу [21].

При розробці моделі логістичної системи важливо враховувати її

здатність ефективно замінювати реальну систему для дослідження варіантів її властивостей і поведінки. Моделювання логістичної системи дозволяє здійснювати ефективне планування і прогнозування, забезпечуючи розуміння потенційних варіантів розвитку та удосконалення.

До моделі логістичної системи існують такі вимоги:

По перше, відповідність поведінки, структури та функцій моделі реальній логістичній системі: Модель повинна максимально точно відображати роботу реальної системи, зберігаючи основні елементи і процеси, що відбуваються в логістичній діяльності.

По друге, точність параметрів: Відхилення параметрів моделі від реальної системи не повинні перевищувати допустимі межі, щоб забезпечити надійність отриманих результатів.

По третє, виявлення нових аспектів системи: Модель повинна дозволяти виявити нові особливості, які не були враховані в початкових даних, що використовуються для її створення, тим самим розширюючи можливості для аналізу та вдосконалення.

Також придатність моделі. Модель повинна бути більш ефективною та зручнішою для використання, ніж реальна система, з урахуванням її варіативності та здатності до адаптації до різних умов.

Моделювання логістичних систем надає можливості проектування логістичної системи. Моделювання дозволяє провести попереднє дослідження до реального впровадження системи для оцінки її ефективності і доцільності. Дослідження можна проводити без втручання в реальну систему, можна оцінювати варіанти без ризику для реальної логістичної системи, що дає змогу уникнути непередбачених наслідків.

Також моделювання дозволяє визначити оптимальні параметри, такі як матеріальні потоки, без порушення роботи реальної системи.

До факторів, що впливають на розробку моделі відносять:

1. Склад предметів та їх розташування. Визначення елементів, що складають логістичну систему, і їх взаємодія.

2. Кількість і розташування пунктів зберігання та передачі. Розрахунок оптимальної кількості складів та інших точок логістичної інфраструктури.

3. Моделі транспорту. Вибір і оптимізація транспортних засобів для забезпечення ефективного переміщення товарів.

4. Зв'язок. Визначення каналу та методів комунікації між елементами системи.

5. Інформаційна система. Створення моделі інформаційних потоків для обробки і передачі даних в реальному часі.

У теорії моделювання розрізняють такі типи моделей логістичних систем:

- Ізоморфні моделі. Повністю відповідають реальній системі і можуть бути використані як точний аналог. Їх побудова є складною, оскільки для цього потрібно повне розуміння і точне відтворення всіх властивостей реальної системи.

- Гомоморфні моделі. Хоча вони не є точними копіями реальних систем, вони можуть відображати їх основні властивості і процеси, пропонуючи спрощені, але ефективні методи для аналізу.

- Матеріальні моделі. Моделі, що мають фізичну форму і можуть бути використані для симуляції реальних процесів (наприклад, макети або прототипи).

- Абстрактно-концептуальні моделі. Зазвичай використовуються для опису та аналізу систем на основі символів, знаків і числових даних, що можуть бути представлені в математичних або алгоритмічних формах. Наприклад, лінгвістичні або символічні моделі, які чітко визначають значення кожного символу в контексті моделювання.

Математичне моделювання є важливим інструментом для розробки та експлуатації логістичних систем, оскільки дозволяє створювати ефективні інструменти для оптимізації процесів, управління ресурсами та прогнозування результатів. Як вже зазначено, математичне моделювання ділиться на два основних підходи: аналітичне та імітаційне.

Аналітичні моделі використовуються для опису структури та поведінки об'єктів логістичної системи в абстрактній формі. Вони базуються на математичних рівняннях і теоретичних підходах, що дозволяють отримувати загальні принципи функціонування системи. Однак аналітичні моделі мають свої обмеження. Оскільки ці моделі часто застосовуються до простих систем і компонентів, вони можуть вимагати значних спрощень, що обмежує їх застосування для складних реальних ситуацій. Поведінка об'єкта моделюється на основі теоретичних підходів, перевірка точності моделі може бути складною і вимагати уточнень під час її застосування.

Зазвичай аналітичні методи використовуються для попереднього опису поведінки системи, коли важливо мати загальне уявлення про її структуру та основні параметри. Ці моделі можуть бути теоретично розроблені або уточнені за допомогою експериментів.

Імітаційне моделювання є більш гнучким підходом, який дозволяє створити віртуальну копію логістичної системи на комп'ютері. Цей тип моделювання передбачає перехід з одного стану в інший за визначеними правилами, і моделі можуть бути адаптовані до нових умов. Імітаційні моделі мають низку переваг:

- Імітаційне моделювання дозволяє працювати з великими і складними системами, враховувати різноманітні сценарії та варіанти розвитку подій.
- Ці моделі дають змогу протестувати різні варіанти розвитку системи без необхідності втручатися в реальну роботу логістичних процесів.
- Імітаційні моделі можуть бути кориговані та адаптовані на основі нових даних і змін умов, що забезпечує високу точність прогнозування.

Імітаційні моделі використовуються для прогнозування роботи логістичних систем: Моделювання може допомогти передбачити, як система буде працювати в різних умовах, що є важливим для планування та оцінки ефективності; планування та розгортання підприємств.

За допомогою таких моделей можна оптимізувати розподіл ресурсів, створення складів, транспортні маршрути тощо.

Імітаційні моделі є дуже ефективними для тестування та перевірки різних варіантів структурних змін і сценаріїв в умовах, коли реальне тестування може бути складним або дорогим.

Математичне моделювання дає змогу покращити планування, організацію та контроль в логістичних системах, а також знижує ймовірність помилок, дозволяючи визначати оптимальні стратегії для транспортування та зберігання товарів; збільшувати ефективність використання ресурсів; підвищувати гнучкість системи до змін зовнішніх умов (наприклад, зміни в попиті, порушення ланцюгів постачання тощо).

Отже, математичні моделі, як аналітичні, так і імітаційні, є потужним інструментом для розробки та вдосконалення логістичних систем, сприяючи покращенню процесів планування, управління та прогнозування.

Висновки до першого розділу

1. Транспортна логістика — це комплекс стратегій і методів, орієнтованих на максимізацію ефективності управління постачанням товарів та послуг від виробника до кінцевого споживача. У першому розділі було досліджено поняття логістики, розглянуто різноманітні терміни і підходи до визначення логістичних систем. Це допомагає краще зрозуміти роль та значення транспортної логістики в контексті загальної системи логістики, а також її важливість у функціонуванні сучасних економік.

2. Логістика в інноваційно-інвестиційній сфері дозволяє компаніям ефективніше використовувати свої ресурси, що прямо впливає на кінцевий результат діяльності. Це є ключовою метою будь-якої компанії, яка прагне підвищити свою ефективність і конкурентоспроможність на ринку. Впровадження логістичних технологій у бізнес-процеси дозволяє значно оптимізувати витрати, покращити якість обслуговування клієнтів і забезпечити більш гнучке реагування на зміни в зовнішньому середовищі.

3. У висновках дослідження логістики зернового сектору зазначено, що

глибоке розуміння внутрішньої координації і взаємодії компонентів логістичного ланцюга є критичним для успішного розвитку цієї галузі. Зерновий сектор, як складова частина глобальної логістичної системи, має значний вплив на ефективність виробництва та постачання. Висновки підкреслюють, що здатність цього сектору адаптуватися до змін в економічному середовищі та оперативно реагувати на зовнішні виклики є важливим фактором його стійкості і розвитку.

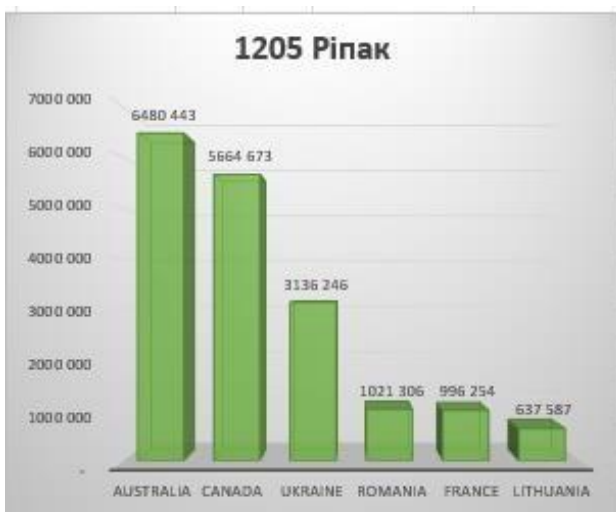
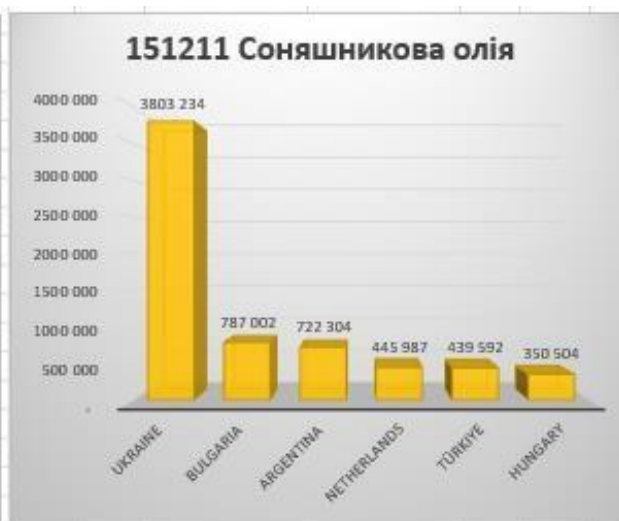
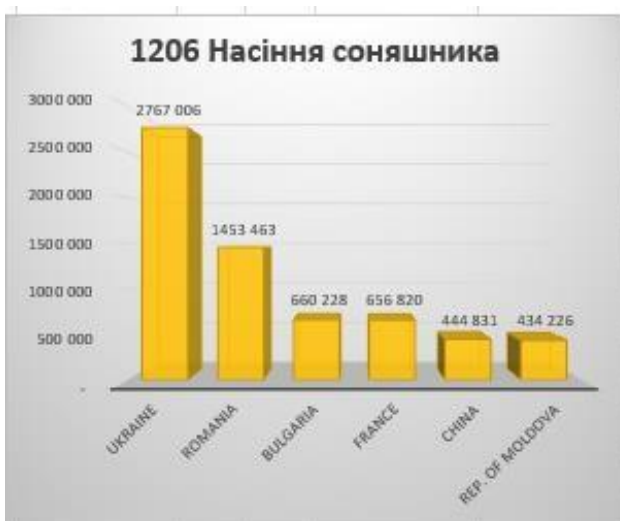
4. Аналіз основних елементів транспортної логістики показав, що для підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств необхідний систематичний підхід до планування та оптимізації різних ланок транспортного процесу. Вивчення таких складових, як транспортування, складське господарство та інвентаризація, дозволяє виявити ключові фактори, що впливають на функціонування логістичних систем. Важливо зазначити, що в умовах глобалізації правильна організація транспортної логістики може стати значною стратегічною перевагою. Це вимагає не лише оптимізації окремих елементів системи, але й їх інтеграції в єдину динамічну структуру для досягнення високої оперативної ефективності.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ ЗЕРНОВОГО ЕКСПОРТУ

2.1. Економічний аналіз логістики зернового експорту в Україні

Питання транспортної логістики завжди актуальне для України завдяки її вигідному геополітичному розташуванню. Раніше наша країна була важливим перехрестям торговельних шляхів, таких як "Шовковий" та "Бурштиновий", а сьогодні стикається з новими викликами та можливостями в логістичній сфері.



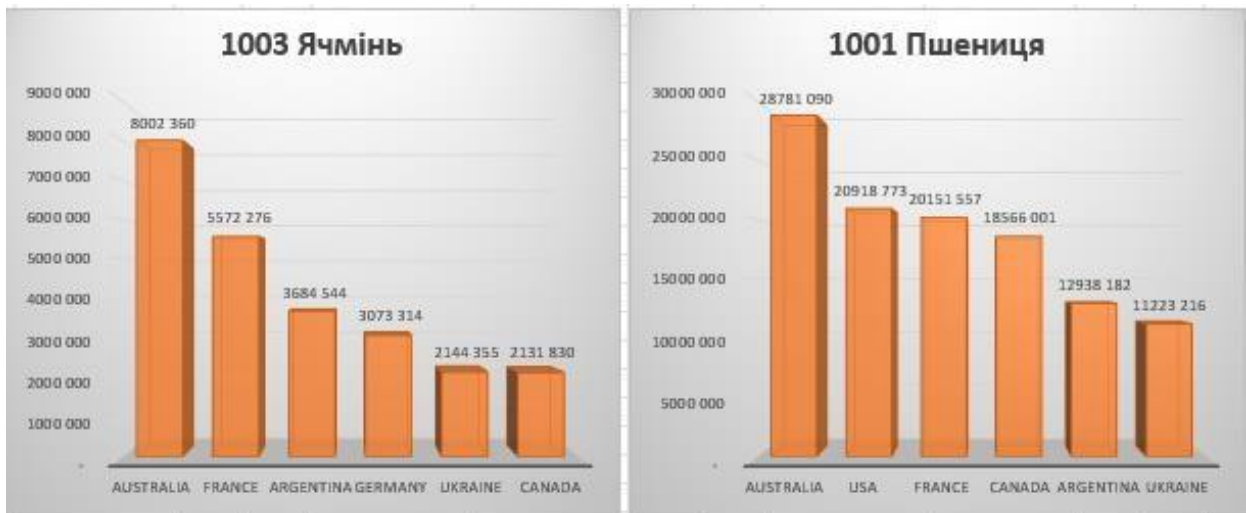


Рис. 2.1. Провідні гравці на глобальному ринку харчових продуктів за 2022-2023 врожайний рік

Джерело: Розраховано за даними [3]

За 32 роки незалежності Україна стала одним з основних гравців на глобальному ринку харчових продуктів, здобувши місце серед топ-10 виробників і експортерів зернових, олійних культур і продукції тваринництва. Ці досягнення зумовлені поєднанням природних ресурсів, трудового потенціалу та ефективної логістики.

Україна залишається важливим гравцем у транспортній логістиці завдяки добре розвиненій мережі маршрутів та сприятливим умовам для ефективного перевезення товарів. Історична інфраструктура та постійні зусилля щодо вдосконалення технологій роблять країну значущим учасником на глобальному логістичному ринку [5].

У сезоні 2020-2021 років багато регіонів світу зазнали збитків через неврожай, спричинений негодою та природними катастрофами, такими як посухи, повені та урагани. Водночас в Україні та кількох інших регіонах був зібраний вражаючий урожай, що стало важливим фактором в умовах зростаючого попиту на експорт сільськогосподарської продукції. Це, в свою чергу, підвищило необхідність вдосконалення та розширення логістичних процесів для ефективного транспортування врожаїв на міжнародні ринки [5].



Рис. 2.2. Рейтинг України у світовому виробництві на ринку зерна

Джерело: [5]

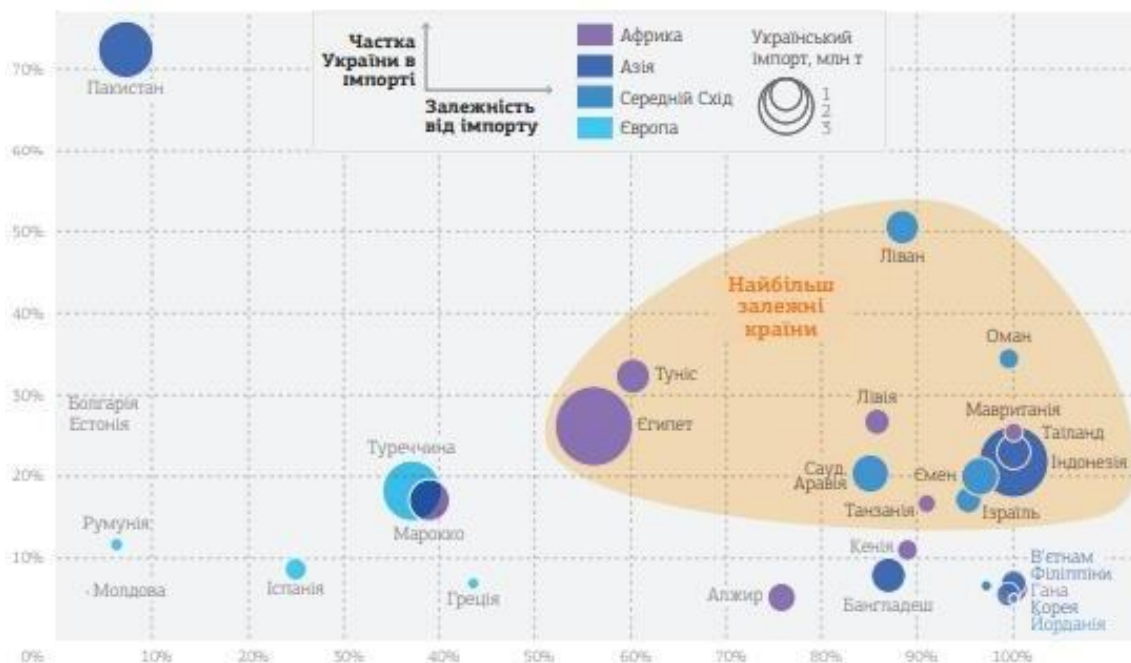
За даними Світового банку, індекс ефективності логістики (LPI) України у 2018 році становив 2,83, що вивело країну на 66-те місце у світовому рейтингу. Для порівняння, Польща зайняла 28-му позицію з індексом 3,54, а Німеччина лідирує з 4,20. З 2007 року Україна піднялася лише на 7 місць, збільшивши свій індекс на 0,28 пункту (+11%). Найкращим був показник у 2014 році — 2,98 (61 місце). Серед країн колишнього СРСР Україна поступається Естонії (3,31, 36 місце) і Литві (3,02, 54 місце)[8].

Найвищий показник України серед компонентів LPI — здатність контролювати вантаж (52 місце), а найнижчий — за якістю інфраструктури (119 місце)[8].

Вартість логістики транспортування зерна від агропідприємств до портів у 40% перевищує аналогічні послуги в Німеччині та Франції, і на 30% — у США. Втрати українських виробників через неефективну логістику оцінюються в 20 доларів США за тонну (10-15%), що в сумі становить 0,6-1,6 млрд доларів щорічно. Перевезення зерна залізницею коштує 44 долари за

тонну, з яких 34% йде на зберігання, 23% на транспортування, а 27% на навантаження. Автомобільні перевезення збільшують вартість до 41,3 доларів за тонну[8].

Ці проблеми є предметом численних досліджень, як українських, так і міжнародних експертів, що підкреслює їх важливість для української



економіки, особливо аграрного сектору.

Рис. 2.3. Графік залежності країн від українського імпорту

Джерело: [5]



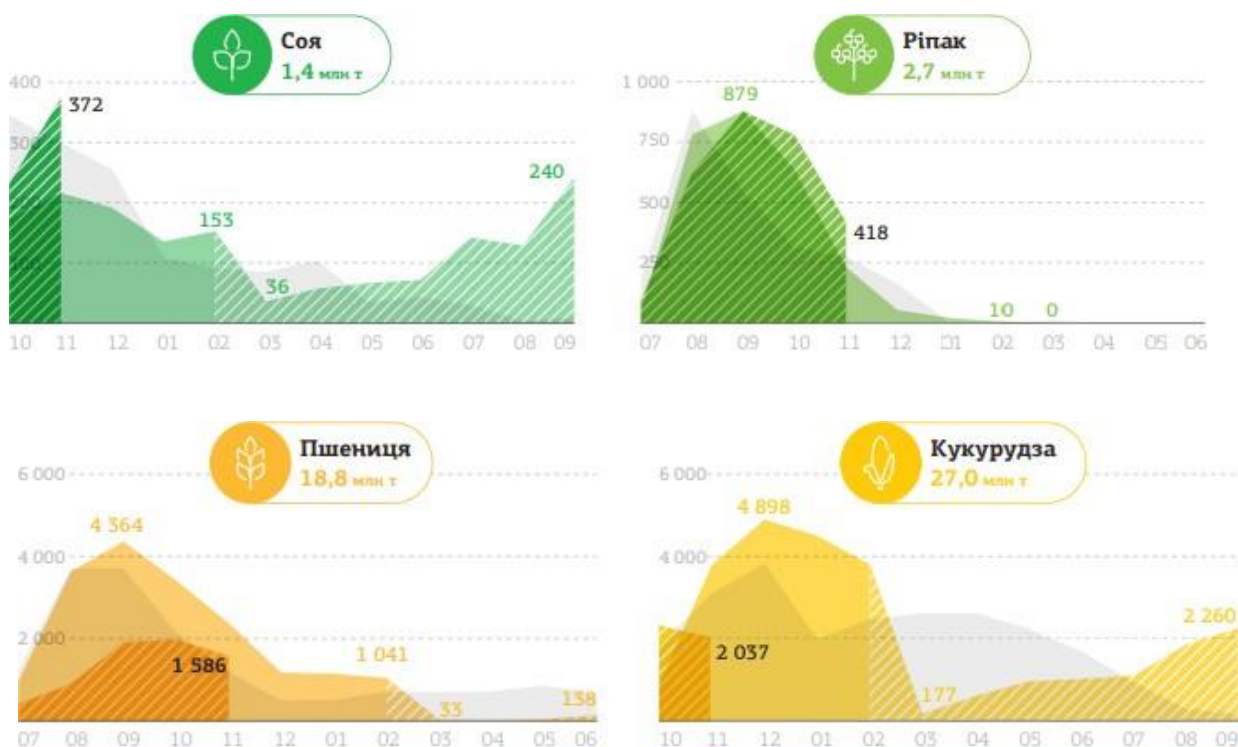


Рис. 2.4. Динаміка експорту зернової продукції, тис. т

Джерело: [5]

До початку війни 95% українського експорту йшло морським шляхом. З кінця лютого до липня 2022 року більшість портів, окрім малих Дунайських, були заблоковані, а їхня пропускна здатність не дозволяла експортувати товари в колишніх обсягах.

Попри рекордний урожай у 2021/22 маркетинговому році, який склав 108,8 мільйона тонн зернових та олійних культур, і передбачуваний рекордний обсяг експорту, війна та логістичні труднощі призупинили український експорт. Порти Чорного та Азовського морів залишалися заблокованими, що зупинило експорт понад 20 мільйонів тонн зерна та олійних культур. Протягом перших місяців війни експорт зерна скоротився до 500 тисяч тонн на місяць, порівняно з 5 мільйонами тонн до початку конфлікту. За оцінками МінАгро, Україна втрачала \$170 мільйонів щодня через заблоковані порти.

Частково проблему вдалося вирішити завдяки угоді зернового експорту, укладеній наприкінці липня 2022 року. В рамках угоди було

вирішено питання блокування українських портів, таких як «Одеса», «Чорноморськ» та «Південний». Однак, виникла нова проблема через затримки у Чорному морі, спричинені саботажом російських сил під час інспекцій суден. Середній обсяг суден, які успішно проходять інспекцію, становить лише 3-4 на добу, що є катастрофічно недостатнім.

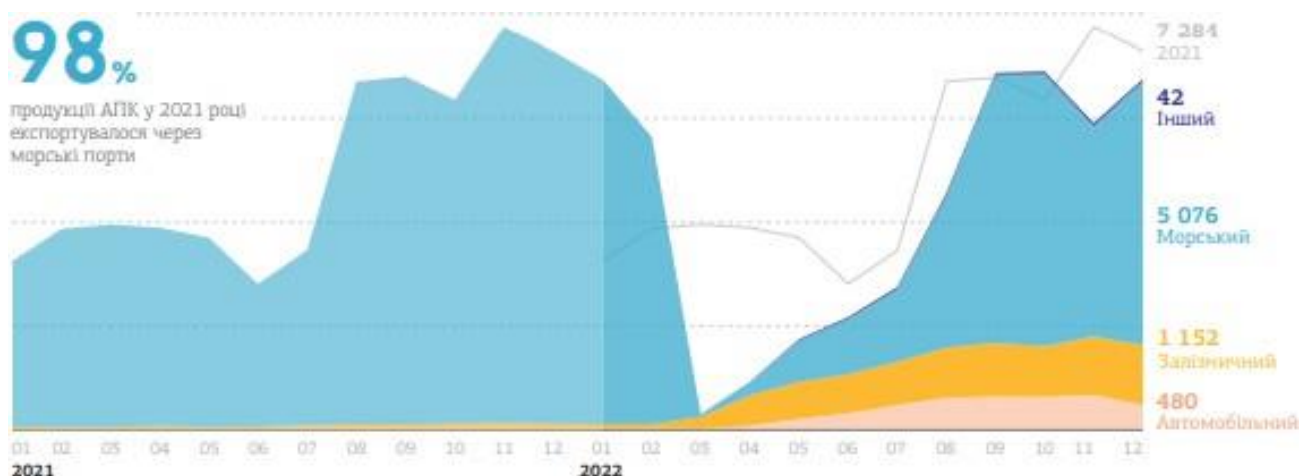


Рис. 2.5. Динаміка експорту зернової продукції за видами транспорту, тис. т.

Джерело: [5]

У 2022-2023 роках обсяги залізничних перевезень поступово зростали, однак подальший ріст обмежувався пропускною здатністю залізничних прикордонних переходів та різницею в ширині колій між Україною та ЄС. Після запуску зернових коридорів 71% всього зерна транспортувалося залізницею до портів, тоді як 29% йшло через сухопутні переходи. З листопада 2022 року обсяги перевезень зменшилися через постійні обстріли енергетичної інфраструктури, що спричиняло затримки в роботі терміналів.

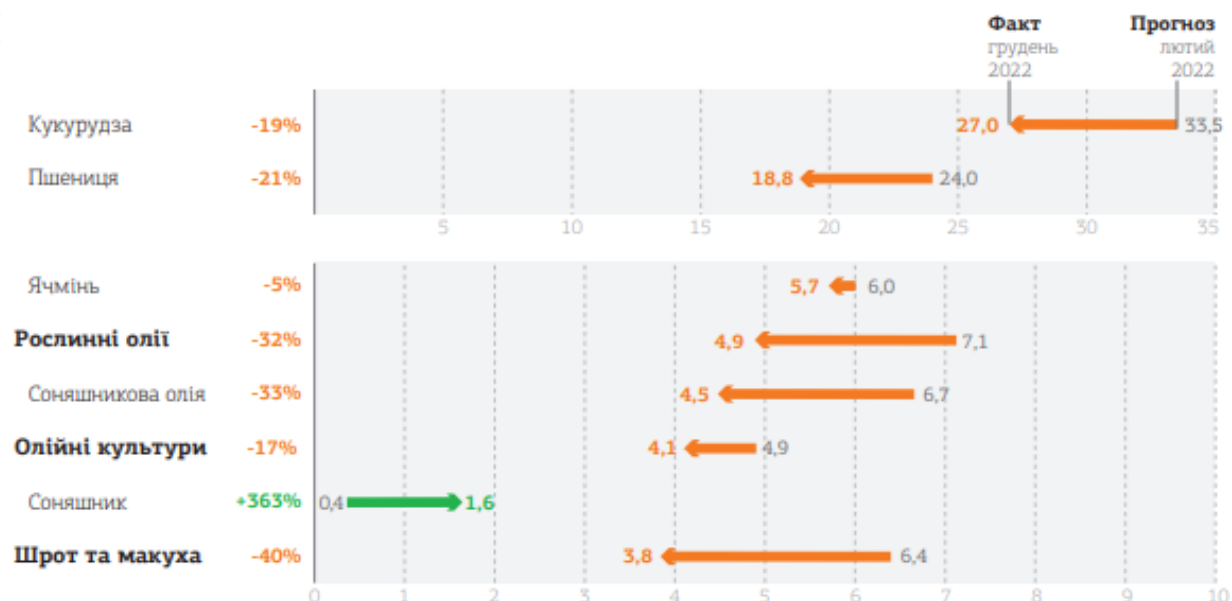


Рис. 2.6. Динаміка експортного потенціал сезону 2021/22, млн т
Джерело: [5]

З липня 2023 року експорт зерна став проблемним через припинення зернової угоди з країною-агресором. Постійні обстріли, особливо у червні-липні, призвели до призупинення вивозу зерна основними портами "Великої Одеси" та максимального використання портів у гирлі Дунаю, що тимчасово поліпшило ситуацію.



Рис. 2.7. Перевантаження у портах, млн т.
Джерело: [5]

Завдяки спільній роботі з країнами-союзниками були розроблені альтернативні маршрути для експорту зернової продукції, що значно покращило ситуацію з вивезенням зерна та його доставкою до третіх країн. У 2023 році з'явився новий виклик — закриття кордонів для українського зерна кількома сусідніми країнами. Це ембарго було введено через низькі ціни на українську сільськогосподарську продукцію, що сприяло активному викупу зерна трейдерами на європейському ринку. У відповідь Єврокомітет запровадив обмеження для захисту аграрного сектору сусідніх країн. Український уряд активно веде переговори з цими державами для вирішення питань сухопутного експорту.

Ще однією проблемою стало завершення терміну дії договору про зерновий коридор, що призвело до тимчасового припинення завантаження та вивантаження в портах "Великої Одеси". Зараз уряд працює над вирішенням цього питання, включаючи введення тимчасового коридору для перевезення вантажів як на баржах, так і на судах, що транспортують метали та інші товари. Крім того, влада співпрацює з міжнародними страховими компаніями для страхування вантажів, частково за рахунок самих компаній та частково за рахунок державного фінансування.



Рис. 2.8. Неморські шляхи перевезення експорту зернових

Джерело: [5]

У зв'язку з постійними змінами в транспортній логістиці під час війни, актуальним є розробка нових шляхів і оптимізація експорту. Оскільки Росія активно обстрілює інфраструктуру з метою ускладнити ситуацію, необхідно швидко знаходити альтернативи, крім вдосконалення систем ППО.

Україна є країною з експортно орієнтованим сільським господарством. Завдяки сприятливим природно-кліматичним умовам, родючим ґрунтам і здатності виробляти екологічно чисту продукцію, країна має потенціал подолати продовольчу нестачу. Тому успішний розвиток аграрного сектору та підвищення його конкурентоспроможності набувають особливого значення в умовах кризи.

Близько 80% території України займають сільськогосподарські угіддя, що значно перевищує показники європейських країн. Тому питання розвитку сільського господарства в Україні є надзвичайно актуальним.

У суспільстві поширена думка, що лише великі виробництва можуть бути ефективними та вести великий бізнес, тоді як фермерські господарства залишаються на другому плані. Великі підприємства часто орієнтовані на інновації, інвестиції у виробництво сировини та впровадження новітніх технологій.

В Україні існує проблема з недостатнім державним фінансуванням та занепадом вітчизняного машинобудування. Тільки 66% сільськогосподарських підприємств мають трактори, 39% — автомобілі, а 28% — сільськогосподарську техніку та причіпне обладнання[34].

Для подолання цих труднощів доцільно застосовувати логістичний підхід. Використання логістики в агропромисловості дозволить вирішити низку проблем, зокрема на макрорівні, де система включає виробників продукції, склади, переробні підприємства та споживачів. Це дозволяє знижувати витрати і забезпечує позитивні результати від кожного елементу:

- орієнтація виробництва на ринок;

- зменшення втрат через несвоєчасне збирання врожаю та недотримання умов зберігання;
- реалізація продукції за ринковими цінами;
- стабільність харчових ресурсів;
- збільшення прибутку виробників завдяки зниженню витрат, розширенню діяльності та зміні ринку;
- споживачі отримують якісну продукцію на довший термін.

Крім того, важливо розвивати логістичну систему на глобальному рівні. Експерти вказують, що Україна втратила значну частину прибутку через недостатню розвиненість логістики[33].

З огляду на це, для підвищення ефективності сільського господарства необхідно приділяти увагу не лише виробництву, а й збуту продукції, що підкреслює важливість розвитку логістики у сфері АПК. Ефективне управління матеріальними потоками є необхідною умовою для розвитку сільського господарства, яке є однією з основних галузей економіки України[34].

Для підвищення конкурентоспроможності вітчизняного зерна на світовому ринку важливо мати ефективну логістичну систему, оскільки понад 95% експорту зерна транспортується через морські порти. Проте, на сьогоднішній день логістична система України залишається відносно неефективною, що є основним ризиком для конкурентоспроможності зерна на зовнішньому ринку. Зважаючи на те, що майже 20% доходів від експорту забезпечується продажем зерна, зменшення обсягів цієї продукції на 5-10% призводить до збитків бюджету на суму близько одного мільярда доларів США.

2.2. Аналіз підходів до моделювання транспортної логістики експорту зерна

Основними методами вирішення наукових і практичних завдань у

логістиці є:

- Системний аналіз;
- Теоретична методологія дослідження;
- Кібернетичний підхід;
- Прогнозування [12].

Ці методи дозволяють прогнозувати матеріальні потоки, створювати єдину систему управління і контролю, розвивати логістичне обслуговування, оптимізувати ресурси та вирішувати інші завдання [12].

Системний аналіз логістики полягає в дослідженні основних елементів логістичної системи (продукція, потужності, постачальники, конкуренти, канали збуту, клієнти, транспортні системи, склад, екологічна діяльність підприємства) і є частиною аудиту логістики підприємства [12].

При аналізі логістичної системи важливо враховувати такі фактори:

- досягнення компромісу між різними варіантами та визначення мети аналізу;
- труднощі в отриманні точних результатів системного аналізу;
- оцінка впливу функцій компанії на логістику та виділення ключових характеристик системи.

Частковий логістичний аналіз доцільно застосовувати за певних умов, коли повний аналіз є складним або коли необхідно обробити лише певні операції в системі [12].

Підприємству достатньо зосередитися на розробці окремих складових аналізу та провести частковий логістичний аналіз. Іноді компанія сама визначає зміст аналізу, наприклад, рентабельність клієнтів, транспортні витрати чи рентабельність продукту.

Для оцінки прибутковості замовників підприємство може аналізувати транспортні шляхи доставки товарів до покупців на конкретній території. Такий аналіз включає складання транспортно-експедиційної карти, де фіксуються пробіг (витрати палива), кількість поставок, вартість доставлених вантажів і тривалість обслуговування за певний період (тижні, місяці, роки),

а також незаплановані простої. Кожному клієнту надається окрема картка. На основі отриманих даних визначається найвигідніший клієнт, який приносить найбільший прибуток при мінімальних витратах на обслуговування (час, обсяг палива тощо).

Дослідження операцій полягає в моделюванні майбутньої діяльності організації за допомогою математичних методів, таких як теорія ймовірностей, статистика, теорія ігор, математичне програмування та інші [21]. Це методологія, що використовує кількісні методи для прийняття рішень і оцінки їх ефективності в усіх сферах діяльності людини [21].

В області логістики об'єктом дослідження операцій є оптимізація логістичної системи, включаючи процес прийняття рішень. Завдання досліджень операцій у логістиці — це прийняття найкращих рішень у керованій логістичній системі, базуючись на оцінці її ефективності. Оперативне дослідження спрямоване на вивчення діяльності, орієнтованої на досягнення конкретних цілей, які можна перекласти на математичну мову, написавши відповідні формули для оцінки рівня досягнення цілей та критеріїв процесу [21].

Під діяльністю будемо розуміти закінчену дію або подія, що об'єднує кілька подій під єдиним задумом, спрямована на досягнення певної мети [21].

Таким чином, діяльність у сфері логістики включає організацію поточкових, виробничих і комерційних процесів, розробку проекту та створення логістичної системи та організацію МТЗ певного комерційного підприємства.

Ефективність визначається результатами виконання діяльності, а кожна діяльність має конкретну мету, яка є результатом її здійснення.

Процедура оперативного дослідження включає такі етапи:

1. Постановка завдання.
2. Вибір критерію ефективності або цільової функції дослідження.
3. Розробка науково-дослідного проекту.
4. Визначення потенційних технічних рішень та особливостей.

5. Вибір характеристики дослідження.
6. Проведення необхідних розрахунків.
7. Вибір оптимального рішення та перевірка його адекватності.
8. Аналіз результатів і розробка рекомендацій [21].

Під час дослідження операцій слід враховувати, що робота однієї частини логістичної системи впливає на ефективність усіх її підсистем. Дослідження застосовуються, коли існує кілька варіантів (альтернатив) для прийняття рішення. Вибір варіантів здійснюється підприємцем або керівником, а оцінка їх ефективності проводиться за допомогою оперативних методів дослідження.

При визначенні економічної ефективності логістики можна виділити такі підходи:

1. Функціональна ефективність — кількісне вираження вигоди від функціонування логістичної системи за певний період. Економічна вигода логістики вимірюється обсягом продукції, кількістю виконаних логістичних послуг, розміром прибутку, високою організацією виробництва та економією матеріальних і фінансових ресурсів [21].

Ефективність логістики можна оцінювати за такими основними параметрами:

1. Рівень запасів;
2. Час доставки матеріалів через логістичну мережу;
3. Тривалість циклу виконання замовлення, якість і рівень обслуговування;
4. Час відправки товару;
5. Час реагування на скарги клієнтів;
6. Тривалість виробничого циклу від замовлення ресурсів до виробництва продукції;
7. Ступінь використання виробничих потужностей;
8. Маневреність, адаптивність, стійкість у роботі та ін. [21].

Ефективність логістичних операцій і рішень визначається через

систему показників, що характеризують їх якість при заданому рівні витрат. Важливими факторами є рівень запасів, вимоги до них, безпека постачання, час доставки, тривалість логістичного циклу, якість послуг і використання технології бездокументного руху матеріалів [21].

Порівняння отриманих результатів дозволяє оцінити ефективність складської логістики.

Кібернетичний підхід — це метод дослідження систем, що базується на принципах кібернетики. Він включає вивчення прямих і зворотних зв'язків, управлінських процесів та сприймання елементів системи як "чорного ящика", де внутрішня структура може бути невідомою, але доступні вхідні та вихідні дані [21]. Хоча кібернетика і загальна теорія систем мають схожі риси, кібернетика використовує інформаційний підхід для дослідження управлінських процесів, виділяючи різні форми потоків інформації і методи їх обробки та передачі [21].

У рамках цього підходу управління логістичною системою розглядається як комплекс процесів обміну та трансформації інформації. Кібернетична модель логістичної системи включає три підсистеми: систему управління, об'єкт управління та систему зв'язку. Остання забезпечує передачу вхідних даних та зворотний зв'язок з об'єкта управління для коригування управлінських впливів $\{u\}$. Використання зворотного зв'язку є ключовою особливістю кібернетичних методів [21].

Прийняття рішень у логістиці часто відбувається в умовах невизначеності, і для цього використовуються стратегічні варіанти. Прогнозування вантажоперевезень ґрунтується на припущеннях для планування логістичних процесів у змінних умовах майбутнього. Прогнозування вантажів у логістиці є систематичним процесом, що включає визначення цілей, вибір шляхів їх досягнення та прогнозування наслідків. Завдяки цьому визначають рівень логістичного обслуговування, локацію центрів зберігання, кількість запасів, маршрути і оптимальні способи транспортування [43].

Логістичне планування є складним і багатогранним процесом, який потребує врахування зовнішніх умов і застосування сучасних інформаційних технологій для комплексного аналізу ринку та отриманих даних. Зокрема, економіко-математичне моделювання є важливим інструментом для прийняття обґрунтованих рішень у логістиці, включаючи планування автомобільних вантажних перевезень і загальне планування господарської діяльності підприємства [43].

Логістичні принципи для стимулювання попиту на вантажні перевезення включають:

1. Ретельне вивчення ринку транспорту та товарів, а також вимог замовників до обсягів перевезень і рівня транспортних послуг;
2. Повне задоволення транспортних потреб клієнтів;
3. Впровадження інновацій в транспортний процес на основі науково-технічного прогресу, створення оптимальних умов для виробництва, що відповідають вимогам ринку;
4. Прогнозування та планування логістичної діяльності для отримання прибутку в довгостроковій перспективі;
5. Реклама і інформування потенційних клієнтів для залучення їх до послуг транспортно-логістичних компаній.

Логістичне прогнозування дозволяє вивчати ринкове середовище підприємства, формувати стратегію логістики і оцінювати можливі результати поставок у межах стратегічного плану. Воно включає принципи:

- Принцип систематичності: створення алгоритмів для дослідження закономірностей у логістичній системі.
- Принцип наукової обґрунтованості: використання наукових інструментів і моделей для прогнозування.
- Принцип безперервності прогнозування: коригування прогнозів після отримання нової інформації.
- Принцип достатньої передбачуваності: врахування стохастичного характеру реальних логістичних процесів.

- Принцип цілеспрямованості: досягнення цілей через активну діяльність органів управління.

Основні методи прогнозування, що використовуються в логістиці, включають:

1. Експоненціальне згладжування: для прогнозування часових рядів зі складними трендами та несезонними змінними.
2. Метод ARIMA: статистичний метод для прогнозування складних трендів і сезонних рядів.
3. Метод ETS: комбінація експоненційного згладжування, ARIMA і STL для прогнозування часових рядів.
4. Метод ковзного середнього: для згладжування випадкових змін і виділення тенденцій.
5. Метод зваженого ковзного середнього: використовує різні ваги для періодів часу.
6. Методи машинного навчання: лінійна регресія, дерева рішень, випадкові ліси, нейронні мережі для прогнозування складних моделей.
7. Прогнозування на основі даних попиту клієнтів: історичні дані використовуються для прогнозування майбутніх потреб.
8. Метод експертного оцінювання: використання суджень експертів у випадках відсутності достатньо історичних даних.

Ці методи дозволяють оптимізувати логістичні процеси, покращити планування та прийняття рішень у сферах транспорту, складування і постачання.

Поєднання різних методів прогнозування є важливим для досягнення високої точності в логістичному плануванні, оскільки дозволяє враховувати різноманітні фактори, що впливають на ефективність логістичних мереж. Це стосується також експорту зерна, де для оптимізації логістичних процесів застосовуються різні методи прогнозування, зокрема метод експоненційного згладжування.

Експоненційне згладжування є статистичним методом, який широко

використовується для аналізу часових рядів і виявлення трендів та паттернів. У сфері транспортної логістики експорту зерна цей метод дозволяє підвищити точність прогнозів щодо обсягів перевезень, управління запасами і витратами. Метод працює шляхом надання більшого вагового коефіцієнта останнім значенням у часовому ряді, що дозволяє прогнозу бути чутливим до останніх змін на ринку. Завдяки цьому, система може швидко адаптуватися до змін попиту та пропозиції на експорт зерна, а також до варіацій в урожайності, що є важливим фактором для планування.

Перевагою методу є його адаптивність, оскільки він автоматично оновлює прогнози на основі нових даних, що робить його ідеальним для умов змінного середовища, характерного для сільськогосподарських ринків, де кліматичні та економічні умови можуть змінюватися швидко. Це дозволяє мінімізувати ризики і зменшити витрати, адаптуючи стратегії логістичного планування, коли з'являються нові дані.

Наприклад, у разі зміни урожайності зернових культур, метод дозволяє швидко переглянути плани перевезень та управління запасами, знижуючи вплив несподіваних змін на ефективність логістики. Водночас він допомагає оптимізувати маршрути та вибір транспортних засобів в режимі реального часу, що забезпечує гнучкість у транспортних процесах і максимальну ефективність при змінних умовах.

Ще однією перевагою є можливість виявлення сезонних коливань в попиті на зерно, що дозволяє заздалегідь підготуватися до пікових навантажень і оптимізувати роботу складських приміщень. Це дозволяє уникати переповнення або недостачі місць для зберігання, що є важливим для підтримки ефективності логістичних операцій у часи високого попиту.

Отже, метод експоненційного згладжування є важливим інструментом для управління логістикою експорту зерна, дозволяючи адаптувати стратегії до змін попиту, урожайності та інших факторів, що підвищує ефективність і знижує витрати.

Метод експоненційного згладжування має кілька переваг, серед яких

варто зазначити його здатність враховувати різноманітні зовнішні фактори, що можуть вплинути на логістичні процеси. Зокрема, зміни в тарифах на транспортні послуги, зміни в законодавстві чи політичні зміни в країні можуть суттєво вплинути на витрати на транспортування і тим самим на ефективність логістичного ланцюга. Цей метод дозволяє врахувати такі зміни в процесі прогнозування, що дає змогу логістичним компаніям розраховувати оптимальні варіанти для управління перевезеннями та забезпечення стабільності в умовах змінного ринку.

Також важливою перевагою є те, що метод допомагає підприємствам мінімізувати ризики та максимізувати прибуток за рахунок більш точного прогнозування і адаптації до змін. Логістичні менеджери, використовуючи цей метод, можуть краще планувати перевезення, адаптуватися до нових умов та забезпечувати більш ефективне управління ланцюгом поставок, що стає важливим в умовах невизначеності та швидко змінюваного ринкового середовища.

Проте, як і в будь-якому методі, є певні недоліки. Один з основних мінусів експоненційного згладжування полягає в тому, що цей метод не завжди здатний передбачити аномалії або непередбачувані зменшення перевезень, що можуть відбуватися у пікові сезони. Наприклад, у 2023-2024 урожайному сезоні через непередбачувані обставини (погіршення погодних умов, політичні чи економічні зміни) може виникнути потреба в більш точному прогнозуванні для уникнення зниження ефективності перевезень. Оскільки експоненційне згладжування використовує історичні дані за останні 3-10 років, це може привести до недостатньої чутливості до нових і непередбачуваних змін у короткостроковій перспективі.

Крім того, цей метод може мати обмеження при прогнозуванні сезонних коливань через його схильність до згладжування трендів, що може вплинути на точність прогнозів для конкретних періодів високого або низького попиту.

Таким чином, хоча експоненційне згладжування є потужним

інструментом для оптимізації логістичних процесів, його слід використовувати в поєднанні з іншими методами, щоб компенсувати його обмеження і забезпечити більш точне прогнозування в умовах змінного середовища.

Метод ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) є одним із найбільш використовуваних інструментів для моделювання та прогнозування часових рядів, і має низку переваг та недоліків, особливо в контексті транспортної логістики експорту зерна.

Переваги методу ARIMA:

1. Простота та інтерпретація: ARIMA є відносно простим у використанні, що дозволяє логістичним менеджерам швидко зрозуміти динаміку та тенденції в часових рядах. Це дозволяє отримати ясну картину розвитку ринку зерна та попиту на транспортування.

2. Ефективність для короткострокового прогнозування: Метод ARIMA добре справляється з короткостроковим прогнозуванням, що дозволяє оперативно реагувати на зміни попиту та оптимізувати логістичні процеси в реальному часі.

3. Можливість роботи з нестационарними часовими рядами: ARIMA може адаптуватися до даних, які не є стаціонарними, тобто до тих, що змінюються з часом. У транспортній логістиці зерна це важливо, оскільки попит може значно варіюватися в різні сезони року.

4. Здатність працювати з багатьма змінними: ARIMA може застосовуватися для складних моделей з кількома змінними, такими як різні аспекти інфраструктури транспорту, погода та інші фактори, що можуть впливати на ефективність логістичних процесів.

Недоліки методу ARIMA:

1. Неспроможність роботи зі слабкою сезонністю: ARIMA не є найкращим методом для прогнозування даних з слабкою сезонністю, що є важливим аспектом при плануванні перевезень зерна, оскільки сезонні коливання можуть істотно впливати на обсяги експорту.

2. Потреба в стабільних умовах: ARIMA ефективний лише в стабільних умовах, де ринкові та економічні умови не змінюються різко. Це може стати проблемою в умовах невизначеності чи економічних потрясінь, що часто трапляються в аграрному секторі.

3. Врахування тільки лінійних залежностей: ARIMA має обмеження через те, що він базується на припущенні лінійних взаємозв'язків. У випадку складних нелінійних залежностей, які можуть виникати через специфічні фактори, наприклад, зміни кліматичних умов, цей метод може бути менш ефективним.

4. Врахування тільки попередніх обставин: Оскільки ARIMA спирається тільки на історичні дані для прогнозування, він ігнорує інші можливі фактори, такі як політичні зміни, економічні потрясіння чи зміни у політиці експорту, що можуть мати важливе значення для прогнозування попиту на зерно і, відповідно, на транспортні послуги.

Порівняння з іншими методами: Метод ETS (Exponential Smoothing State), який також широко використовується в логістичних прогнозах, має перевагу в врахуванні сезонних коливань та адаптації до нових умов, однак має свої особливості й обмеження, що потрібно враховувати при його використанні.

Таким чином, використання методу ARIMA в транспортній логістиці експорту зерна може бути дуже ефективним для короткострокових прогнозів та аналізу нестационарних часових рядів, але його застосування має певні обмеження, зокрема при слабо вираженій сезонності або змінах, що виникають через політичні чи економічні фактори. З огляду на це, комбінування ARIMA з іншими методами прогнозування, наприклад, ETS чи експертними оцінками, може забезпечити більш точне і гнучке управління логістичними процесами в умовах зміни ринкової ситуації.

Плюси застосування методу ETS (Exponential Smoothing State):

1. Ефективне прогнозування: Метод ETS враховує як тренди, так і сезонність в часових рядах, що робить його особливо корисним для

прогнозування обсягів експорту зерна. Це дозволяє отримувати точні прогнози, що сприяє оптимізації процесів перевезення та складування, знижуючи ризики дефіциту чи переповнення складських приміщень.

2. Адаптивність: ETS здатний швидко адаптуватися до змін в ринкових умовах та економічних факторах, що дозволяє операторам логістики оперативно реагувати на зміну попиту та постачання. Це дає можливість знижувати ризики втрат і підвищує гнучкість логістичних процесів.

3. Оптимізація маршрутів: Точні прогнози, згенеровані методом ETS, дозволяють планувати оптимальні маршрути перевезення зерна, що забезпечує ефективне використання транспортних ресурсів та знижує витрати на транспортування.

4. Економія ресурсів: Завдяки зменшенню невизначеності в обсягах експорту, підприємства можуть знижувати запаси та витрати на управління ними. Це призводить до економії фінансових та матеріальних ресурсів.

5. Мінімізація втрат: Точні прогнози дозволяють зменшити втрати під час транспортування та зберігання зернових культур, що є ключовим для досягнення ефективної логістики.

Мінуси застосування методу ETS:

1. Чутливість до великих змін: ETS може бути чутливим до великих та несподіваних змін в умовах ринку, таких як стихійні лиха чи політичні кризи. Це може призвести до неточностей у прогнозах та знижує ефективність методу в умовах високої невизначеності.

2. Необхідність постійного оновлення: Метод ETS потребує постійного оновлення та налаштування, щоб зберігати свою ефективність. Недостатнє управління може призвести до втрати точності прогнозів, що впливає на ефективність логістики.

3. Залежність від доступності даних: Точність прогнозів за допомогою ETS значною мірою залежить від наявності та якості даних про попит, постачання та інші ключові параметри. Якщо дані неповні чи ненадійні, це може призвести до неточних прогнозів.

4. Складність впровадження: Впровадження методу ETS може бути складним завданням для компаній, які не мають достатньої експертизи в аналізі даних та статистичних методах. Це може призвести до помилок у розрахунках та неефективного використання методу.

5. Високі витрати на технології: Для успішного впровадження ETS може бути необхідна велика інвестиція в технології та програмне забезпечення, що може бути важким тягарем для малих підприємств або організацій з обмеженими ресурсами.

Одним із важливих аспектів оптимізації транспортної логістики є застосування методів згладжування на основі ковзного середнього.

Ковзне середнє — це статистичний метод для згладжування коливань у часових рядах. У логістиці, де показники, такі як обсяг вантажів чи вартість перевезень, можуть варіювати, цей метод допомагає зменшити вплив випадкових змін та виділити основні тенденції, що сприяє прийняттю більш обґрунтованих рішень.

Основний підхід до SES:

1. Вибирається початкове значення (зазвичай перше спостереження або середнє).
2. Визначається коефіцієнт згладжування альфа (α) в межах від 0 до 1.
3. Прогнозне значення обчислюється як зважена сума попереднього прогнозу та актуального значення.

$$F_t = \alpha * Y_t + (1 - \alpha) * F_{t-1} \quad (1.1)$$

де F_t — прогноз для моменту часу t ,

а Y_t — актуальне спостереження для моменту часу t [43].

Процес оновлення прогнозу триває для кожного нового періоду. Параметр згладжування α визначає вагу останнього спостереження для нового прогнозу. Якщо α велике, модель стане чутливою до останніх змін, враховуючи тільки останнє спостереження. Якщо α мале, модель звертає більше уваги на історичні дані, що зменшує чутливість до випадкових коливань.

Застосування методу в оптимізації транспортних потоків

Основним викликом у транспортній логістиці є ефективне управління потоками. Метод ковзного середнього допомагає згладжувати коливання у завантаженості транспортних мереж, що забезпечує стабільність і покращує використання ресурсів. Наприклад, для компанії, що займається перевезенням товарів, цей метод дозволяє зменшити пікові навантаження, оптимізуючи розподіл ресурсів, знижуючи час простою та вартість перевезень.

Метод ковзного середнього для прогнозування попиту

Ковзне середнє також корисне для прогнозування попиту на транспортні послуги. Коливання замовлень через сезонні зміни чи економічні фактори згладжуються, що дозволяє отримати точніші прогнози.

Сучасні технології, як штучний інтелект, машинне навчання та аналіз даних у реальному часі, відкривають нові можливості для вдосконалення методів згладжування в транспортній логістиці. Алгоритми можуть автоматично адаптуватися до змінних умов і швидко реагувати на нові тенденції.

Важливість збалансованого підходу до оптимізації інфраструктури

Оптимізація транспортної логістики потребує комплексного підходу. Методи згладжування, зокрема ковзне середнє, є лише частиною стратегії, що включає геопросторове планування, модернізацію транспорту та ефективне управління запасами для досягнення максимальних результатів.

Ковзне середнє є популярним методом прогнозування в логістиці та управлінні запасами, який використовує середнє арифметичне попередніх спостережень для створення прогнозів. Існує два основних типи ковзних середніх: проста ковзна середня (SMA) та експоненціальна ковзна середня (EMA) [43].

1. Простий ковзний середній (SMA):

Вибирається розмір вікна (кількість періодів), наприклад, n . Прогноз для кожного періоду обчислюється як середнє арифметичне значень останніх

n спостережень.

2. Експоненційний ковзний середній (ЕМА):

Вибирається параметр згладжування α , що коливається між 0 та 1 [43]. Початкове значення експоненційного ковзного середнього визначається як перше спостереження. Прогноз для кожного наступного періоду обчислюється за допомогою наступної формули:

$$F_t = \alpha * Y_t + (1 - \alpha) * F_{t-1} \quad (2.1)$$

де F_t – прогноз для моменту часу t , а Y_t – актуальне спостереження для моменту часу t [43].

Обидва методи, SMA та ЕМА, використовуються для створення прогнозів на основі історичних даних, але їх ефективність залежить від характеру даних і рівня змінності в часовому ряді. SMA робить прогнози на основі фіксованої кількості попередніх значень, тоді як ЕМА надає більше ваги останнім значенням, що робить його чутливішим до останніх змін в даних [43].

Транспортна логістика є важливим елементом процесу експорту зерна, де точність і ефективність є критичними для досягнення успіху. Завдяки впровадженню методів машинного навчання, можливості для вдосконалення прогнозування та управління значно зросли.

Для кращого розуміння методів машинного навчання важливо знати основи транспортної логістики та процесу експорту зерна. Транспортна логістика охоплює планування, виконання та контроль транспортування товарів від виробника до кінцевого споживача. У випадку експорту зерна цей процес ускладнюється через фактори, як-от великі відстані, різноманіття транспортних засобів та нестабільність ринкових умов [32].

Прогнозування в транспортній логістиці є здатністю передбачити події та визначити необхідні ресурси для їхнього вирішення. У сфері експорту зерна точне прогнозування критично важливе для оптимізації маршрутів, зменшення витрат на транспортування та запобігання

затримок [32].

Перед тим як вивчати, як методи машинного навчання можуть допомогти в транспортній логістиці експорту зерна, важливо визначити основні виклики цього сектору. Нестабільні ринкові умови, зміни погодних умов та складність координації транспортних потоків — це лише кілька факторів, що впливають на ефективність експортного процесу.

Методи машинного навчання відкривають нові можливості для вирішення складних завдань у транспортній логістиці експорту зерна. Алгоритми можуть аналізувати великі обсяги даних і робити точні прогнози, що є критично важливим за змінних умов [32].

Для вирішення специфічних завдань у транспортній логістиці експорту зерна застосовуються різні алгоритми машинного навчання. Наприклад, нейронні мережі використовуються для аналізу складних залежностей, методи кластеризації — для групування маршрутів, а алгоритми підтримки рішень — для оптимізації ресурсів [32].

Використання цих методів приносить численні переваги: зменшення витрат, підвищення точності прогнозів та можливість адаптації до змін в реальному часі. Завдяки швидкому розвитку технологій машинного навчання, транспортна логістика експорту зерна продовжить вдосконалюватися.

Впровадження нових алгоритмів, розширення обсягів аналізу даних і розвиток систем штучного інтелекту стануть ключовими напрямками в майбутньому. Методи машинного навчання мають великий потенціал для трансформації транспортної логістики експорту зерна. Їх використання може значно покращити ефективність і точність прогнозів, що призведе до зниження витрат і підвищення конкурентоспроможності на міжнародному ринку. Це робить методи машинного навчання не тільки потужним інструментом для оптимізації логістичних процесів, але й важливим фактором успіху в експортній галузі зерна.

Методи машинного навчання, зокрема Дерево Рішень і Випадковий Ліс, відіграють важливу роль у транспортній логістиці, сприяючи оптимізації процесів та зменшенню ризиків. Дерево Рішень є моделлю, яка імітує процес прийняття рішень людиною. Наприклад, коли ми вирішуємо, чи переходити вулицю на червоне або зелене світло, ми відповідаємо на низку питань: чи є машини, яка відстань до них, чи безпечно переходити тощо. Ці питання можна організувати в ієрархію, де кожен етап веде до конкретного рішення.

Такий підхід був успішно застосований в минулому, наприклад, при оцінці кредитоспроможності позичальників. Співробітник банку задає питання позичальнику і на основі відповідей приймає рішення про надання кредиту. Подібний процес використовується також у медицині для постановки діагнозу. Всі ці процеси прийняття рішень зазвичай зображаються у вигляді дерева, що має ієрархічну структуру, допомагаючи ефективно класифікувати та оптимізувати рішення.

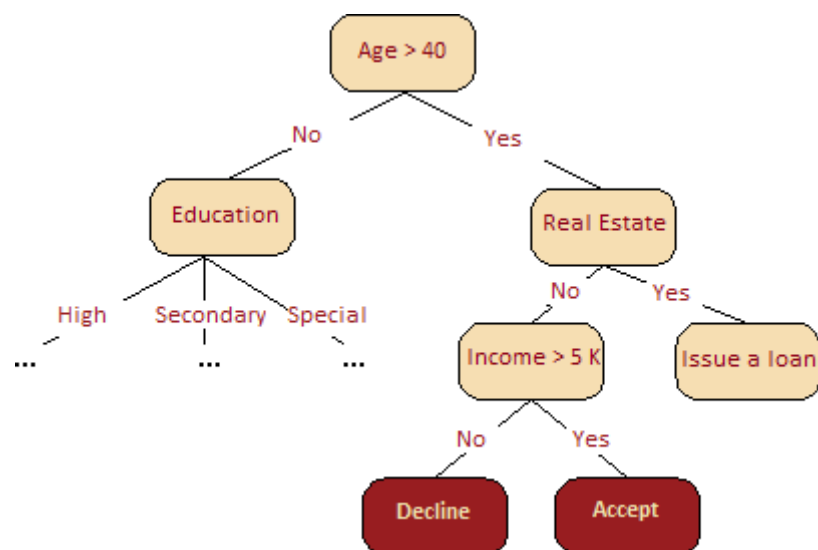


Рис. 2.10. Схема алгоритму Дерева рішень та Випадкового лісу

Джерело: [39]

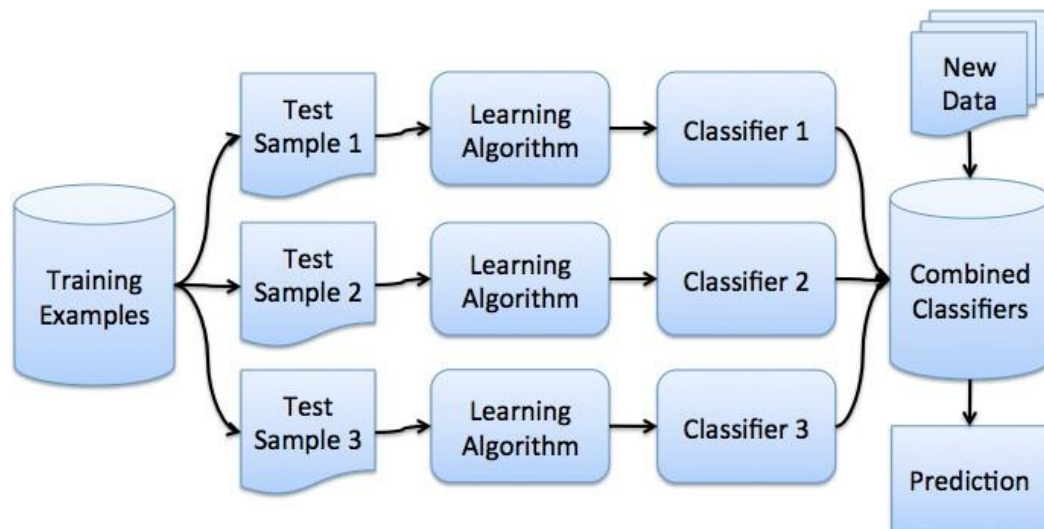


Рис. 2.11. Схема методу bagging

Джерело: [39]

Метод бегінга (bagging = bootstrap aggregating) був запропонований Лео Брейманом у 1994 році і є одним із перших ансамблевих методів машинного навчання. Основна ідея методу полягає в наступному: генеруються (M) вибірок $(X_1, \dots, X_M)$ із початкових навчальних даних (X) за допомогою методу бутстрепа (bootstrap). Потім будується фінальний класифікатор, який є середнім (або результатом голосування) відповідей усіх окремих класифікаторів [39].

Метод Random Forest базується на принципі побудови кількох дерев рішень, з використанням випадкового підпростору для кожного дерева. Спочатку генерується навчальна вибірка (X) розміром $(l \times D)$ (де (l) — кількість об'єктів, а (D) — кількість ознак). Далі обирається кількість дерев (N) у лісі. Для кожного дерева вибирається вибірка (X_n) ($(n = 1, \dots, N)$), що отримана за допомогою методу бутстрепа, при цьому кожне дерево будується не на всьому просторі функцій, а на підмножині з $(d < D)$ функцій, які вибираються випадковим чином. Під час експериментів рекомендується обирати $(d = \sqrt{D})$ для задач класифікації та $(d = D)$ для задач регресії.

Остаточний класифікатор отримується шляхом підсумовування відповідей всіх дерев: для класифікації вибирається основний клас, а для регресії — середнє або медіана значень.

Random Forest має такі переваги:

1. Дерева рішень і випадкові ліси володіють великою прогностичною здатністю, здатні обробляти великі обсяги даних для прогнозування різних аспектів транспортної логістики, таких як час доставки, оптимальні маршрути та попит на послуги.

2. Ці методи здатні адаптуватися до змінних умов та нових даних, швидко реагуючи на зміни в транспортних потоках, погодних умовах і інших факторах.

3. Вони можуть виявляти складні паттерни в великих даних, що дозволяє покращувати стратегії логістики та оптимізувати ресурси.

Методи машинного навчання, такі як дерева рішень і випадкові ліси, ефективно обробляють велику кількість ознак, що включають різні параметри транспортних рішень, такі як розмір вантажу, тип транспорту, відстань, погодні умови та інші фактори, що впливають на оптимізацію логістики.

До недоліки слід віднести:

1. Схильність до перенавчання: Ці методи можуть бути схильні до перенавчання, особливо при обробці великих обсягів даних, що зменшує їх точність на нових або змінених данихкі для інтерпретації: Моделі дерева рішень та випадкові ліси часто не є прозорими для інтерпретації, що ускладнює розуміння процесу прийняття рішень і важливості конкретних ознак у прогнозах .

3. Поикий кількості даних: Для досягнення високої точності ці методи потребують значної кількості даних, що може бути проблемою для менших підприємств або регіонів з обмеженим доступом до необхідної інформації .

4. Обчислювальн: Тренування та використання моделей можуть бути витратними з точки зору обчислювальних ресурсів, особливо на великих

обсягах даних.

Логістична регресія є методом класифікації, що використовується для прогнозування ймовірності певної події, перетворюючи вхідне значення на ймовірність через сигмоїдальну функцію. Цей метод адаптує лінійну регресію для оцінки ймовірності того, що спостереження належить до певного класу. У транспортній логістиці вона може використовуватися для прогнозування ймовірності затримок у доставці або оптимальних часових інтервалів для виконання завдань. Логістична регресія намагається максимізувати умовну ймовірність, враховуючи ознаки. Водночас вона схильна до впливу викидів і вимагає стандартизації для коректного використання.

Машина підтримки векторів (SVM) є потужним алгоритмом класифікації, який фокусується на максимізації запасу (відстані) між класами, що дозволяє створювати гіперплощини, які максимально відокремлюють позитивні та негативні класи. Важливий аспект SVM полягає в тому, що він орієнтується лише на найближчі точки, які визначають межу рішень (опорні вектори), і не так сильно чутливий до викидів. Цей підхід робить SVM дуже ефективним для розв'язання задач класифікації та прогнозування в транспортній логістиці, таких як визначення оптимальних маршрутів або оцінка ризиків.

SVM часто демонструє високу точність класифікації, що важливо для точних прогнозів у транспортній логістиці, таких як оптимальні маршрути або виявлення аномалій. Також добре працює з великими наборами даних, що є важливим у контексті сучасної транспортної логістики, де обробляються великі обсяги інформації щодня.

Водночас потребує значних обчислювальних ресурсів, що може бути проблематичним для дуже великих датасетів.

Якщо в наборі даних є значний дисбаланс класів, SVM може давати менш точні результати, що в транспортній логістиці, де різні типи подій можуть мати різну ймовірність, є проблемою.

Логістична регресія є простим і ефективним методом класифікації, який широко використовується для прогнозування ймовірностей подій (наприклад, ймовірність затримок у доставці або проблем з маршрутом). Завдяки використанню сигмоїдальної функції, логістична регресія дозволяє отримувати ймовірнісні оцінки для кожного класу.

Логістична регресія дуже проста для інтерпретації, що робить її корисною для розуміння впливу різних факторів на логістичні процеси. Цей метод є універсальним інструментом, здатним працювати як із збалансованими, так і незбалансованими даними, що є важливим для транспортної логістики.

Але в свою чергу логістична регресія має обмеження на ефективність при роботі з великими обсягами даних, порівняно з іншими методами, такими як SVM. Також може мати проблеми з мультиколінеарністю, що призводить до неточностей у прогнозах.

Системи підтримки прийняття рішень (DSS)

Для оптимізації транспортної логістики все частіше використовують системи підтримки прийняття рішень (DSS). Ці системи допомагають аналізувати дані, прогнозувати можливі сценарії та приймати обґрунтовані рішення на основі складної інформації, що є важливим аспектом у галузі, яка включає безліч змінних факторів, таких як погодні умови, зміни в попиті, маршрути та час доставки.

Виробництво зерна та логістика експортних перевезень є важливими компонентами аграрного сектору, які вимагають ефективного управління для забезпечення стабільного функціонування ланцюгів поставок. З урахуванням того, що ферми, склади та порти розподілені територіально, а ланцюги поставок складні, сучасні технології, зокрема системи підтримки прийняття рішень (DSS), здатні значно підвищити ефективність цих процесів.

Роль DSS у транспортній логістиці експортного транспортування зерна полягає в оптимізації таких аспектів, як вибір оптимальних маршрутів і розподіл ресурсів. Це дозволяє враховувати різноманітні фактори, такі як

погодні умови, зміни в ринкових цінах і інші параметри, що суттєво впливають на ефективність транспортування зерна.

Основні переваги впровадження DSS:

1. Моделювання сценаріїв. Система може автоматично реагувати на зміни умов, наприклад, при зміні маршруту або непередбачених обставинах, перерозподіляючи транспортні потоки та коригуючи плани доставки.
2. Оптимізація вантажопотоку. DSS здатна автоматично управляти потоками товарів, вибираючи найефективніші маршрути і координуючи роботу між усіма учасниками ланцюга поставок.
3. Прогнозування ринкових тенденцій. Система може аналізувати обсяги виробництва, ціни і попит на сільськогосподарські продукти в різних регіонах, що дозволяє отримати рекомендації щодо оптимальних обсягів і напрямків експорту.

Потенційні проблеми і обмеження:

1. Низька координація між інформаційними системами. Ускладнення можуть виникнути через недостатнє з'єднання різних інформаційних систем, що може знижувати ефективність роботи DSS.
2. Гнучкість системи. Врахування змін у політичній ситуації, технічних проблем на маршрутах або навіть впливу воєнних загроз є важливим аспектом, що потребує постійного оновлення та адаптації системи.
3. Виклики безпеки. В умовах війни або інших нестабільних обставин існує необхідність адаптувати систему до ризиків, що виникають через боєприпаси, технічні неполадки чи інші зовнішні загрози.

Незважаючи на труднощі, використання DSS в транспортній логістиці зерна є важливим кроком до зниження витрат, скорочення часу доставки та підвищення конкурентоспроможності на міжнародному ринку. Інтеграція штучного інтелекту в процеси автоматизованого аналізу та прийняття рішень ще більше підвищить точність прогнозів та знизить ризики, що сприятиме розвитку експортного бізнесу зерна.

Використання систем підтримки прийняття рішень (DSS) у

транспортній логістиці експорту зерна має значний потенціал для підвищення ефективності та конкурентоспроможності галузі, особливо в умовах змін на світовому ринку та нестабільної ситуації, як, наприклад, у воєнний час. DSS дозволяє автоматизувати та оптимізувати ключові логістичні процеси, від вибору маршрутів до управління ресурсами, що дає змогу знижувати витрати та час доставки, а також підвищує надійність системи в умовах зміни зовнішніх факторів.

Однак для успішного впровадження таких систем важливо враховувати кілька критичних факторів:

- Гнучкість і адаптивність до зовнішніх змін, таких як політичні, економічні або природні фактори, зокрема ризики, пов'язані з військовими конфліктами.

- Інтеграція з іншими системами та забезпечення ефективної координації між різними учасниками ланцюга постачання.

Моделювання логістики експортних перевезень зерна у воєнний час

В умовах війни, моделювання логістичних процесів потребує особливого підходу, оскільки необхідно враховувати обмеження та ризики, зумовлені військовими діями. Для цього можна використовувати теорії черг та моделі моделювання, що дозволяють оптимізувати процеси транспортування і постачання в умовах обмежених ресурсів і зростаючих загроз.

Ключові аспекти моделювання черг в контексті транспортної логістики:

1. Об'єкти черги. У транспортній логістиці це можуть бути транспортні засоби, склади, порти, контрольні пункти на маршрутах, які потребують оптимального управління. У воєнний час важливо враховувати обмеження, що стосуються безпеки та доступу до різних інфраструктур.

2. Параметри часу. Визначення часу прибуття, відправлення та затримок транспортних засобів є важливим для планування перевезень, зокрема через непередбачувані обставини, такі як блокування доріг, вибухи

чи обстріли.

3. Ресурси. У таких умовах є обмеження щодо доступних транспортних засобів, вантажопідйомності, запасів пального та інших ресурсів, що необхідно враховувати при моделюванні ланцюга поставок.

4. Формування черги. Це процес, коли транспортні засоби можуть застрягти у черзі через обмеження ресурсів (наприклад, в порту чи на митниці), що може створити додаткові затримки. Моделювання цього процесу дозволяє прогнозувати та керувати такими ситуаціями, мінімізуючи їх вплив на весь ланцюг постачання.

В умовах сьогодення слід врахувати ряд викликів та загроз. До прикладу, політичні та воєнні ризики можуть призвести до обмежень на маршрути або зміни в безпеці вантажів. Також обмеження в наявних транспортних засобах або пальному, що може ускладнити доставку товарів.

Таким чином, використання DSS та моделювання теорії черг дозволяє оптимізувати процеси транспортування зерна, адаптуючи їх до специфічних умов, зокрема в умовах війни. Це допомагає не лише підвищити ефективність, але й забезпечити безпеку та стійкість експортних перевезень зерна в нестабільному середовищі.

Створення моделі для моделювання транспортної логістики експорту зерна в умовах воєнного часу за допомогою Масових систем обслуговування (MAS) потребує врахування складних факторів та різноманітних змінних, пов'язаних із нестабільністю середовища. Ось кілька кроків для побудови такої моделі:

1. Пріоритезація та вирішення конфліктів

- Пріоритети для критично важливих вантажів: Під час воєнного конфлікту деякі вантажі, такі як продовольство, медичні постачання та військові вантажі, можуть мати вищий пріоритет для транспортування. Важливо створити механізми для оцінки пріоритетів та оперативного перенаправлення ресурсів у разі необхідності.

- Вирішення конфліктів при обмежених ресурсах. Якщо транспортні

засоби чи інші ресурси обмежені, система повинна визначати, які вантажі мають бути перевезені в першу чергу, виходячи з їх важливості для забезпечення потреб.

2. Ризик і безпека

- Оцінка ризику: Оскільки під час війни зростає кількість небезпек для транспортних засобів, таких як обстріли, мінування чи блокування доріг, необхідно оцінити ці ризики за допомогою спеціальних моделей для мінімізації впливу цих факторів.

- Механізми безпеки. Врахування заходів безпеки на маршрутах, таких як супровід військових підрозділів для захисту вантажів, використання безпечних шляхів та моніторинг ситуації на маршруті, є важливими аспектами моделювання.

3. Масові системи обслуговування (MAS)

- MAS можуть бути використані для моделювання складних процесів обслуговування у логістичних ланцюгах під час війни, де багато організацій (наприклад, транспортні компанії, військові, митні органи) взаємодіють між собою в умовах високих ризиків.

- MAS дають змогу аналізувати вплив військових дій на транспортування, і можуть враховувати такі події, як обстріли, блокування маршрутів, зміни у місцях завантаження чи розвантаження.

4. Ключові аспекти MAS в контексті транспортної логістики

- Підприємства: У моделі мають бути представлені різні організації, які беруть участь у транспортній логістиці, зокрема:

- Транспортні засоби: вантажівки, потяги, кораблі, які використовуються для транспортування зерна.

- Склади і порти: місця завантаження та розвантаження, де вантажі проходять митні перевірки та обробку.

- Військові підрозділи: для охорони транспортних засобів, забезпечення безпеки маршрутів.

- Події та потоки: Оцінка впливу різних подій на транспортування,

таких як:

- Завантаження та розвантаження вантажу.
- Військові дії: обстріли, блокування доріг, зміни у безпечних маршрутах.
- Переміщення вантажу через контрольні пункти або митниці.
- Час. Визначення часу для кожної події, включаючи час очікування на контролі, час доставки і затримки, які можуть бути спричинені військовими діями або логістичними обмеженнями.
- Інформація та комунікація. Моделювання обміну інформацією між організаціями, включаючи військові структури, митницю та транспортні компанії, а також моніторинг ситуації на маршрутах у реальному часі.

5. Статистична імітаційна модель

- За допомогою імітаційних моделей можна проаналізувати динаміку логістичних процесів, зокрема, як зміни в умовах безпеки, погодних умовах або ресурсах можуть вплинути на ефективність транспортування.
- Для цього використовуються агенти (транспортні засоби, персонал, організації), які можуть взаємодіяти, обробляти інформацію про події та змінювати маршрути і стратегії залежно від ситуації на місці.

У результаті створення такої моделі за допомогою MAS можна оптимізувати процеси експортного транспортування зерна, забезпечити безпеку вантажів у складних умовах та знизити ризики, що виникають через воєнні дії або інші непередбачувані ситуації.

Для моделювання транспортної логістики експорту зерна в умовах війни з використанням теорії ігор та марковських процесів, важливо враховувати специфічні особливості логістичної мережі, а також можливі ризики та невизначеність, пов'язані з військовим конфліктом. Ось детальніше пояснення по кроках:

1. Параметри конструкції

- Швидкість транспортного засобу: необхідно визначити середню швидкість транспортування на різних ділянках маршруту з урахуванням

можливих заторів, пошкоджень інфраструктури та загроз на шляху.

- Розмір упаковки зерна: оцінка середнього обсягу вантажу, який транспортується одним транспортним засобом, дозволяє оптимізувати кількість вантажівок чи інших транспортних одиниць для перевезення конкретної партії зерна.

- Час обробки в порту: оцінка часу, витраченого на завантаження та розвантаження вантажу, з урахуванням доступних ресурсів (порти, крани, робоча сила), а також впливу непередбачених ситуацій (наприклад, затримки через погіршення безпеки).

- Імовірності попадання та затримки: необхідно визначити ймовірності затримки або випадкових подій (наприклад, обстріли, технічні несправності), що дозволить змоделювати ймовірні сценарії розвитку подій.

2. Моделювання вантажно-розвантажувальних процесів у портах

- Час і невизначеність. Використання генераторів випадкових чисел дозволяє змоделювати невизначеність, яка виникає через військові або природні фактори, що можуть вплинути на час обробки вантажів у портах.

- Реалізація покрокового механізму. Створення поетапного процесу моніторингу та коригування логістичних операцій у реальному часі з урахуванням обставин (затримки, зміни маршруту, зміни безпеки).

3. Аналіз і визначення стратегії

- Аналіз результатів. Після симуляцій важливо провести статистичний аналіз результатів, щоб оцінити переваги і ризики для кожної стратегії (наприклад, різні маршрути чи способи транспортування).

- Вибір оптимальних стратегій. Розробка оптимальних стратегій для управління логістикою на основі результатів моделювання. Це може включати вибір найбільш безпечних і швидких маршрутів, використання різних типів транспортних засобів, підвищення ефективності завантаження.

4. Модель теорії ігор (Game Theory Model)

- Визначення гравців. Це можуть бути різні учасники логістичної мережі, такі як:

- Фермери та виробники зерна які можуть вибирати стратегію щодо вирощування або транспортування зерна в умовах війни.
- Транспортні компанії які повинні приймати рішення щодо безпеки та ефективності транспортування.
- Державні установи та прикордонники які встановлюють обмеження на перевезення зерна.
- Опис стратегії гравців. Кожен гравець вибирає стратегію в залежності від зовнішніх факторів. Наприклад, фермери можуть вирішувати, чи продовжувати вирощувати зерно, чи обирати інші культури.
- Визначення виграшів. Виграш гравців обчислюється на основі ефективності їхніх рішень у контексті взаємодії з іншими учасниками, враховуючи ризики втрати урожаю або зменшення доходів.
- Побудова матриці виграшів. Матриця відображає результат кожної стратегії для кожного гравця, враховуючи різні варіанти стратегій інших учасників.
- Ігрова рівновага. Використання концепції рівноваги Неша для пошуку оптимальних стратегій, при яких жоден гравець не може покращити свій результат, змінюючи свою стратегію.

5. Модель Марковського процесу (Chain of Markov Processes)

- Визначення умов (станів системи). Наприклад, стан транспорту може включати параметри безпеки (небезпека на маршруті чи доступність), стан зерна (якість, обсяг) або стан ринку (ціни, попит).
- Ймовірність переходу між станами. Необхідно оцінити ймовірність переходу з одного стану в інший в залежності від військових подій. Це може включати ймовірність затримки через блокування доріг або зміни попиту на зерно через зовнішні фактори.
- Матриця переходів. Створення матриці ймовірностей переходу, яка відображає ймовірність кожного можливого переходу між станами системи за певний проміжок часу. Це дозволить передбачити можливі зміни у логістичній мережі.

- Початковий стан. Модель повинна мати початковий стан, який визначає початкові умови для всіх елементів системи.

6. Імітаційне моделювання

- Використання імітаційного підходу для аналізу реальних умов транспортування в умовах війни дозволяє врахувати широкий спектр факторів і варіантів розвитку подій.

Поєднання теорії ігор та марковських процесів дає змогу створити детальну та адаптивну модель для моделювання транспортування зерна в умовах війни, яка враховує взаємодію різних учасників, ризики та невизначеність. Це дозволить приймати більш обґрунтовані рішення для оптимізації логістичних операцій та зменшення втрат при експорті зерна.

Ітераційне прогнозування використовується для передбачення майбутніх станів системи на основі матриць переходів та початкових станів. У контексті моделювання транспортування зерна за допомогою лінійних ланцюгів Маркова, важливо оцінювати ймовірність досягнення різних станів системи (наприклад, порти, стан безпеки, затримки на маршруті тощо). Такий підхід дозволяє змодельовати розвиток подій в умовах війни.

1. Прогнозування. Після визначення початкових станів і матриці переходу, можна за допомогою ітерацій прогнозувати ймовірність досягнення певних станів у майбутньому. Наприклад, яка ймовірність того, що зерно досягне порту без затримок? Яка ймовірність затримки вантажу через військові дії або пошкодження інфраструктури?

2. Аналіз результатів. Прогнозування можливих станів системи дає змогу оцінити ризики (затримки, пошкодження вантажів, перебої в транспортуванні); потенційні стратегії для покращення логістики, зокрема оптимізація маршрутів, резервні варіанти транспортування, збереження вантажу.

Страховання є важливим інструментом для пом'якшення фінансових ризиків, пов'язаних із непередбаченими подіями в умовах війни, зокрема через затримки або пошкодження вантажів зерна. Моделювання ризиків і

страхування допомагає створити фінансову стратегію для забезпечення стабільності логістичної мережі.

Використання лінійних ланцюгів Маркова та моделювання ризиків через страхові поліси дозволяє створити більш адаптивну та безпечну логістичну систему для транспортування зерна в умовах війни. Це дає змогу своєчасно реагувати на можливі ризики, мінімізувати фінансові втрати і забезпечити стабільність експортної діяльності.

Висновки до другого розділу

1. Аналіз сучасного стану транспортної логістики зернового експорту України: Україна є важливим гравцем на світовому ринку харчових продуктів, зокрема зернових культур. Це підкреслює її стратегічну роль у забезпеченні глобальної продовольчої безпеки, особливо в умовах високої залежності багатьох країн від українського експорту зерна.

2. В умовах неврожаю в інших країнах у 2020-2021 роках Україна змогла компенсувати дефіцит продуктів завдяки рекордному врожаю. Однак агресія з боку Росії призвела до серйозних проблем у транспортній логістиці, зокрема через обмеження сухопутних маршрутів, вузьку пропускну здатність залізниць і проблеми з сертифікацією зерна. Водночас ембарго та закриття кордонів з сусідніми країнами значно ускладнили експорт.

3. Воєнний конфлікт і глобальні кризи серйозно вплинули на транспортну логістику. З огляду на ці виклики, постає необхідність застосування нових технологій і стратегій для забезпечення ефективного експорту сільськогосподарської продукції.

4. Дослідження транспортної логістики зернового експорту виявляє важливість оптимального управління всіма етапами перевезення від поля до пункту експорту. Це включає в себе ретельний аналіз і контроль за кожною ланкою ланцюга постачання.

5. Моделі оптимізації маршрутів, управління запасами та ризиками є важливими інструментами для поліпшення логістики експорту зерна. Комплексний підхід дозволяє розглядати всі аспекти перевезень та знаходити оптимальні рішення для підвищення ефективності.

6. Оптимальне використання маршрутів, врахування сезонних коливань і змінності обсягів перевезень є основними складовими для створення ефективної моделі логістики зернового сектору. Ці чинники мають значення для планування та прогнозування потреб на транспортні послуги.

7. Врахування змін в економічному та політичному середовищі є критично важливим для ефективної роботи моделей транспортної логістики. Моделі повинні бути гнучкими для реагування на екстремальні ситуації, такі як кліматичні аномалії або військові обстріли.

8. Для забезпечення надійності перевезень зерна в умовах нестабільності необхідно створити стійку логістичну систему, яка здатна ефективно реагувати на непередбачувані виклики та гарантувати безперервність експорту.

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ В УМОВАХ КОНФЛІКТУ

3.1. Концептуальна модель логістики експортного транспортування зерна

Моделювання логістики експортного транспортування зерна за умов невизначеності є важливим для оптимізації ефективності перевезень від поля до порту чи іншого пункту призначення з урахуванням факторів, таких як погодні умови, цінові коливання, технічні збої тощо. Це завдання потребує не лише планування, а й врахування надзвичайних ситуацій та загроз безпеці. Поставка зерна під час війни є критично важливою для продовольчої безпеки та економічної стабільності.

Війна може створити важко передбачувані ситуації, пошкоджуючи транспортні шляхи та інфраструктуру, що потребує розробки стратегій для забезпечення надійних поставок навіть під час конфлікту. Першим кроком у моделюванні є визначення джерел зерна та місць зберігання, а потім вибір ефективних маршрутів, що уникають зон конфлікту. Для зменшення ризиків застосовуються конвої, безпека на маршрутах та відстеження вантажів в реальному часі.

Альтернативні види транспорту, такі як залізниця, річковий чи авіаційний транспорт, можуть допомогти уникнути проблемних зон. Планування резервних дій, співпраця з військовими та господарськими структурами забезпечує стабільність постачань у надзвичайних умовах.

Наразі важливо розробити єдиний алгоритм для організації перевезень, що враховує різні варіанти взаємодії «постачальник - перевізник - отримувач» та складні схеми за участю логістичних посередників, таких як експедиторські фірми.

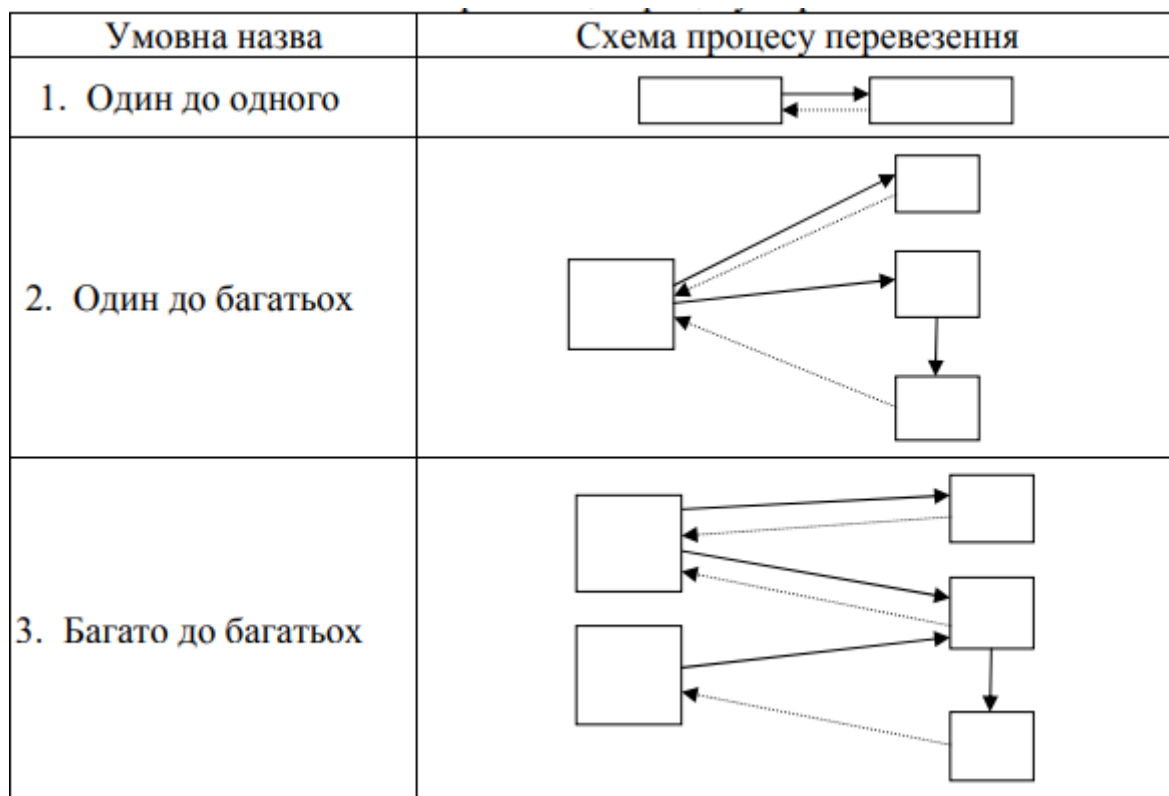


Рис. 3.1. Схеми транспортування

Джерело: [12]

Згідно з таблицею, перша схема транспортування «один до одного» є найпростішою і не вимагає вирішення транспортної або маршрутної задачі. У разі схеми «один до багатьох» планування потребує вирішення кількох завдань маршрутизації:

- сполучна поїздка між вантажовідправником та вантажоодержувачем, якщо перевезення здійснюється тільки підвісним маршрутом;
- пересувний продавець, якщо перевезення здійснюється способом спільної або збірної доставки;
- якщо використовуються як розмінні, так і розвізні маршрути (збиральний або забірно-розвізний), потрібно вирішувати два завдання.

При організації перевезень за схемою «багато до багатьох» спочатку вирішується транспортна задача, а потім маршрутна.

Найпопулярнішим експортним потоком є схема «багато до багатьох». Основні фактори, що впливають на вибір маршруту:

- Погодні умови під час збирання врожаю. Якщо зерно має високу вологість або забруднене (що залежить від конструкції комбайна і жатки), його слід очистити і просушити перед відправленням на елеватор. Це впливає на якість та ціну зерна.

- Доступність покупця на момент отримання. Якщо врожай відповідає стандартам, його можна одразу продавати.

Зазвичай зерно перевозиться за схемою «Поле» – «Елеватор» – «Порт»/«Мультимодальний термінал» або «Поле» – «Зерноскладище» – «Порт»/«Мультимодальний термінал».

Для вибору моделі важливо врахувати варіанти доставки, які використовує компанія для реалізації зерна, зокрема міжнародні стандарти Інкотермс.

Incoterms визначають умови доставки товарів від продавця до покупця, включаючи реєстрацію вантажу, експорт та імпорту товарів. Вони також встановлюють, хто несе витрати на доставку, митне оформлення та страхування ризиків. Міжнародна торгова палата (ICC) публікує ці стандарти. Існує чотири основні групи Incoterms:

- Група E — Відправлення (товар надається покупцеві тільки на території продавця);

- Група F — Базове перевезення не оплачено (продавець відповідає за доставку товару перевізнику, визначеному покупцем);

- Група C — Оплачено базове перевезення (продавець укладає договір перевезення, але не відповідає за втрати або додаткові витрати після відвантаження);

- Група D — Відвантаження (продавець несе всі витрати та ризики для доставки товару до країни призначення).

Incoterms[®] 2020

Incoterms [®] 2020 Rules Responsibility Quick Reference Guide								
Inco Docs								
Freight Collect Terms					Freight Prepaid Terms			
Groups	Any Mode or Modes of Transport		Sea and Inland Waterway Transport				Any Mode	
Incoterm [®]	EXW Ex Works (Place)	FCA Free Carrier (Place)	FAS Free Alongside Ship (Port)	FOB Free On Board (Port)	CFR Cost and Freight (Port)	CIF Cost Insurance & Freight (Port)	CPT Carriage Paid To (Place)	CIP Carriage & Insurance Paid to (Place)
Transfer of Risk	At Buyer's Disposal	On Buyer's Transport	Alongside Ship	On Board Vessel	On Board Vessel	On Board Vessel	At Carrier	At Carrier

Рис. 3.3.

Джерело: [5]

Основним видом продажу та доставки, який використовує холдинг, є СРТ (Carriage Paid To). Цей термін вказує, що продавець звільняється від відповідальності після того, як товар переданий перевізнику та оплачені витрати на транспортування. Ризик переходить до покупця після того, як товар отримано першим перевізником. Умови СРТ застосовуються до будь-якого виду транспорту.

Згідно з СРТ, продавець доставляє товар перевізнику за свій рахунок і оплачує витрати на експортне митне оформлення. Перевізником може бути фізична або юридична особа (перевезення можуть здійснюватися літаком, судном, залізницею чи автомобільним транспортом).

Таким чином, холдингова компанія відповідає за доставку товару до порту чи терміналу, що реалізує модель маршруту: «Поле» – «Елеватор»/«Зернохосвище» – «Порт».

Основою для оптимізації транспортного маршруту є задача «комівояжера», де програмне забезпечення повинно надавати такі функції:

- вибір оптимального маршруту з урахуванням заданих критеріїв і обмежень;
- надання інформації про транспортні засоби та їх навантаження;

- надання даних про території, залучені до вирішення задачі;
- розрахунок тимчасових і фінансових витрат.

3.2. Побудова математичної моделі транспортування експорту зерна

Загальне формулювання завдання побудови оптимальних рішень може бути представлено як модифікований алгоритм розв'язання задачі «комівояжера» за допомогою двофазної оптимізації транспортної мережі.

Введемо такі поняття та позначення:

- **T** — загальний час процесу транспортування;
- **t** — час очікування обслуговування одного пункту збирання;
- **Транспортні ресурси та паливно-мастильні матеріали (ПММ)** — необхідні для забезпечення перевезень.

Мета цієї оптимізації полягає в мінімізації загальних витрат, що включають час і ресурси, враховуючи обмеження на час, транспортні засоби та паливо, з урахуванням різних етапів обслуговування й маршруту.

$$N = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$$

— сукупність пунктів мережі (ПМ) або вузлів, які повинні бути включені до маршруту;

- I — вузол-джерело, $I \in N$;
- K — вузол-призначення, $K \in N$;
- $S_{i,j}$ — відстань від i -го до j -го вузла;
- $V_{i,j}$ — швидкість руху на ділянці від i -го до j -го вузла;
- $t_{i,j}$ — час руху від i -го до j -го вузла.

Розглянемо популярні маршрути експорту зерна компанією. Для забезпечення безпеки маршрути замінено на загальноприйняті. На етапі «Поле» — «Елеватор» пробіг залишається сталим. Швидкість транспортування залежить від погодних умов, кількості комбайнів і машин для прибирання, а також від можливостей елеватора приймати і вивантажувати зерно. У середньому ситуація стабільна щороку. Для

оптимального розрахунку використовують класичну транспортну задачу з обмеженою місткістю елеватора.

$$Z(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} * x_{ij} \rightarrow \min \quad (3.1)$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = \overline{1, m}; \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = \overline{1, n}; \end{cases} \quad (3.2)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (3.3)$$

$$x_{ij} \leq d_{ij} \quad (3.4)$$

де d_{ij} – пропускна здатність елеватора (i, j).

Наступний етап аналізу включає маршрут другого етапу «Зернохосовище» – «Порт» за жовтень 2023 року та аналогічний період попереднього року. Саме на цей етап припадає основна частина вартості доставки зерна.



Рис. 3.4. Результати аналізу перевезення «Зернохосовище» – «Порт»

Джерело: Розраховано за даними підприємства

Згідно з інфографікою, можна зробити висновок, що середній час перевезення за обраним маршрутом у жовтні зріс на 60%. Це пов'язано з утричі більшим часом завантаження та розвантаження. Також на 13,7% зросла середня відстань перевезення вантажів. Якщо врахувати кількість активних портів та їх пропускну здатність, то найбільше на час перевезень вплинула відносно безперебійна робота зернового коридору у 2022 році. Порти Великої Одеси працювали безперервно, тому середній час розвантаження був півдобі. Цього року основна підтримка експортного процесу спостерігається в портах гирла Дунаю, де навантаження значно перевищують спроможність портів, що спричиняє черги та збільшення термінів розвантаження. Порти приймають обмежену кількість зерновозів та

працюють лише обмежену кількість годин на добу через часті атаки БПЛА та ракет. Другий етап перевезення зерна, а саме доставка до кінцевого отримувача, описується комплексною моделлю.

$$\begin{aligned}
 Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p \sum_{t=1}^n C_{ik}^t * X_{ik}^t * T_{kj} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n f_{kj} * x_{kj} * T_{kj} \rightarrow \min \quad (3.5) \\
 \sum_{k=1}^p \sum_{t=1}^h X_{ik}^t \leq a_i, (i = \overline{1, m}) \\
 \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^h X_{ik}^t \leq d_k, (i = \overline{1, p}) \\
 \sum_{k=1}^p x_{kj} = b, (i = \overline{1, n}) \\
 \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^h X_{ik}^t = \sum_{j=1}^n x_{kj}, (k = \overline{1, p}) \\
 C_{ik}^t > TC/v
 \end{aligned}$$

де:

i – порядковий номер елеватора-відправника ($i = 1, m$); m – кількість елеваторів ($m = 4$);

k – порядковий номер точки перевалки;

p – кількість вузлів перевалки;

t – порядковий номер виду транспорту (автомобільний, залізничний і

річковий), які беруть участь у транспортуванні зерна до вузлів перевалки;

h – кількість видів транспорту;

j – порядковий номер точки призначення;

n – кількість точок призначення;

t – вартість доставки одиниці вантажу від i -того елеватора транспортом t в k -тий вузол перевалки;

C_{ik}^t – вартість доставки одиниці вантажу від i -того елеватора транспортом t в k -тий вузол перевалки;

f_{kj} – вартість доставки одиниці вантажу від k -того вузлу перевалки в

j -тий вузол призначення (морський складник);

${}^{ik}X^t$ – параметр управління, що позначає кількість вантажу (тон),

x_{kj} – параметр управління, що позначає кількість вантажу (тон), доставляється від k -тої точки перевалки в j -ту точку призначення (морський складник);

a_i – запас зерна на i -тому елеваторі відвантаження, тон;

d_k – потужності k -того точки перевалки, тон; b_j – потреба у вантажі точки призначення, тон; TC – сукупні витрати компанії, грн;

v – загальний кілометраж на рік, км/рік (для розподілу витрат відповідно на 1 км перевезення);

T_{kj} – час перевезення від k -того вузлу перевалки в j -тий вузол призначення, діб (відображає вплив обстрілів на перевезення).

Примітка: страхування не включено в модель, так як наразі страхування виступає як незалежна змінна, якою опікується уряд.

3.3. Реалізації моделювання та прогнозування перевезення експорту

Для прикладу розглянемо актуальну заявку на перевезення. На одному з підприємств холдингу був зібраний урожай кукурудзи, і через низькі ставки на ринку було прийнято рішення утримати весь урожай на власних елеваторах до підняття ставок. Опишемо перший етап збору кукурудзи за першою моделлю.

На першому етапі збір кукурудзи з поля здійснюється за допомогою комбайнів, які забезпечують необхідну швидкість збирання в залежності від погодних умов та технічних можливостей. Зібране зерно транспортується до елеватора для тимчасового зберігання. Оскільки врожай залишається на елеваторах, основною задачею є оптимізація перевезень зерна від поля до елеватора з урахуванням обмежених ресурсів транспорту, погодних факторів

та можливостей елеватора. На цьому етапі важливо врахувати наявність транспортних засобів, можливість перевантаження та швидкість обробки на елеваторі.

Для розрахунків буде використано програмний продукт Microsoft Dynamics NAV, який є потужним інструментом для управління підприємством..

Маршрут	
Пункт завантаження:	Поле
Пункт розвантаження:	Елеватор
Відстань, км:	70,00
Рух по маршруту:	Туди та назад
Коефіцієнт відстані:	1,85
Очікувана кількість рейсів/добу:	1,00
Очікуване завантаження авто:	23,00
Середньодобовий пробіг, км:	140,00
К-ть автомобілів, шт:	75

Вантаж	
Опис:	Кукурудза
Кількість:	10 100
Одиниця вимірювання:	Тонна
Ціна Одиниці:	380,00

Автомобілі	
Кількість залучених ав...	10
Відстань подачі:	70,00
Кількість машин/днів:	439,13

Рис. 3.5. Вхідна інформація

Джерело: Складено автором

Згідно з наданими даними, буде проведено плановий розрахунок для всієї заявки, а також розглянуті показники для кожного автомобіля по кожній

Показники				
	Всього по заявці	На 1 авто	На 1 рейс	На 1 авто в день
Кількість рейсів, шт:	439,13	43,91	1,00	0,99
Кількість днів роботи:	44,16	44,16	1,01	1,00
К-сть:	10 100,00	1 010,00	23,00	22,87
Пробіг з вантажем, км:	30 739,13	3 073,91	70,00	69,60
Пробіг без вантажу, км:	32 241,09	3 224,11	73,42	73,00
Пробіг без вантажу зворотній хід, км:	31 541,09	3 154,11	71,83	71,42
Пробіг без вантажу подача, км:	700,00	70,00	1,59	1,59
Загальний пробіг, км:	62 980,22	6 298,02	143,42	142,61
Об'єм роботи, т*км:	707 000,00	70 700,00	1 610,00	1 600,89

ходці. Це дозволить оцінити витрати та ефективність транспортування для кожного етапу перевезення, а також оптимізувати використання автотранспорту в межах заданих параметрів.

Рис. 3.6. Результати моделювання основних планових показників

Джерело: Складено автором

Згідно з аналітикою, для виконання заявки потрібно 439 рейсів (округлено). На кожен автомобіль припадає 44 рейси, тобто по одному рейсу на добу, що загалом складе 44 дні.

За планової відстані 70 км загальний пробіг становитиме 62 980 км. Оскільки подача розраховується лише для першого рейсу кожного авто, загальна відстань подачі дорівнює 700 км.

Для перевезення 10 100 тонн кукурудзи обсяг роботи складе 707 000 тонно-кілометрів.

Далі розглянемо основні показники, що впливають на рішення щодо перевезення.

Коефіцієнт			
Маржа, %:	46,61	Прибутковість, %:	5,39
Точка безбитковості без ...	161 400 685,49	Націнка, %:	5,70

Рис. 3.7. Результати моделювання прибутковості перевезення

Джерело: Складено автором

За встановленої розцінки прибутковість прогнозувалася на рівні близько 5%.

Наша модель досягла мінімальної межі. Для скорочення витрат оптимізуємо час, який не може бути меншим, ніж відстань у 70 км між полем та елеватором, поділена на дозовану максимальну швидкість.

Тепер проаналізуємо фактичні дані щодо цієї заявки на перевезення.



Рис. 3.8. Графік динаміки часу, витраченого на ходку, год

Джерело: Складено автором

Середній час на одну ходку становить 11,6 годин, що більш ніж удвічі перевищує плановий показник. Цього досягнуто завдяки оптимізації процесів завантаження та розвантаження. Детальну інформацію наведено у Додатку Б.

Завдяки зниженню витрат та оптимізації часу середня прибутковість заявки зросла до 27%. Витрати на перевезення, що закладаються у вартість зерна, становлять 380 грн/т або 10,3 \$/т.



Рис. 3.9. Аналіз прибутковості перевезення, %

Джерело: Складено авторкою

Перевезення під час збирання врожаю менш піддаються впливу невизначеності з таких причин:

- Збір врожаю відбувається переважно у світлу пору доби, коли обстріли менш інтенсивні.
- Холдинг здійснює посіви тільки на безпечних територіях (Харківська та частково Чернігівська області наразі не використовуються).
- Перевезення відбуваються на короткі відстані завдяки наявності достатньої кількості власних елеваторів біля полів.

Для покращення результатів першої моделі варто переглянути систему мотивації водіїв, оскільки це впливає на швидкість транспортування. Також ефективність залежить від кількості залучених власних або сторонніх транспортних засобів.

Наступний етап — розгляд моделі експорту. Основні умови продажу: CPT та CFR. Холдинг експортує 95% зерна за CPT (доставка до першого порту) та 5% за CFR (доставка до кінцевого отримувача). В обох випадках можна застосувати комплексну модель транспортування.

Розрахунки проведемо на прикладі замовлення на 5000 тонн кукурудзи з перевалкою до Єгипту.

Вантаж	
Опис:	Кукурудза
Кількість:	5 000
Одиниця вимірювання:	Тонна
Ціна Одиниці:	1 200,00
Автомобілі	
Кількість залучених авто:	25
Відстань подачі:	330,00
Кількість машин/днів:	434,78

Рис. 3.10. Вихідні дані перевезення на експорт

Джерело: Складено автором

Зробивши розрахунок отримуємо планові показники перевезення для подальшої аналітики.

Показники				
	Всього по заявці	На 1 авто	На 1 рейс	На 1 авто в день
Кількість рейсів, шт:	217,39	8,70	1,00	0,49
Кількість днів роботи:	17,64	17,64	2,03	1,00
К-сть:	5 000,00	200,00	23,00	11,34
Пробіг з вантажем, км:	71 739,13	2 869,57	330,00	162,66
Пробіг без вантажу, км:	74 913,59	2 996,54	344,60	169,86
Пробіг без вантажу зворотній хід, км:	66 663,59	2 666,54	306,65	151,15
Пробіг без вантажу подача, км:	8 250,00	330,00	37,95	18,71
Загальний пробіг, км:	146 652,72	5 866,11	674,60	332,52
Об'єм роботи, т*км:	1 650 000,00	66 000,00	7 590,00	3 741,22

Рис. 3.11. Планові показники перевезення

Джерело: Складено автором

Згідно з планом, для перевезення 5000 тонн кукурудзи потрібно виконати близько 217 рейсів, тобто по 9 рейсів на кожне авто. Увесь вантаж планується доставити за 18 днів. Загальний пробіг складе 146 652,72 км, а обсяг роботи — 1 650 000 тонно-кілометрів.

Зазвичай при встановленні тарифу закладається 20% прибутковості. Проте через повномасштабну війну, блокування портів і збільшення кількості зерновозів на ринку, розцінки знизилися на 25-30% порівняно з аналогічним

періодом минулого року. Це зменшує очікуваний прибуток, і компанія вимушена приймати нижчі прибуткові показники.

Маржа, %:	35,23
Точка беззбитковості без ПДВ, грн:	213 541 085,80
Прибутковість, %:	8,90
Націнка, %:	9,77

Рис. 3.12. Розрахунок планової прибутковості перевезення «Елеватор» – «Порт»

Джерело: Складено авторкою

Під час перевезення на експорт зростає кількість факторів, що впливають на час доставки. Основні з них:

- пропускна здатність порту;
- час прибуття судна до порту;
- обстріли маршрутів транспортування.

Для компенсації можливих витрат запроваджується додаткове часове обмеження, що узгоджується із замовником. Стандартний договір передбачає завантаження/розвантаження протягом 24 годин з моменту прибуття авто. Якщо час очікування перевищує 48 годин, застосовується «оплата за простій». За кожну добу простою понад 2 дні до вартості додається 1500 грн (з ПДВ), що частково покриває фінансові втрати через неефективне використання транспорту.



Рис. 3.13. Результати моделювання фактичного часу перевезення, год

Джерело: Складено авторкою

Середній час аналогічного перевезення місяць тому склав 37 годин, що менше за плановий показник. Завдяки цьому прибутковість компанії зросла до 22%. Водночас додаткові витрати на зерно склали 1200 грн з ПДВ за тонну, або приблизно 32,5 \$/т..



Рис. 3.14. Аналіз прибутковості перевезення, %

Джерело: Складено авторкою

Під час попереднього перевезення знизилась кількість обстрілів Одеської області, що дозволило скоротити час і зменшити витрати. Основними факторами, які впливають на витрати, є час і кілометраж. Також

важливо враховувати безпеку: до загального кілометражу додається 10% запасу для можливих від'їздів під час тривоги. Вартість простоїв покриває втрати часу на ці від'їзди, де прямі витрати включені в базову ставку, а накладні – в додаткові платежі.

Наступний етап – фрахт із порту до порту. Фрахтування між портами сприяє продовольчій безпеці та оптимізації логістики. Через війну портова інфраструктура працює в умовах невизначеності. У 2022-2023 роках «зерновий коридор» забезпечував роботу портів 24/7. Зараз завантаження суден триває втричі довше, а черги на перевірку займають місяці.

Для доставки кукурудзи в Єгипет середній фрахт Чорне море – Єгипет коштує 40 \$/т, перевалка – 25 \$/т, а простої – 12 \$/т. Справедлива ціна фрахту становить 28 \$, але реальна вартість сягає 78 \$/т, що в 2,8 рази більше. Для оптимізації морського перевезення необхідно мінімізувати час перевалки зерна з автомобілів на судно.

Висновки до третього розділу

В умовах сьогоденної невизначеності для оптимізації перевезень необхідно враховувати всі можливі чинники. Основні кроки для покращення ефективності включають:

1. Перегляд тарифів з урахуванням зміни цін на паливо, яке складає близько 35% загальних витрат на перевезення.
2. Розробка альтернативних маршрутів на основі статистики обстрілів і рекомендацій Міністерства оборони. Запасні маршрути мають враховувати стан мостів і доріг, а також можливість оперативного перенаправлення транспорту під час загроз.
3. Забезпечення безпеки в зонах підвищеного ризику через організацію нових пунктів перевалки, складів або використання зернових рукавів для зберігання, що мінімізує ризики для водіїв, особливо в Чернігівській та Харківській областях.

4. Оптимізація маршрутів логістами, враховуючи завантаження поза комендантськими годинами, а також планування зупинок для заправки та відпочинку водіїв.

5. Додавання запасу часу та кілометражу для компенсації можливих затримок через обстріли або несприятливі погодні умови (наприклад, негода в Одеській області у листопаді 2023 року).

6. Ефективне управління морськими перевезеннями. Війна ускладнила морську логістику, спричинивши затримки та блокади. Гнучкість, оперативне реагування та співпраця з державними структурами дозволяють мінімізувати ризики й витрати під час перевезень.

Ці заходи допоможуть забезпечити більш стабільний і безпечний експорт зерна в умовах воєнного конфлікту.

ВИСНОВКИ

Моделювання транспортної логістики зернового експорту в умовах війни є важливим завданням, яке вимагає урахування багатьох чинників. У магістерській роботі розроблено модель транспортування сільськогосподарських культур за напрямом: «Поле» – «Елеватор» – «Порт» – «Кінцевий порт».

1. Проаналізовано зміни в транспортній логістиці України під час війни. Внаслідок недоступності основних шляхів експорту були розроблені нові маршрути у співпраці з Міноборони.

2. Визначено основні критерії, що впливають на логістику зернового експорту: зони збереження зерна, дорожня інфраструктура, точки перевалок і безпечність шляхів.

3. Розроблено економіко-математичну модель, що охоплює всі етапи транспортування зерна.

4. Проаналізовано критерії моделювання транспортування в умовах невизначеності, зокрема популярну схему «багато до багатьох» і методи доставки, зокрема CPT та CFR.

5. Розроблено модель багатоетапного транспортування з обмеженнями по перевалках, використанням автоперевезень і морських шляхів, з мінімізацією витрат. Основним чинником є час, який можна скоротити за допомогою експертних рішень логістів.

6. Визначено ризики збільшення витрат через обстріли, що покриваються додатковим договором і оплатою за «простої» з боку компанії-замовника.

7. Реалізовано модель на прикладі транспортування кукурудзи до Єгипту.

8. Рекомендовано оптимізувати транспортну логістику через розробку нових безпечних маршрутів, коригування цін на паливо, застосування експертних рішень та додаткові планові витрати для покриття ризиків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Є. В. Крикавський. Логістика для економістів: підручник для студентів та викладачів ВНЗ: присвячений 170-річчю Національного університету «Львівська політехніка» і 70-річчю кафедри маркетингу та логістики; Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». 2-ге вид., Видавництво Львівської політехніки, 2014. 476 с.
2. Дудар Т. Г., Волошин Р. В. Основи логістики: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2012. 176 с.
3. United Nations: Department Of Economic and Social Affairs. UN Comtrade Database. URL: <https://comtradeplus.un.org> (дата звернення 08.12.2023)
4. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Місце України у світовому виробництві. URL: <https://minagro.gov.ua>
5. ТОВ "Топ ЛІД" та ТОВ "Латифундист медіа": Агробізнес під час війни. Інфографічний довідник 2021–2022., URL: <https://agribusinessinukraine.com> (дата звернення 10.12.2023)
6. Значення логістики для агропромислового комплексу; Ефективна економіка № 8, 2015.
7. Н. Г. Бережна, О. С. Біляєва, В. А. Войтов, О. М. Горяїнов, М. В. Карнаух, А. Г. Кравцов, О. В. Кутя, Д. О. Музильов, Н. Ю. Шраменко. Проблеми транспортно-логістичного забезпечення в аграрній галузі. Монографія. Харків, Україна: Міськдрук, 2019.
8. Н. М. Столбуненко. Особливості та перспективи розвитку зернової логістики України, Ринкова економіка: сучасна теорія та практика управління. Том 16, вип. 2(36), 2017. с.188-198.
9. Логістика автомобільного транспорту: Навч. Посібник/ В.С. Лукінський, В.І. Бережний, Є.В. Бережна та ін., Фінанси та статистика, 2004. 368с.
10. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL : <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 15.12.2023)

11. Скриньковський Р.М., Костюк Н.Р., Коваль Н.М., Галелюк М.М. Діагностика транспортної діяльності як складової логістичної системи підприємства. Проблеми економіки, 2016. №2. С. 123–128.
12. Вітлінський В. В., Скіцько В. І. Концептуальні засади моделювання та управління логістичним ризиком підприємства: Проблеми , 2013. С. 246-253.
13. Гражевська Н.І. Еволюція сучасних економічних систем: навч. посібник. Київ: Знання, 2011. 258 с.
14. Понад 20 мільйонів тонн зерна заблоковані РФ в українських портах (2022).
URL:https://zaxid.net/ponad_20_milyoniv_tonn_zerna_zablokovani_rf_v_ukrayinskih_po_rtah_n1543200 (дата звернення 15.12.2023)
15. War in Ukraine: Twelve disruptions changing the world. (2022). URL: <http://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/war-in-ukraine-twelve-disruptions-changing-the-world> (дата звернення 15.12.2023)
16. Економічна безпека: Навч. посібник/ О.Є. Користін, О.І. Барановська, Л.В. Герасименко та ін. / За ред. О.М. Джужі. – Київ: Алерта, КНТ, Центр навчальної літератури, 2010. 368 с.
17. Крикавський Є.В., Похильченко О. А., Фертч М. Логістика та управління ланцюгами поставок: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. 844 с.
18. Ларіна Р.Р., Корецька С. О. Концепція формування корпоративної системи логістичного управління: Вісник економіки транспорту і промисловості, 2013. С. 378 - 381.
19. Рені, Ізмаїл та Усть-Дунайськ працюють на межі можливостей — голова морських портів України (2022). URL: <https://latifundist.com/novosti/59385-reniizmayil-ta-ust-dunajsk-pratsyuyut-na-mezhi-mozhливостей-golova-morskih-portiv-ukrayini>. (дата звернення 29.10.2023)

20. Ukraine agri-export rail capacity up, but remains scant (2022). URL: <https://www.argusmedia.com/en/news/2332661-ukraine-agriexport-rail-capacity-upbut-remains-scant>. (дата звернення 29.11.2023)
21. Математичне та комп'ютерне моделювання економічних процесів: [монографія] / З. М. Соколовська, В. М. Андрієнко, І. Ю. Івченко та ін.; за заг. ред. З. М. Соколовської. Одеса: Астропринт, 2016. 308 с.
22. Нарощування українського експорту в ЄС: Україна та Польща домовились створити спільне логістичне підприємство (2022). URL: <https://mtu.gov.ua/news/33526.html> (дата звернення 30.11.2023)
23. Логістика та міжнародна торгівля в Україні в умовах війни/ European Business Association, Київ, 2022.
24. І.Г. Смирнов, Т.В. Косарева. Транспортна логістика: навчальний посібник для вузів. К.: Центр учбової літератури, 2008. 224 с.
25. Війна в Україні: економіка, бізнес, логістика, допомога. URL: <https://trans.info/ru/viyna-v-ukrayini-ekonomika-biznes-logistika-dopomoga-279148> (дата звернення 29.10.2023)
26. Заблоковані порти: логістика агропродукції здорожчала в 4 рази. URL: <https://agroportal.ua/news/ukraina/zablokovani-porti-logistika-agroprodukcijizdorozhchala-v-4-razi> (дата звернення 29.10.2023)
27. Як змінилась логістика в Україні за місяць війни в компанії Zammler. URL: <https://logist.fm/publications/yak-zminilas-logistika-v-ukrayini-za-misyac-viyni> (дата звернення 12.12.2023)
28. Логістика війни. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/perevezennya-v-ukrajini-pidchas-viyni-gumanitarni-vantazhi-obmezhennya-na-perevezennya-50231625.html> (дата звернення 12.12.2023)
29. Karpenko, O., Horbenko, A., Vovk, Y., & Tson, O. Research of the structure and trends in the development of the logistics market in Ukraine: Journal Of Sustainable Development Of Transport And Logistics, 2017. 57-66.
30. M. Christopher: Logistics & Supply Chain Management: creating valueadding networks, Prentice Hall, 2010.

31. Жалдак Г.П. Дем'ян А.Л. Шляхи удосконалення логістичної діяльності підприємства. Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи: Матеріали І міжнародної науково–практичної конференції. м. Київ, 23 квітня 2020р. Київ, 2020. С. 208–209.
32. Економіка логістичних систем: Монографія / М. Васелевський, І. Білик, О. Дейнега, Є. Крикавський, Л. Якимишин та ін.; За наук. ред. Є. Крикавського та С. Кубіва. Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2018. С.534–549.
33. Макалюк І., С.Зінчук. Сучасний стан та передумови розвитку транспортно-логістичного бізнесу в Україні. URL: <http://sb-keip.kpi.ua/article/view/90752> (дата звернення 12.12.2023)
34. Виробництво зернових в Україні. URL: <http://info-terra.com.ua/proizvodstvo-zernovykh-u.html> (дата звернення 29.11.2023)
35. Крикавський Є.В. Логістичне управління: підручник. Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2005. 684 с
36. Кюрчев С.В., Верхоланцева В.О., Кюрчева Л.М. Перспективний підхід у зберіганні зернових культур. *Machiner & Energetics*. 2019. Vol. 10, № 1. С. 195-201.
37. Мардзявко В. А. Аналіз організації керування обладнанням для забезпечення транспортування зернової продукції на елеваторах. *Інженерія природокористування*, 2020. № 4. С. 35-41.
38. Нікогосян Н.І., Титок В.В., Цяцько О.О. Дослідження інфраструктури та вибір місця будівництва складу: логістичний підхід. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 23. С. 61-66.
39. Grant Robert M. *Contemporary Strategy Analysis*, 2012. - 537 с.
40. Moynihan, G.P., Raj, P.S., Sterling, J.U., and Nichols, W.G. (1995) Decision support system for strategic logistics planning. *Computers in industry*, 26, p. 75- 84.
41. Salam, M.A., and Khan, S.A. (2016) Simulation based decision support system for optimization: A case of Thai logistics service provider. *Industrial Management & Data Systems*, 116, p. 236-254.

42. Мироненко В. К. Транспортна інтероперабельність та мультимодальні рішення. Доповідь засідання Національного круглого столу з питань оновлення Національної транспортної стратегії України (НТС) до 2030 року – (2019).
43. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2011. 170 с.
44. Лукинський В.С., Бережний В.І. та ін. Логістика автомобільного транспорту: концепція, методи, моделі. М.: Фінанси і статистика, 2002. 280с.
45. Грабовецкий Б. Є. Основи економічного прогнозування : навч. посіб. Вінниця : ВФ ТАНГ, 2000. 209 с.
46. Kleinbaum D.G., Logistic regression. A self-learning text, Springer-Verlag, 1994.
47. Burges C.J.C. A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition, Data Mining and Knowledge Discovery 2:121–167, 1998
48. Incoterms 2020. URL: <https://www.incoterms.zed.ua/>. (дата звернення 19.12.2023)
49. Постан М.Я., Крук Ю.Ю. Розробка та аналіз динамічної моделі оптимізації взаємодії транспортних потоків на портовому терміналі. Східноєвропейський журнал передових технологій, 2016. № 1/3 (79). С. 19-23..
50. Інформаційний сервіс «Вантажні перевезення в Україні». URL: <https://ukrvantage.com/category/automotive> (дата звернення 01.12.2023)
51. Velychko, O., Velychko, L. & Ramanauskas, J. Transformation and development of production-logistics enterprises in Ukrainian agrarian economy. Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development, 2016. vol. 38, no. 1, pp. 70–87.
52. Качуровський С.В. Функціонально-вартісний аналіз логістики складування підприємств АПК. Вісник Національного університету «Львівська політехніка», 2013. № 776. С. 128–133.
53. Чухрай Н.І. Логістичне обслуговування. Львів : Львівська політехніка, 2006. 292 с.

54. Потапова Н.А. Перспективи розвитку агрологістики на ринках сільськогосподарських культур. Економіка. Фінанси. Менеджмент, 2017. № 1. С. 28–36.
55. Крижанівська М.В. Малахова Ю.А. Сучасні підходи до удосконалення перевезень. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Випуск 27, частина 1. 2019 С. 88-92. URL: http://www.visnyk-econom.uzhnu.uz.ua/archive/27_1_2019ua/19.pdf. (дата звернення 12.12.2023)
56. Проблеми розвитку мультимодальних перевезень в Україні. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5582> (дата звернення 12.12.2023)
57. Функціонування транспортного сектору України в умовах правового режиму воєнного стану. URL: <https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/funktsionuvannya-transportnohosektoru-ukrayiny-v-umovakh-pravovoho> (дата звернення 13.12.2023)
58. Україна отримала історичний шанс відродити Придунайський регіон і підняти мільярди, втоплені на дні річки. DeepState. URL: <https://deepstateua.com/ukrayina-maieistorichnii-shans-zadovolniti-svii-natsionalnii-intieries-na-dunayi/> (дата звернення 12.12.2023)
59. І. Смирнов, Т. Косарева. Транспортна логістика: навчальний посібник. Видавництво: Центр навчальної літератури, 2019. 224 с.
60. С. А. Попель, О. В. Неліпович, К. Д. Мотюк. Міжнародні морські вантажні перевезення: сучасний стан та перспективи участі в них України: науковий вісник Ужгородського університету. Сер : Економіка. 2013. с.200-204.

ДОДАТКИ

Додаток А

Топ-експортери зернових культур

1206 Sunflower seeds		
1	Ukraine	2 767 006
2	Romania	1 453 463
3	Bulgaria	660 228
4	France	656 820
5	China	444 831
6	Rep. of Moldova	434 226

151211 Vegetable oils: sunflower oil		
1	Ukraine	3 803 234
2	Bulgaria	787 002
3	Argentina	722 304
4	Netherlands	445 987
5	Türkiye	439 592
6	Hungary	350 504

1205 Rape or colza seeds		
1	Australia	6 480 443
2	Canada	5 664 673
3	Ukraine	3 136 246
4	Romania	1 021 306
5	France	996 254
6	Lithuania	637 587

1005 Maize (Corn)		
1	USA	58 595 499
2	Brazil	43 402 291
3	Argentina	35 409 336
4	Ukraine	25 176 653
5	Romania	5 539 732
6	France	5 154 604

1003 Barley		
1	Australia	8 002 360
2	France	5 572 276
3	Argentina	3 684 544
4	Germany	3 073 314
5	Ukraine	2 144 355
6	Canada	2 131 830

1001 Wheat		
1	Australia	28 781 090
2	USA	20 918 773
3	France	20 151 557
4	Canada	18 566 001
5	Argentina	12 938 182
6	Ukraine	11 223 216

Джерело: Розраховано за даними [3]

Додаток Б

Аналітика перевезення «Поле» – «Елеватор»

Номер операції	Пункт завантаження	Пункт розвантаження	Час всього на рейс, год	Прибутковість, %
1	Поле	Елеватор	50,83	-167%
2	Поле	Елеватор	32,33	-121%
3	Поле	Елеватор	31,00	-136%
4	Поле	Елеватор	33,33	-152%
5	Поле	Елеватор	32,50	-159%
6	Поле	Елеватор	32,51	-228%
7	Поле	Елеватор	33,67	-131%
8	Поле	Елеватор	20,67	19%
9	Поле	Елеватор	8,33	46%
10	Поле	Елеватор	22,00	18%
11	Поле	Елеватор	25,33	19%
12	Поле	Елеватор	24,58	14%
13	Поле	Елеватор	11,00	1%
14	Поле	Елеватор	34,33	1%
15	Поле	Елеватор	29,00	12%
16	Поле	Елеватор	30,50	-18%
17	Поле	Елеватор	12,75	-35%
18	Поле	Елеватор	5,50	52%
19	Поле	Елеватор	12,50	37%
20	Поле	Елеватор	5,50	48%
21	Поле	Елеватор	7,00	12%
22	Поле	Елеватор	4,50	48%
23	Поле	Елеватор	18,33	23%

24	Поле	Елеватор	6,33	42%
25	Поле	Елеватор	9,92	45%
26	Поле	Елеватор	22,00	-24%
27	Поле	Елеватор	6,00	49%
28	Поле	Елеватор	10,00	53%
29	Поле	Елеватор	6,42	49%
30	Поле	Елеватор	5,00	44%
31	Поле	Елеватор	6,83	50%
32	Поле	Елеватор	3,00	52%
33	Поле	Елеватор	12,25	41%
34	Поле	Елеватор	3,00	51%
35	Поле	Елеватор	8,00	28%
36	Поле	Елеватор	10,67	42%
37	Поле	Елеватор	5,25	47%
38	Поле	Елеватор	5,00	53%
39	Поле	Елеватор	7,33	47%
40	Поле	Елеватор	6,67	46%
41	Поле	Елеватор	6,00	47%
42	Поле	Елеватор	6,17	47%
43	Поле	Елеватор	5,50	49%
44	Поле	Елеватор	6,67	51%
45	Поле	Елеватор	8,58	46%
46	Поле	Елеватор	19,50	21%
47	Поле	Елеватор	5,92	44%
48	Поле	Елеватор	11,50	20%

49	Поле	Елеватор	9,50	42%
50	Поле	Елеватор	32,83	-4%
51	Поле	Елеватор	7,50	21%
52	Поле	Елеватор	9,83	37%
53	Поле	Елеватор	7,58	34%
54	Поле	Елеватор	9,92	31%
55	Поле	Елеватор	23,08	-124%
56	Поле	Елеватор	26,33	-16%
57	Поле	Елеватор	11,50	39%
58	Поле	Елеватор	20,08	-77%
59	Поле	Елеватор	4,08	52%
60	Поле	Елеватор	36,50	-152%
61	Поле	Елеватор	8,33	39%
62	Поле	Елеватор	9,00	37%
63	Поле	Елеватор	8,25	39%
64	Поле	Елеватор	4,00	49%
65	Поле	Елеватор	7,50	37%
66	Поле	Елеватор	3,75	52%
67	Поле	Елеватор	7,00	49%
68	Поле	Елеватор	6,33	42%
69	Поле	Елеватор	4,58	53%
70	Поле	Елеватор	7,08	50%
71	Поле	Елеватор	6,83	42%
72	Поле	Елеватор	8,25	40%
73	Поле	Елеватор	8,50	45%

74	Поле	Елеватор	10,00	38%
75	Поле	Елеватор	11,00	51%
76	Поле	Елеватор	7,08	49%
77	Поле	Елеватор	3,50	88%
78	Поле	Елеватор	8,50	41%
79	Поле	Елеватор	5,00	47%
80	Поле	Елеватор	7,00	41%
81	Поле	Елеватор	8,67	41%
82	Поле	Елеватор	17,83	23%
83	Поле	Елеватор	4,17	62%
84	Поле	Елеватор	8,00	54%
85	Поле	Елеватор	36,00	-122%
86	Поле	Елеватор	11,67	31%
87	Поле	Елеватор	6,75	42%
88	Поле	Елеватор	2,92	49%
89	Поле	Елеватор	14,50	32%
90	Поле	Елеватор	4,67	46%
91	Поле	Елеватор	6,25	42%
92	Поле	Елеватор	3,83	52%
93	Поле	Елеватор	26,17	-81%
94	Поле	Елеватор	12,42	37%
95	Поле	Елеватор	4,67	45%
96	Поле	Елеватор	4,50	44%
97	Поле	Елеватор	14,67	31%
98	Поле	Елеватор	7,33	44%

99	Поле	Елеватор	14,00	32%
100	Поле	Елеватор	5,50	44%
101	Поле	Елеватор	4,17	46%
102	Поле	Елеватор	3,17	49%
103	Поле	Елеватор	7,00	40%
104	Поле	Елеватор	9,08	43%
105	Поле	Елеватор	3,00	49%
106	Поле	Елеватор	7,25	42%
107	Поле	Елеватор	8,00	35%
108	Поле	Елеватор	6,00	46%
109	Поле	Елеватор	9,00	-39%
110	Поле	Елеватор	8,50	28%
111	Поле	Елеватор	3,50	50%
112	Поле	Елеватор	7,83	40%
113	Поле	Елеватор	6,83	41%
114	Поле	Елеватор	5,67	47%
115	Поле	Елеватор	4,67	46%
116	Поле	Елеватор	12,83	-38%
117	Поле	Елеватор	7,17	44%
118	Поле	Елеватор	4,75	49%
119	Поле	Елеватор	7,58	41%
120	Поле	Елеватор	5,92	32%
121	Поле	Елеватор	15,50	29%
122	Поле	Елеватор	5,67	44%
123	Поле	Елеватор	19,33	-36%

124	Поле	Елеватор	5,33	46%
125	Поле	Елеватор	19,17	16%
126	Поле	Елеватор	7,00	42%
127	Поле	Елеватор	5,83	41%
128	Поле	Елеватор	18,50	14%
129	Поле	Елеватор	6,17	48%
130	Поле	Елеватор	5,25	51%
131	Поле	Елеватор	15,17	26%
132	Поле	Елеватор	16,67	23%
133	Поле	Елеватор	5,50	43%
134	Поле	Елеватор	12,92	24%
135	Поле	Елеватор	17,00	-80%
136	Поле	Елеватор	5,00	45%
137	Поле	Елеватор	19,08	13%
138	Поле	Елеватор	7,42	36%
139	Поле	Елеватор	36,00	-141%
140	Поле	Елеватор	9,00	38%
141	Поле	Елеватор	8,58	19%
142	Поле	Елеватор	15,50	30%
143	Поле	Елеватор	8,25	37%
144	Поле	Елеватор	12,25	31%
145	Поле	Елеватор	4,83	46%
146	Поле	Елеватор	16,67	16%
147	Поле	Елеватор	6,83	35%
148	Поле	Елеватор	9,33	33%

149	Поле	Елеватор	4,00	53%
150	Поле	Елеватор	7,92	43%
151	Поле	Елеватор	3,17	45%
152	Поле	Елеватор	7,50	43%
153	Поле	Елеватор	14,67	11%
154	Поле	Елеватор	7,83	41%
155	Поле	Елеватор	12,75	31%
156	Поле	Елеватор	8,08	42%
157	Поле	Елеватор	4,75	46%
158	Поле	Елеватор	5,50	30%
159	Поле	Елеватор	17,00	17%
160	Поле	Елеватор	8,00	41%
161	Поле	Елеватор	31,83	-121%
162	Поле	Елеватор	6,08	40%
163	Поле	Елеватор	14,42	25%
164	Поле	Елеватор	8,42	32%
165	Поле	Елеватор	6,58	42%
166	Поле	Елеватор	8,50	38%
167	Поле	Елеватор	14,83	26%
168	Поле	Елеватор	14,17	-69%
169	Поле	Елеватор	10,50	32%
170	Поле	Елеватор	10,58	39%
171	Поле	Елеватор	14,00	34%
172	Поле	Елеватор	24,17	11%
173	Поле	Елеватор	9,75	36%

174	Поле	Елеватор	10,08	41%
175	Поле	Елеватор	10,75	40%
176	Поле	Елеватор	8,50	39%
177	Поле	Елеватор	9,33	33%
178	Поле	Елеватор	18,08	-2%
179	Поле	Елеватор	4,50	50%
180	Поле	Елеватор	8,83	39%
181	Поле	Елеватор	15,50	1%
182	Поле	Елеватор	7,50	33%
183	Поле	Елеватор	8,25	39%
184	Поле	Елеватор	7,25	39%
185	Поле	Елеватор	7,67	31%
186	Поле	Елеватор	4,08	50%
187	Поле	Елеватор	9,17	38%
188	Поле	Елеватор	10,25	23%
189	Поле	Елеватор	8,25	42%
190	Поле	Елеватор	7,92	45%
191	Поле	Елеватор	16,00	26%
192	Поле	Елеватор	10,58	-22%
193	Поле	Елеватор	4,75	46%
194	Поле	Елеватор	15,17	25%
195	Поле	Елеватор	6,00	43%
196	Поле	Елеватор	4,00	48%
197	Поле	Елеватор	14,00	27%
198	Поле	Елеватор	9,00	45%

199	Поле	Елеватор	6,50	45%
200	Поле	Елеватор	13,33	33%
201	Поле	Елеватор	7,33	41%
202	Поле	Елеватор	12,83	20%
203	Поле	Елеватор	8,33	48%
204	Поле	Елеватор	6,17	47%
205	Поле	Елеватор	12,25	35%
206	Поле	Елеватор	6,42	43%
207	Поле	Елеватор	7,58	36%
208	Поле	Елеватор	11,58	25%
209	Поле	Елеватор	8,83	46%
210	Поле	Елеватор	13,33	37%
211	Поле	Елеватор	4,17	52%
212	Поле	Елеватор	4,50	49%
213	Поле	Елеватор	4,83	53%
214	Поле	Елеватор	7,00	51%
215	Поле	Елеватор	11,50	34%
216	Поле	Елеватор	4,58	46%
217	Поле	Елеватор	8,00	40%
218	Поле	Елеватор	16,75	27%
219	Поле	Елеватор	3,00	52%
220	Поле	Елеватор	22,50	19%
221	Поле	Елеватор	8,75	46%
222	Поле	Елеватор	5,83	42%
223	Поле	Елеватор	11,50	30%

224	Поле	Елеватор	6,75	53%
225	Поле	Елеватор	8,83	48%
226	Поле	Елеватор	18,42	16%
227	Поле	Елеватор	7,75	48%
228	Поле	Елеватор	9,67	-20%
229	Поле	Елеватор	10,50	39%
230	Поле	Елеватор	7,83	48%
231	Поле	Елеватор	6,42	44%
232	Поле	Елеватор	5,50	50%
233	Поле	Елеватор	9,00	42%
234	Поле	Елеватор	8,92	45%
235	Поле	Елеватор	7,50	43%
236	Поле	Елеватор	12,67	37%
237	Поле	Елеватор	28,83	13%
238	Поле	Елеватор	6,75	43%
239	Поле	Елеватор	8,25	42%
240	Поле	Елеватор	7,67	46%
241	Поле	Елеватор	7,67	45%
242	Поле	Елеватор	11,50	40%
243	Поле	Елеватор	9,08	44%
244	Поле	Елеватор	5,50	44%
245	Поле	Елеватор	15,50	33%
246	Поле	Елеватор	11,00	-31%
247	Поле	Елеватор	6,42	-4%
248	Поле	Елеватор	14,33	36%

249	Поле	Елеватор	7,75	48%
250	Поле	Елеватор	39,58	-4%
251	Поле	Елеватор	7,83	47%
252	Поле	Елеватор	12,58	44%
253	Поле	Елеватор	6,25	50%
254	Поле	Елеватор	14,50	38%
255	Поле	Елеватор	10,00	36%
256	Поле	Елеватор	18,00	23%
257	Поле	Елеватор	8,28	44%
258	Поле	Елеватор	2,67	55%
259	Поле	Елеватор	3,50	56%
260	Поле	Елеватор	8,33	44%
261	Поле	Елеватор	17,83	27%
262	Поле	Елеватор	33,00	7%
263	Поле	Елеватор	14,50	31%
264	Поле	Елеватор	27,00	8%
265	Поле	Елеватор	28,58	18%
266	Поле	Елеватор	26,50	8%
267	Поле	Елеватор	6,00	50%
268	Поле	Елеватор	12,92	38%
269	Поле	Елеватор	28,75	11%
270	Поле	Елеватор	38,00	0%
271	Поле	Елеватор	7,50	46%
272	Поле	Елеватор	27,33	8%
273	Поле	Елеватор	4,17	53%

274	Поле	Елеватор	4,92	50%
275	Поле	Елеватор	6,83	47%
276	Поле	Елеватор	7,92	49%
277	Поле	Елеватор	6,17	1%
278	Поле	Елеватор	9,17	48%
279	Поле	Елеватор	7,83	46%
280	Поле	Елеватор	6,50	45%
281	Поле	Елеватор	7,83	47%
282	Поле	Елеватор	37,25	-7%
283	Поле	Елеватор	5,50	50%
284	Поле	Елеватор	8,42	44%
285	Поле	Елеватор	5,83	46%
286	Поле	Елеватор	5,50	48%
287	Поле	Елеватор	4,83	51%
288	Поле	Елеватор	28,25	17%
289	Поле	Елеватор	15,50	29%
290	Поле	Елеватор	4,50	50%
291	Поле	Елеватор	7,50	49%
292	Поле	Елеватор	12,00	41%
293	Поле	Елеватор	9,00	44%
294	Поле	Елеватор	43,50	-13%
295	Поле	Елеватор	9,50	43%
296	Поле	Елеватор	28,00	4%
297	Поле	Елеватор	5,25	51%
298	Поле	Елеватор	7,50	51%

299	Поле	Елеватор	5,75	52%
300	Поле	Елеватор	8,83	45%
301	Поле	Елеватор	10,58	-11%
302	Поле	Елеватор	25,00	13%
303	Поле	Елеватор	7,50	45%
304	Поле	Елеватор	17,17	33%
305	Поле	Елеватор	10,83	41%
306	Поле	Елеватор	11,17	-12%
307	Поле	Елеватор	7,17	46%
308	Поле	Елеватор	8,92	49%
309	Поле	Елеватор	20,75	23%
310	Поле	Елеватор	15,00	23%
311	Поле	Елеватор	5,83	38%
312	Поле	Елеватор	6,00	47%
313	Поле	Елеватор	15,00	21%
314	Поле	Елеватор	13,00	26%
315	Поле	Елеватор	15,67	24%
316	Поле	Елеватор	17,33	31%
317	Поле	Елеватор	9,50	46%
318	Поле	Елеватор	10,50	31%
319	Поле	Елеватор	9,25	44%
320	Поле	Елеватор	12,42	29%
321	Поле	Елеватор	10,17	44%
322	Поле	Елеватор	15,58	28%
323	Поле	Елеватор	6,50	39%

324	Поле	Елеватор	7,00	35%
325	Поле	Елеватор	14,00	-90%
326	Поле	Елеватор	7,50	37%
327	Поле	Елеватор	7,50	44%
328	Поле	Елеватор	4,00	49%
329	Поле	Елеватор	5,50	47%
330	Поле	Елеватор	12,50	34%
331	Поле	Елеватор	5,00	51%
332	Поле	Елеватор	8,00	46%
333	Поле	Елеватор	8,50	31%
334	Поле	Елеватор	8,50	32%
335	Поле	Елеватор	8,50	-3%
336	Поле	Елеватор	18,00	37%
337	Поле	Елеватор	20,50	19%
338	Поле	Елеватор	5,33	89%
339	Поле	Елеватор	12,50	36%
340	Поле	Елеватор	11,00	44%
341	Поле	Елеватор	12,42	38%
342	Поле	Елеватор	17,50	34%
343	Поле	Елеватор	22,60	12%
344	Поле	Елеватор	16,73	-69%
345	Поле	Елеватор	11,83	28%
346	Поле	Елеватор	12,67	32%
347	Поле	Елеватор	19,12	27%
348	Поле	Елеватор	18,75	31%

349	Поле	Елеватор	13,00	30%
350	Поле	Елеватор	29,33	17%
351	Поле	Елеватор	21,67	17%
352	Поле	Елеватор	7,83	40%
353	Поле	Елеватор	9,50	45%
354	Поле	Елеватор	14,00	38%
355	Поле	Елеватор	8,00	51%
356	Поле	Елеватор	14,42	24%
357	Поле	Елеватор	9,67	47%
358	Поле	Елеватор	8,42	12%
359	Поле	Елеватор	8,25	38%
360	Поле	Елеватор	16,67	25%
361	Поле	Елеватор	6,00	45%
362	Поле	Елеватор	11,50	39%
363	Поле	Елеватор	5,50	37%

Джерело: Розраховано за даними підприємства

Додаток В

Програмний код до моделі

```

from pulp import LpProblem, LpVariable, lpSum, LpMinimize

Дані
m = 4   кількість елеваторів
p = 4   кількість вузлів перевалки
n = 3   кількість точок призначення h
= 3     кількість видів транспорту
TC = 0   сукупні витрати компанії (початкове значення, яке буде мінімізовано) v
= 1     загальний кілометраж на рік (км/рік)
Tkj = [[1, 2, 3], [4, 5, 6], [7, 8, 9]]   час перевезення від k-того вузла перевалки в j-тий вузол
призначення, діб

Створення моделі
model = LpProblem(name="Transportation_Problem", sense=LpMinimize)

Створення змінних рішення
X = LpVariable.dicts("X", ((i, k, t) for i in range(1, m + 1) for k in range(1, p + 1) for t in range(1,
h + 1)), lowBound=0)
x = LpVariable.dicts("x", ((k, j) for k in range(1, p + 1) for j in range(1, n + 1)), lowBound=0)

Об'єктивна функція (мінімізація)
model += lpSum(C * X[i, k, t] * Tkj[k-1][j-1] for i in range(1, m + 1) for k in range(1, p + 1) for t
in range(1, h + 1) for j in range(1, n + 1)) \
+ lpSum(f * x[k, j] for k in range(1, p + 1) for j in range(1, n + 1))

Обмеження
for i in range(1, m + 1):
    model += lpSum(X[i, k, t] for k in range(1, p + 1) for t in range(1, h + 1)) <= a_i[i-1]
for k in range(1, p + 1):
    model += lpSum(X[i, k, t] for i in range(1, m + 1) for t in range(1, h + 1)) <= d_k[k-1]
for j in range(1, n + 1):
    model += lpSum(x[k, j] for k in range(1, p + 1)) == b_j[j-1]
for k in range(1, p + 1):
    model += lpSum(X[i, k, t] for i in range(1, m + 1) for t in range(1, h + 1)) \
    == lpSum(x[k, j] for j in range(1, n + 1))

Вирішення моделі
model.solve()

Виведення результатів

```

```
print("Status:", model.status)
print("Total Cost (TC):", model.objective.value())
Виведення значень змінних рішення
for var in model.variables():
    print(f"{var.name} = {var.value()}")
```

Джерело: складено автором