

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет механіко технологічний**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО
ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри
транспортних технологій та**
(назва кафедри)

засобів у АПК _____
_____ Савченко Л.А.
(підпис) (ПІБ)

« _____ » _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Удосконалення транспортних процесів при мультимодальних
перевезеннях на прикладі ТОВ «СВ БРОК»**

Спеціальність 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному
транспорті)» _____
(код і назва)

Гарант освітньої програми

К. Т. Н., доцент _____
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Опалко В.Г
(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К. Т. Н., доцент _____
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Опалко В.Г
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Мацкевич В.В.
(ПІБ студента)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет механіко технологічний**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

транспортних технологій та засобів у АПК

Савченко Л. А.

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

« »

2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Мацкевич В.В.

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
(код і назва)

Тема випускної бакалаврської роботи «Удосконалення транспортних процесів при мультимодальних перевезеннях на прикладі ТОВ «СВ БРОК»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 03.02.2026 №350"С"

Термін подання завершеної роботи на кафедру 14 травня 2026 р.
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до випускної бакалаврської роботи:

1. Інформація про компанію ТОВ «СВ БРОК», напрямки розвитку.
2. Програма розвитку мультимодальних перевезень вантажів авіаційним транспортом у 2026 р.
3. Довідкові, транспортно-технологічні характеристики вантажу (зарядні модулі для зарядних станцій), умови його пакування та маркування.

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Особливості мультимодальних перевезень у міжнародній та національній транспортних системах.
2. Аналіз умов мультимодального перевезення вантажу та його транспортно-технологічного забезпечення в умовах ТОВ «СВ БРОК».
3. Удосконалення та оптимізація транспортного процесу мультимодального перевезення зарядних модулів в умовах ТОВ «СВ БРОК».
4. Аналіз ризиків, охорона праці та безпека під час організації мультимодальних перевезень електронного обладнання.

Дата видачі завдання «26» листопада 2025 р.

Керівник випускної бакалаврської роботи _____
(підпис)

Опалко В.Г.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Мацкевич В.В.
(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Дана робота присвячена вдосконаленню логістичних процесів при організації мультимодальних перевезень на прикладі діяльності ТОВ «СВ БРОК». Розвиток сучасного транспортного сектору характеризується переходом до комбінованих схем доставки, де поєднання різних видів транспорту дозволяє досягти максимальної ефективності. У дослідженні розглядається роль мультимодальних систем та аналізується діяльність ТОВ «СВ БРОК» як суб'єкта, що забезпечує інтеграцію українських вантажопотоків у міжнародні ланцюги постачання.

Особлива увага приділена специфіці транспортування зарядних модулів для електромобільних станцій, які потребують суворого дотримання параметрів безпеки, особливого пакування та спеціалізованого маркування. У роботі детально описано повний технологічний цикл: від підготовки товару до особливостей документального супроводу й митного оформлення. Запропоновані заходи з удосконалення процесу базуються на оптимізації взаємодії різних видів транспорту та виборі раціональних маршрутів. Розрахунки показників роботи рухомого складу та економічний аналіз підтверджують, що впровадження запропонованих моделей дозволяє суттєво знизити логістичні витрати.

Завершальний етап дослідження охоплює аналіз ризиків, таких як затримки на пунктах перевалки або пошкодження обладнання, та пропонує заходи з їх мінімізації. Розроблена стратегія захисту вантажу забезпечує високу надійність перевезень у мультимодальних сполученнях. У підсумку, робота доводить, що інтегрований підхід до планування транспортних процесів є необхідною умовою для успішної реалізації проєктів у сегменті високотехнологічного обладнання.

Зміст

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У СВІТІ ТА В УКРАЇНІ	7
1.1. Мультимодальні перевезення у міжнародній транспортній системі	7
1.2. Сучасний стан мультимодальних перевезень в Україні	13
1.3. Загальна характеристика ТОВ «СВ БРОК»	17
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ УМОВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАРЯДНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ У КОНТЕКСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	21
2.1. Транспортно-технологічна характеристика вантажу	21
2.2. Умови пакування, маркування та підготовки до перевезення	25
2.3. Умови навантаження, транспортування та зберігання в мультимодальному ланцюгу	30
2.4. Транспортне забезпечення перевезень вантажу	33
2.5. Документальне оформлення та митні процедури при мультимодальному перевезенні	38
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАРЯДНИХ МОДУЛІВ	40
3.1. Обґрунтування технологічного процесу перевезення	40
3.2. Вибір маршруту перевезення та організація автомобільної доставки	41
3.3 Розрахунок показників роботи автомобіля на маршруті	44
3.4. Економічна оцінка транспортного процесу	53
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ РИЗИКІВ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАХИСТУ ЗАРЯДНИХ МОДУЛІВ ПРИ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ...	56
4.1. Аналіз ризиків при мультимодальних перевезеннях зарядних модулів	56
4.2. Заходи з мінімізації ризиків та стратегія захисту вантажу	59
ВИСНОВКИ	63

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:.....	66
----------------------------------	----

ВСТУП

Актуальність дослідження транспортних процесів при мультимодальних перевезеннях зумовлена стрімкою глобалізацією ринків та необхідністю пошуку найбільш ефективних шляхів доставки високотехнологічних вантажів, таких як зарядні модулі для електромобілів. В умовах сучасного екологічного переходу та активного розвитку інфраструктури електротранспорту в Україні, забезпечення безперебійного постачання критично важливих компонентів стає стратегічним завданням для логістичних операторів. Мультимодальні сполучення дозволяють гармонійно поєднати переваги різних видів транспорту — гнучкість автомобільних перевезень на «останній милі», масштабність морського фрахту та швидкість залізничного транзиту. Для компаній на кшталт ТОВ «СВ БРОК», які працюють у сегменті митно-брокерського супроводу, оптимізація цих ланцюгів постачання є ключовим інструментом мінімізації логістичних витрат та підвищення конкурентоспроможності на міжнародній арені.

Загальні тенденції розвитку галузі свідчать про те, що використання мультимодальних схем стає обов'язковим стандартом для доставки складного обладнання, що потребує особливих умов транспортування. При транспортуванні зарядних модулів особлива увага приділяється транспортно-технологічній характеристиці вантажу, яка вимагає специфічного пакування, дотримання температурного режиму та використання спеціалізованих систем кріплення. Впровадження інноваційних методів управління ризиками та автоматизація документального супроводу при перетині кордонів дозволяють значно скоротити час обороту оборотних коштів підприємства, що підкреслює практичну цінність вдосконалення технологічних процесів у сучасних економічних умовах.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У СВІТІ ТА В УКРАЇНІ

1.1. Мультимодальні перевезення у міжнародній транспортній системі

Мультимодальні перевезення – це система організації та здійснення перевезень, яка використовує різні види транспорту та логістичні мережі для ефективного транспортування вантажів від місця відправлення до місця призначення. У сучасному світі мультимодальні перевезення набувають дедалі більшої популярності та значення, оскільки вони дають змогу знизити витрати, оптимізувати логістичні процеси та забезпечити сталий розвиток.

Мультимодальні (інтермодальні) перевезення здійснюються за допомогою різних видів транспорту, таких як залізничний, автомобільний, повітряний та водний. До переваг мультимодальних перевезень належать їх економічність, кращі можливості відстеження вантажу на всіх етапах ланцюга поставок, ширший асортимент та вища якість логістичних послуг тощо.

Основними факторами, що впливають на зростання ринку мультимодальних перевезень, є:

- позитивна динаміка розвитку міжнародної торгівлі. Впровадження мультимодальних перевезень дозволяє скоротити час обробки вантажу, спростити транспортні процеси та використовувати єдиного перевізника, а також зменшити кількість випадків втрати або крадіжки. Створення сприятливої державної політики для стимулювання розвитку мультимодальних перевезень та зменшення залежності від автомобільного транспорту є однією з найважливіших тенденцій на ринку мультимодальних перевезень. Країни активно інвестують у розвиток мультимодальних логістичних парків, а також у залізничну та водну інфраструктуру для впровадження мультимодальних перевезень і прагнуть знизити логістичні витрати.

- зростаючий попит на екологічні види транспорту та посилення уваги до зменшення вуглецевого сліду ланцюгів постачання. Для досягнення цілей сталого розвитку ключові учасники ринку переходять на екологічні види транспорту, оптимізують та створюють нові маршрути, скорочують порожні рейси та покращують планування використання території. Мультиmodalьні перевезення сприяють раціоналізації інфраструктури, зниженню транспортних та складських витрат, зменшенню енергоспоживання, підвищенню логістичної продуктивності, скороченню викидів CO₂, оптимізації перевезень «від дверей до дверей» та підключенню інфраструктури перевезень сільськогосподарських вантажів до ринків.

- технологічний прогрес. Розвиток таких технологій, як Інтернет речей, автоматизація та штучний інтелект, безпосередньо вплине на поліпшення комунікації, гнучкості, прозорості та ефективності мультиmodalьних перевезень.

Мультиmodalьний транспорт є основним елементом сучасної логістики, проте його ефективність обмежується низкою проблем. Насамперед інфраструктурні обмеження, зокрема недостатня кількість сучасних мультиmodalьних терміналів і обмежена пропускна спроможність транспортних вузлів, призводять до затримок і зростання вартості перевезень. Додатково складність координації між різними перевізниками та відсутність єдиної цифрової платформи управління ускладнюють моніторинг і планування маршрутів. Високі витрати на перевантаження, затримки в портах і на митниці, а також бюрократичні бар'єри ще більше ускладнюють міжнародні перевезення вантажів.

Крім того, мультиmodalьний транспорт стикається з викликами, пов'язаними з екологічною стійкістю та цифровою трансформацією. Значна частка автомобільного транспорту в мультиmodalьних ланцюгах призводить до зростання викидів CO₂, тоді як використання більш екологічних рішень, таких як залізничний і внутрішній водний транспорт, залишається недостатнім. Відсутність автоматизованих систем управління, цифрового

документообігу та штучного інтелекту для оптимізації маршрутів уповільнює транспортні процеси й спричиняє неефективне використання ресурсів.

Для вирішення цих проблем необхідно впроваджувати інтегровані цифрові рішення, розвивати інфраструктуру мультимодальних терміналів і стимулювати використання екологічно чистих видів транспорту, що дасть змогу зробити мультимодальні перевезення більш ефективними, доступними та сталими.

Основна частина дослідження. У логістиці мультимодальних перевезень використовують різні комбінації видів транспорту для забезпечення максимальної ефективності доставки вантажів. До основних моделей мультимодальних перевезень належать:

- повітряно-морські перевезення (Sea-Air transport). Ця модель поєднує економічність морського транспорту зі швидкістю авіаперевезень, що дозволяє значно скоротити час доставки порівняно з виключно морськими маршрутами та водночас зменшити витрати порівняно з повністю авіаційним транспортуванням. Застосовується переважно для перевезення високовартісних і швидкопсувних товарів, таких як електроніка, одяг і взуття;
- автомобільно-повітряні перевезення (Road-Air transport). Така схема передбачає комбіноване використання автомобільного та авіаційного транспорту: вантажі спочатку доставляють автотранспортом до аеропорту, а після авіаперевезення розподіляють до кінцевого пункту призначення. Це ефективне рішення для швидкої доставки в регіони без прямих авіасполучень;
- автомобільно-залізничні перевезення (Rail-Road transport). Поєднання надійності та екологічності залізничного транспорту з гнучкістю автомобільних перевезень робить цю модель однією з найпоширеніших. Вона активно використовується у США та країнах Європи з розвиненою залізничною інфраструктурою і найчастіше застосовується для перевезення контейнеризованих вантажів між логістичними центрами;
- комбінована модель «залізничний – автомобільний – внутрішній водний – морський транспорт» (Rail-Road-Inland Waterway-Sea transport). Ця

схема забезпечує глобальну логістичну підтримку міжнародної торгівлі. Вантажі спочатку транспортують у країні відправлення залізницею, автомобільним або внутрішнім водним транспортом, після чого доставляють морем у порт країни-імпортера, звідки вони знову розподіляються наземними видами транспорту до кінцевого отримувача. Такий підхід широко застосовується для перевезення великих партій товарів, зокрема промислової продукції та сировини;

- модель «сухопутний міст» (Land Bridge transport). Ця концепція передбачає з'єднання двох морських маршрутів сухопутним транспортом між портами, розташованими на різних континентах. Найчастіше для цього використовують залізничний транспорт, що дозволяє скоротити загальний час перевезення. Така схема застосовується, наприклад, для транспортування вантажів між Азією та Європою або між східним і західним узбережжям Північної Америки. Узагальнену схему організації мультимодальних перевезень подано на Рис. 1.1.

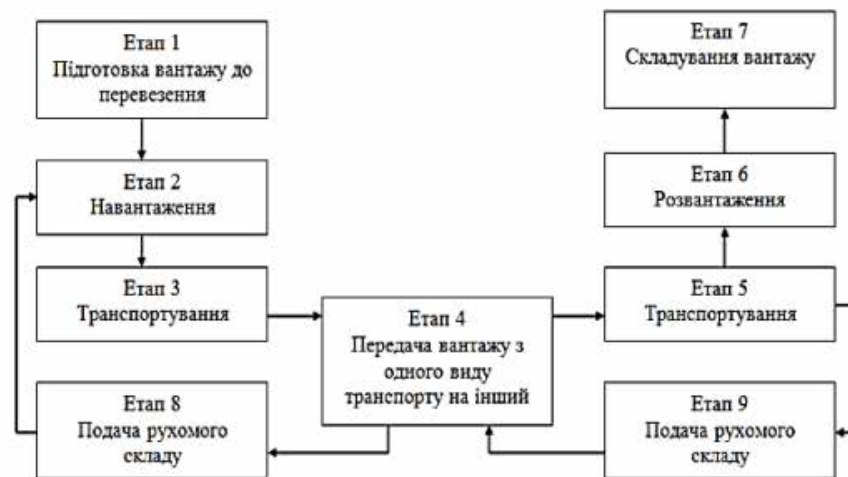


Рисунок 1.1. Узагальнена схема здійснення мультимодальних перевезень

Такий розподіл пояснюють тим, що залізничний транспорт забезпечує високу вантажопідйомність, економічну ефективність та екологічну безпечність, тоді як автомобільний транспорт додає гнучкості на коротких

дистанціях. Ця модель активно використовується у країнах з добре розвинутою залізничною інфраструктурою, зокрема Європі, США та Китаї. Другу за значущістю групу становлять комбіновані маршрути, що включають залізничний, автомобільний, внутрішній водний і морський транспорт (Rail-Road-Inland Waterway-Sea transport), які охоплюють 25 % мультимодальних перевезень. Вони є основними для міжнародної торгівлі, оскільки дають змогу ефективно транспортувати великі партії вантажів на далекі відстані. Особливо поширене їх використання в міжнародній логістиці між континентами. Модель «сухопутний міст» (Land Bridge transport) займає 20 % мультимодальних перевезень. Завдяки їй можна оптимізувати час доставлення між різними частинами світу за рахунок використання залізничного транспорту для сполучення між портами, розташованими на різних континентах. Ця схема особливо популярна для перевезень між Азією та Європою, а також у Північній Америці, де вона допомагає зменшити навантаження на морські маршрути. Незначну частку займають повітряно-морські і автомобільно-повітряні мультимодальні перевезення – 10% кожен. Хоча авіатранспорт забезпечує максимальну швидкість доставлення, його висока вартість значно обмежує використання в мультимодальних схемах. Тим не менш ці моделі застосовуються для перевезення високовартісних і швидкопсувних товарів, таких як електроніка, фармацевтичні препарати, одяг і взуття. Що зображено на Рис 1.2

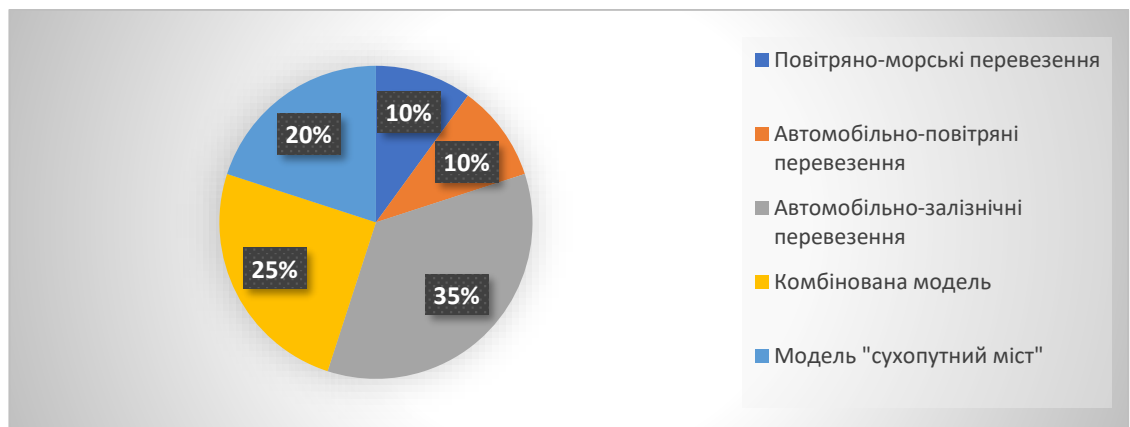


Рисунок 1.2. Розподіл за використанням основних моделей мультимодальних перевезень

На рис. 1.2 зображено розподіл мультимодальних перевезень за видами транспорту. Діаграма демонструє, що найбільшу частку (35 %) складають автомобільно-залізничні перевезення (RailRoad transport).

Аналіз розподілу мультимодальних перевезень свідчить, що попри значну частку традиційних наземних маршрутів, стратегічного значення набувають моделі, які забезпечують максимальну швидкість доставки, зокрема поєднання авіаційного та автомобільного транспорту. Це пояснюється критичною потребою сучасного ринку у швидкому транспортуванні високовартісних та технологічних вантажів, де автомобільний транспорт виступає незамінним гнучким ланцюгом для реалізації концепції «від дверей до дверей».

Хоча авіаційний складник у мультимодальних схемах характеризується вищою собівартістю, він відіграє вирішальну роль у забезпеченні термінових поставок енергетичного обладнання та електроніки. Отримані результати підкреслюють необхідність подальшого розвитку мережі вантажних хабів та автомобільних логістичних центрів, які дозволяють ефективно інтегрувати українські транспортні потоки у світову авіаційну систему через європейські термінали.

Розвиток мультимодальних перевезень за схемою «Авіа + Авто» розглядається в Україні як стратегічно важливий напрям для зміцнення національної транспортної системи в умовах обмеженої навігації. Це дозволяє суттєво збільшити обсяги транзитних та імпорتنих перевезень за участю вітчизняних логістичних компаній, що сприяє зростанню їхньої конкурентоспроможності на міжнародному ринку. Завдяки такому підходу відбувається активна розбудова нових транспортних коридорів, що позитивно впливає на гнучкість логістики та загальний розвиток національної економіки. Аналіз даних свідчить, що саме автомобільний транспорт сьогодні демонструє найбільшу адаптивність, забезпечуючи зв'язок українського бізнесу з найбільшими авіаційними вузлами Європи (Табл. 1.1.).

Таблиця 1.1

Вантажообіг за видами транспорту, млрд ткм

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Залізничний	175,6	180,4	94,5	90,6	94,1	94
Автомобільний	65,1	61,8	47,4	55,5	59,2	59,5
Водний	2,9	3	1	1,1	1	0,96
Авіаційний	0,3	0,3	-	-	-	-

Джерело: Державна служба статистики України

1.2. Сучасний стан мультимодальних перевезень в Україні

За останні двадцять років напрями вантажопотоків, що проходили через Україну, зазнали значних змін. Але найбільшим викликом для перевізників стали ускладнення морських перевезень у зв'язку з блокуванням портів та бойовими діями. Тому постала необхідність налагодити у найкоротші терміни перевезення через сухопутні кордони

Мультимодальні перевезення передбачають наявність спеціалізованих терміналів. В Україні подібні вантажні хаби існують, але здебільшого вантажі оброблюються застарілими методами та пристроями. Тому доцільно розглянути можливості автоматизації процесів та обладнання, за допомогою якого можна здійснити обробку вантажів більш ефективно та прискорити їх просування

Автоматизація обладнання може включати в себе впровадження різноманітних технологій, таких як автоматизовані сортувальні системи, роботизовані маніпулятори для завантаження та розвантаження вантажу, системи автоматичного складування і переміщення. Наприклад, автоматизація може дозволити значно зменшити час обробки вантажів, знизити ризик пошкоджень та збільшити загальну ефективність логістичних процесів. Застосування цих технологій і підходів може сприяти не лише покращенню

швидкості перевезень, але й зниженню витрат та удосконаленню загального рівня обслуговування клієнтів.

Для підвищення ефективності міжнародних вантажних перевезень – ключового напрямку для підтримки економіки України під час війни та її відновлення і розвитку після завершення бойових дій потрібно провести аналіз історичного розвитку та сучасного стану мультимодальних перевезень з метою визначення ключових тенденцій та перспектив їх подальшого розвитку. Проаналізувати переваги та недоліки використання мультимодальних перевезень у логістичних ланцюгах, зокрема їхній вплив на ефективність, економічність та сталість. Дослідити новітні технології, методи та підходи, що застосовуються в мультимодальних перевезеннях, і їх вплив на оптимізацію логістичних процесів. Проаналізувати приклади успішної інтеграції мультимодальних перевезень у логістичні ланцюги та їх вплив на підвищення конкурентоспроможності підприємств.

Історія мультимодальних перевезень налічує декілька етапів, що відображають розвиток транспортних та логістичних технологій. Початки мультимодальних перевезень можна віднести до епохи торгівлі на великих відстанях, коли для доставки товарів використовувалися різні види транспорту: морський, річковий, залізничний та дорожній. Протягом минулих десятиліть відбулися значні зміни у сфері мультимодальних перевезень. Зростання технологій, глобалізація економіки та збільшення обсягів торгівлі призвели до збільшення складності та обсягів логістичних потоків. Інтеграція різних видів транспорту та розробка новітніх технологій сприяють подальшому розвитку мультимодальних перевезень у сучасному світі. Розвиток мультимодальних перевезень в Україні визначається як перспективний напрям у зміцненні транспортної системи країни. Цей напрям дозволяє значно збільшити обсяги перевезень через територію України за участю національних транспортних компаній. Такий підхід сприяє підвищенню конкурентоспроможності країни на міжнародному ринку транспортних послуг і сприяє розвитку мережі наявних транспортних

коридорів. Крім того, він сприяє інтеграції транспортної інфраструктури України у світову транспортну систему, що сприятиме покращенню ефективності та розвитку національної економіки.

Україна мала потенціал у 2022 році встановити новий рекорд за обсягом експорту за весь період незалежності, якби не відбулося вторгнення Росії. У січні – лютому 2022 року експорт зріс на 34% порівняно з аналогічним періодом 2021 року. Однак уже в березні експортні поставки за кордон значно знизились, зменшившись на половину. Після складного 2022 року обсяг експорту товарів України становив 100 мільйонів тон на загальну суму 44,2 мільярда доларів США, що на 35 % менше, ніж у 2021 році. У 2022 році найбільш експортованими серед секторів залишалися аграрні та харчові товари, які становили 53 % від загального обсягу експорту. Друге місце за обсягом експорту займали метали, які становили 13,6 %. Третє місце належало сектору мінеральних продуктів, який склав 9,8 %). Найбільш постраждалими секторами виявилися металургія (- 62,5 %), хімічна промисловість (- 54,3 %), видобуток мінералів (- 48,6 %) та виробництво паперу (- 48 %). Аналіз результатів одного з найскладніших років за період незалежності України показав, що 2022 року Україна здійснила експорт товарів та послуг до 233 країн та територій світу. Основними партнерами України є Польща, Румунія, Туреччина, Китай, Угорщина та Німеччина. У 2022 році Київ став головним регіоном-експортером (27,1 % від загального експорту України). На другому місці за обсягом експорту була Дніпропетровська область (12 %), за ними йшли Львівська (7,2 %), Одеська (5,6 %) та Запорізька (5,5 %) області (Рис. 1.3.).

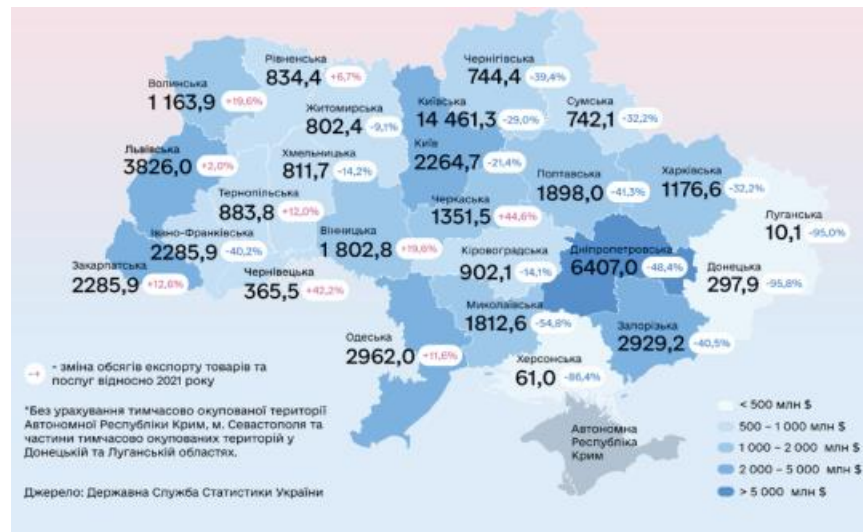


Рисунок 1.3. Експорт України за регіонами у 2022 році

В умовах повномасштабної війни авіасполучення всередині України зупинилося, проте авіація залишається ключовим інструментом для експорту та імпорту термінових вантажів через іноземні хаби. Хоча авіаційний транспорт за межами країни продовжує утримувати лідерство у вантажообігу завдяки швидкості доставки критичних замовлень, внутрішня логістика майже повністю покладена на автотранспорт. В умовах війни фури стали найшвидшим і найбільш маневреним варіантом доставки, дозволяючи оперативно перевозити все необхідне – від гуманітарної допомоги до сировини для заводів – безпосередньо «від дверей до дверей».

Закриття українського неба змусило компанії перебудувати ланцюги постачання. За даними Міжнародної асоціації повітряного транспорту (IATA), у 2022 році обсяг вантажних авіап перевезень в Україні впав на 80%, але вже у 2023 році ринок почав відновлюватися завдяки транзиту через європейські аеропорти. Зараз основний потік вантажів іде через Варшаву (аеропорт ім. Шопена, 35% від загального обсягу), Франкфурт (25%) та Краків (15%). Звідти товари перевозять автомобільним транспортом до України. Це, звісно, продовжує терміни доставки – іноді на кілька днів, – але забезпечує стабільність логістичних ланцюгів.

Наприклад, аеропорт Варшави став ключовим хабом для гуманітарних і медичних вантажів, адже він має розвинену інфраструктуру й зручне сполучення з Україною. Франкфурт, своєю чергою, приваблює компанії, які працюють із цінними або терміновими вантажами, завдяки потужним складським комплексам.

Автомобільний транзит із цих хабів до України додає 1-3 дні до доставки, але забезпечує стабільність. Наприклад, маршрут Варшава –Львів займає в середньому 24-36 годин. Багато компаній успішно застосовують консолідацію вантажів, що дозволяє клієнтам заощаджувати 15-25% витрат порівняно з індивідуальними відправленнями. Наприклад, СВ БРОК пропонує такі послуги, оптимізуючи процеси доставки для своїх клієнтів.

1.3. Загальна характеристика ТОВ «СВ БРОК»

Щодня мільйони товарів долають тисячі кілометрів, щоб потрапити до свого споживача, і саме логістичні компанії стоять за цим складним процесом. Вони координують маршрути, обирають оптимальні види транспорту, контролюють строки та забезпечують безпеку перевезень. Без їхньої роботи неможливо уявити сучасну торгівлю та виробництво. Однією з таких компаній є логістична компанія СВ БРОК - яка ось уже багато років стабільно працює в сфері вантажних міжнародних авіаперевезень. Професійний підхід, знання ринку і його специфічних особливостей, оперативність і широкий спектр додаткових послуг дозволили їм зайняти одне з лідируючих місць в сфері надання послуг з авіаперевезення вантажів. Налагоджені партнерські відносини з агентами, перевізниками і суміжними службами дозволяють щодня надавати десяткам клієнтів сервіс високої якості. Саме тому дана компанія була обраною для нашого дослідження.

Компанія має великий спектр послуг які виконуються регулярно, а саме:

- Морські перевезення

- Авіап перевезення
- Автоп перевезення
- Залізничні перевезення
- Збірні перевезення
- Митне оформлення

Саме поєднання різних видів транспорту у формі мультимодальних перевезень дозволяє сьогодні досягти максимальної гнучкості та швидкості доставки. Найбільш ефективною та поширеною схемою, яку ми беремо за основу, є комбінація авіаційного та автомобільного транспорту. Таке поєднання мінімізує терміни доставки та дозволяє максимально швидко організувати весь процес "від дверей до дверей".

Якщо згадати довоєнний період до 2022 року, то завдяки злагодженій роботі авіавузлів та автоперевізників більшість термінових вантажів доставлялася за лічені три дні. Проте повномасштабна війна в Україні кардинально змінила логістику вантажних перевезень й призвела до значного зростання логістичних витрат. Зокрема, підвищення цін на паливо, ризики безпеки та необхідність використання альтернативних маршрутів спричинили зростання тарифів на вантажні перевезення. Крім того, зменшення кількості вантажних перевезень та безоплатне перевезення гуманітарних вантажів також вплинули на фінансову стабільність логістичних компаній. Особливо це стосується авіатранспорту, який зазвичай забезпечує найшвидшу доставку.

Війна завдала також значної шкоди транспортній інфраструктурі України, зокрема аеропортам. Проте, за оцінками експертів, інфраструктура України готова умовно на 90% до відновлення авіап перевезень, і деякі аеропорти можуть бути готові до повноцінної роботи за 2-3 місяці після відповідного рішення. Це відкриває перспективи для відновлення авіап перевезень у майбутньому.

З початком повномасштабного вторгнення у лютому 2022 року повітряний простір України був повністю закритий для цивільної авіації. Це призвело до припинення прямого авіасполучення, унеможлививши

традиційні авіап перевезення вантажів. У відповідь на це логістичні компанії були змушені шукати альтернативні маршрути та рішення для забезпечення доставки вантажів.

Для компанії СВ БРОК, війна стала каталізатором для впровадження інновацій у сфері логістики. Зокрема, активне використання мультимодальних перевезень, впровадження цифрових технологій для відстеження вантажів та оптимізація логістичних процесів стали ключовими факторами адаптації до нових умов.

Доставка стала зараз менш передбачуваною: змінюються правила на митницях, вводяться обмеження на окремі види вантажів, логістичні коридори можуть тимчасово закриватися.

Нинішні умови спонукають компанію бути гнучкою, швидко впроваджувати нові технології та вибудовувати міжнаціональні зв'язки з логістичними компаніями. Основними аспектами які стали у центрі уваги компанії це:

- Створення уніфікованих маршрутів доставки з ЄС до України;
- Розвиток партнерських відносин із європейськими перевізниками;
- Оптимізація логістичних витрат завдяки групуванню вантажів та спільним перевезенням;
- Інтеграція ІТ-систем для відстеження вантажів в режимі реального часу;
- Співпраця з іноземними логістичними хабами для формування безпечних ланцюгів постачання;
- Впровадження митного супроводу "під ключ", що зменшує кількість перевірок і прискорює оформлення.

Висновки. Узагальнюючи результати аналізу, варто зазначити, що мультимодальні перевезення трансформувалися у стратегічний фундамент глобальної логістики, забезпечуючи високу ефективність завдяки інтеграції різних видів транспорту в єдиний технологічний ланцюг під управлінням одного оператора. Світовий досвід підтверджує, що сучасний розвиток цієї

галузі базується на цифровізації процесів, впровадженні екологічних стандартів та використанні концепції «сухопутних мостів» для оптимізації трансконтинентальних потоків. Для України в умовах воєнного стану та блокування традиційних морських і повітряних шляхів мультимодальна модель, зокрема поєднання «Авіа + Авто» через європейські логістичні хаби (Варшава, Франкфурт, Краків), стала критично важливим механізмом забезпечення експортно-імпортних операцій. Аналіз діяльності ТОВ «СВ БРОК» засвідчує, що здатність логістичних компаній до швидкої адаптації маршрутів, впровадження митного супроводу «під ключ» та консолідації збірних вантажів є ключовим чинником підтримки економічної стабільності країни. Таким чином, попри інфраструктурні обмеження та логістичні виклики, подальша інтеграція української транспортної системи у європейську мережу через автоматизацію терміналів та уніфікацію митних процедур створює необхідні передумови для відновлення національного авіаційного сектору та підвищення конкурентоспроможності вітчизняних операторів на міжнародному ринку.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ УМОВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАРЯДНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ У КОНТЕКСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

2.1. Транспортно-технологічна характеристика вантажу

Зарядний модуль UR100040-SW (EU) (Рис 2.1) використовує провідну світову технологію живлення, спеціально розроблену для обладнання перетворення енергії зарядки електромобілів, з надшироким діапазоном постійної вихідної напруги. Він має характеристики активної корекції коефіцієнта потужності, високої ефективності, високої надійності, інтелектуального керування та привабливого зовнішнього вигляду; Модуль використовує інтелектуальну технологію розсіювання тепла з повітряним охолодженням, з високою щільністю потужності та малим займаним простором; Він має функції гарячого підключення та захисту від зворотного заповнення акумулятора.



Рисунок 2.1. Зображення Зарядного модуля UR100040-SW

Зарядний модуль UR100040-SW (40 кВт) – це складний електротехнічний вузол, який перетворює змінний трифазний струм мережі у стабілізований постійний струм, необхідний для заряджання акумуляторів електротранспорту (Рис 2.2). Його основою є силова частина: спочатку змінна

напруга проходить через випрямляч, де перетворюється у постійну, після чого блок корекції коефіцієнта потужності (PFC) забезпечує ефективне споживання енергії з мережі. Далі DC/DC перетворювач формує необхідний рівень напруги в широкому діапазоні (приблизно 150–1000 В), що дозволяє працювати з різними типами батарей.

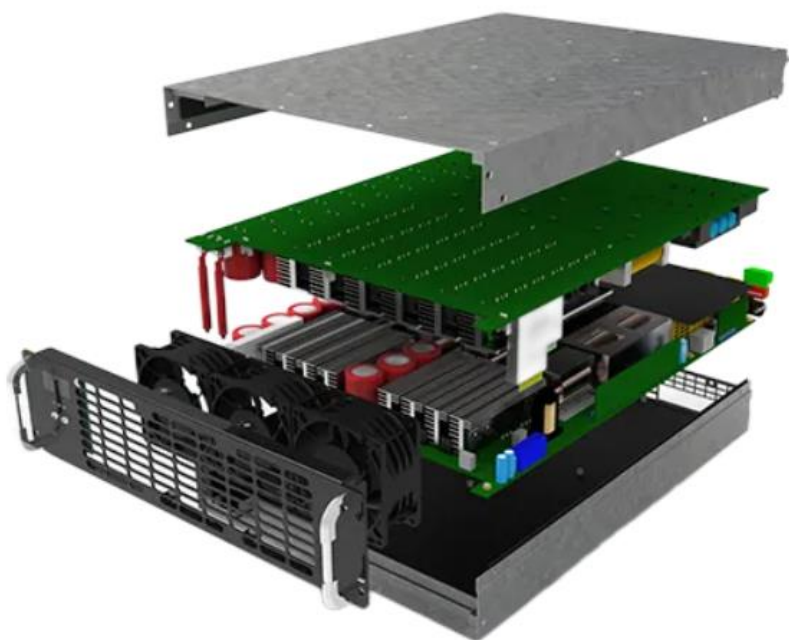


Рис 2.2. Вигляд зарядного модуля UR100040-SW в розібраному стані

У зарядному модулі UR100040-SW комплектуючі виготовляються з матеріалів, які забезпечують високу електропровідність, тепловіддачу та надійність при роботі з великими потужностями. Основу силової частини становлять напівпровідникові елементи – транзистори на базі кремнію або карбіду кремнію. Кремнієві рішення є дешевшими і широко застосовуються, тоді як компоненти карбіду кремнію мають кращі характеристики ефективності та нагріву, але їхня вартість зазвичай у кілька разів вища. Значну частину конструкції також формують мідні струмопровідні елементи, які через свою високу ціну суттєво впливають на собівартість модуля, а також алюмінієві радіатори, що використовуються для охолодження завдяки оптимальному співвідношенню ціни та теплопровідності.

Окрім цього, у контексті роботи зарядних станцій важливо згадати і літій-іонні акумулятори, для яких і призначений даний модуль. Вони виготовляються з матеріалів, таких як літій, кобальт, нікель і графіт, і їхня вартість значною мірою залежить від цін на ці ресурси. Саме ці акумулятори формують попит на подібні зарядні модулі, тому динаміка їх вартості тісно пов'язана з розвитком силової електроніки.

Як буде видно з діаграми (Рис 2.3) за період 2016-2025 років, спостерігається загальна тенденція зміни вартості як напівпровідникових матеріалів, так і компонентів для літій-іонних акумуляторів. Зокрема, ціни на SiC-пристрої поступово знижуються завдяки розвитку технологій виробництва, тоді як вартість літій-іонних батарей у довгостроковій перспективі також має тенденцію до зменшення, хоча й із певними коливаннями через зміну цін на сировину. Таким чином, матеріали, що використовуються як у самому модулі, так і в акумуляторах, безпосередньо впливають на економіку всієї системи зарядної інфраструктури.

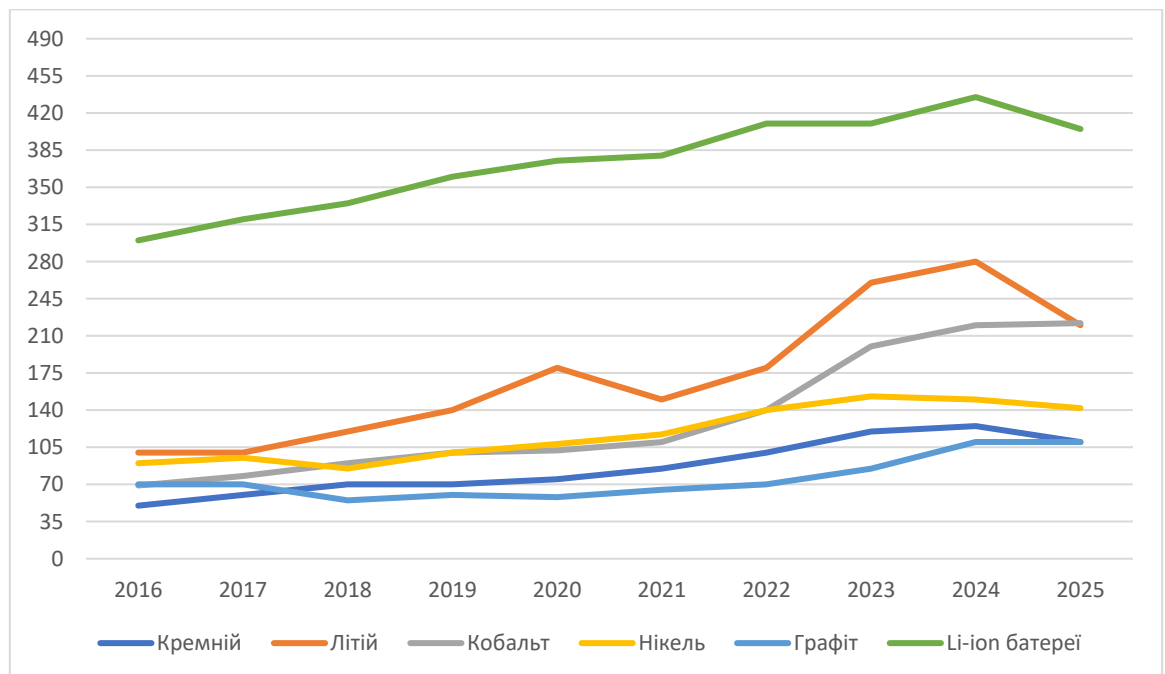


Рисунок 2.3. Ціна окремих матеріалів для виготовлення зарядних модулів, акумуляторів і літій-іонних акумуляторів протягом 2016 - 2025 рр

Транспортно-технологічна характеристика зарядних модулів визначає їх унікальним типом генеральних вантажів, які поєднують в собі властивості прецизійної електроніки та енергетичного обладнання.

Фізичні параметри зарядних модулів відзначаються високою питомою щільністю. Розміри окремих блоків зазвичай становлять близько 450x600x150 мм при вазі від 15 до 45 кг. При формуванні великих партій такі габарити і вага створюють значне навантаження на поверхні транспортних засобів. У мультимодальних перевезеннях це передбачає використання жорстких піддонів (європалет) для забезпечення рівномірного розподілу ваги та запобігання деформації упаковки на нижніх ярусах. Належність до категорії небезпечних вантажів залежить від конкретної комплектації виробу: у базовій версії блоки зазвичай не містять речовин, що регулюються нормами ADR або IMDG. Водночас, якщо модулі обладнані інтелектуальними системами моніторингу з літій-іонними чи літій-полімерними батареями для збереження пам'яті контролерів, їх автоматично класифікують як небезпечний вантаж (Клас 9, UN 3480/3481). У цьому випадку потрібні спеціальні сертифікати безпеки (MSDS), відповідне маркування і особливі умови транспортування для уникнення контакту із легкозаймистими матеріалами під час перевезення морським чи авіатранспортом.

Чутливість до зовнішніх факторів є визначальною для вибору методу пакування та маршруту перевезення. Модулі мають надзвичайно високу вразливість до гідротермічних коливань. Попадання морського вологого повітря всередину транспортного модуля під час перевезення неминуче призводить до окислення контактних груп та деградації паяних з'єднань. Тому обов'язковою умовою є використання бар'єрного захисту: блоки обгортаються антистатичною плівкою та поміщаються у вакуумні пакети з додаванням активованого силікагелю, що поглинає надлишкову вологу. Температурний режим при транспортуванні повинен підтримуватися в межах від -40 °C до +70 °C, проте найбільш небезпечним є не сама температура, а швидкість її зміни, що викликає утворення конденсату (ефект «потіння

вантажу»). Механічний захист забезпечується багатошаровою упаковкою, де внутрішній шар складається з пінополістирольних або поліуретанових ложементів, що гасять ударні імпульси. На зовнішню тару часто встановлюються датчики нахилу та удару, оскільки падіння ящика навіть з висоти 20–30 см може спричинити мікротріщини в багатошарових друкованих платах, які не виявляються візуально, але призводять до відмови модуля через певний час роботи.

З логістичної точки зору зарядні модулі класифікуються як вантаж з високим ризиком крадіжки (high-risk cargo). Це зумовлено не лише їхньою високою ринковою вартістю, що може сягати кількох тисяч доларів за одиницю, а й наявністю дорогоцінних та кольорових металів у складі компонентів. Висока ліквідність такого обладнання на вторинному ринку вимагає суворого дотримання протоколів безпеки: використання силових запірно-пломбувальних пристроїв на контейнерах, уникнення тривалих стоянок у незахищених зонах та залучення експедиторів з підтвердженою системою моніторингу руху в режимі реального часу. Таким чином, транспортно-технологічна характеристика модулів вимагає інтегрованого підходу до захисту від кліматичних, механічних та антропогенних загроз на всьому шляху прямування від заводу-виробника до кінцевої точки монтажу в Україні.

2.2. Умови пакування, маркування та підготовки до перевезення

Процес підготовки модульних компонентів до перевезення в мультимодальному сполученні базується на принципі багато бар'єрного захисту. Основним завданням пакування є нівелювання впливу динамічних ударів, вібрацій та агресивного морського середовища.

Типи тари для зарядних модулів обираються залежно від їхньої маси та конструктивної складності. Особливим видом транспортної тари являються піддони і контейнери, які називають тарообладнанням. До нього відносяться

ящикові піддони, в яких товар доставляють з підприємства виробника і складів безпосередньо в торгові зали різних магазинів самообслуговування. Використання тарообладнання створює зручність як при транспортуванні продуктів так і при їх реалізації.

Найбільш поширеним варіантом для експортних операцій є ящики з п'ятишарового гофрокартону підвищеної вологостійкості. Внутрішній простір обов'язково заповнюється демпфуючими матеріалами: пінополіетиленом або профільованим пінополіуретаном, які виготовляються за формою модуля. Це забезпечує нерухомість внутрішніх електронних компонентів та запобігає зсуву самого блока всередині тари.

Пакувальний матеріал картон буває багатошаровим (до 7-ми шарів). Залежно від характеристик і призначення виділяють такі категорії картону для пакування (Рис. 2.4.):

- целюлозний. Виготовляється із сировини вищої якості з додаванням деревно-волокнистої маси. Щільність – 160-550 г/м². Матеріал має високу жорсткість, завдяки якій коробки тримають форму, чудові декоративні якості. Для упаковки товарів високого цінового сегмента на обидві сторони наноситься крейдоване покриття. Тара використовується для пакування парфумерії, люксових товарів, дитячих іграшок, галантереї преміального сегмента. Цей сорт має найвищу вартість;
- крафт-картон. Виготовляється з чистої целюлози, має хороші бар'єрні властивості, підходить для задрукування. З матеріалу роблять міцні гарні пакети, коробки для розфасовки харчових продуктів, кормів для тварин;
- хром-ерзац (FBB). Сировина для виробництва – целюлоза, деревна маса, макулатура. Товщина матеріалу 0,25-0,6 мм. Застосування – тара для медичного обладнання, побутової техніки, електронних компонентів. Хром-ерзац також застосовується як зовнішній шар у гофрованій упаковці;

- гофрований. Його характерна особливість – наявність хвилястого шару між зовнішньою і внутрішньою стороною. Матеріал використовується для пакування виробів із кришталю, скла, кераміки, оргтехніки, сантехніки та інших крихких товарів.
- вологостійкий. У процесі виробництва в сировинну масу вносяться добавки або проводиться одно-, двостороннє ламінування. Сфера застосування – тара для заморожених продуктів, автомобільних компонентів з рясним мастилом;
- макулатурний. Виготовляється з паперових відходів (до 60% у складі сировини). Товщина матеріалу 0,3-0,8 мм, щільність невисока. Це бюджетна тара для сигарет, порошків, непродовольчих товарів, для яких міцність тари необов'язкова.



Рисунок 2.4. Види картонних виробів

Стретч-плівка є універсальним пакувальним матеріалом, головною особливістю якого є здатність до зворотного розтягування та адгезії шарів, що дозволяє надійно фіксувати вантажі без додаткових кріплень. Залежно від обсягів робіт її поділяють на ручну, зручну для невеликих складів, та машинну, яка завдяки високому коефіцієнту престретчу (до 300%) значно економить витрати матеріалу на великих підприємствах. Важливим параметром є товщина плівки: варіанти 12–15 мкм підходять для легких товарів, універсальні 17–20 мкм – для стандартних коробок, а щільні 23–30 мкм використовуються для надважких об'єктів або вантажів із гострими краями. Технічна плівка захищає від вологи та пилу, при цьому прозора структура дозволяє легко контролювати вміст і зчитувати штрих-коди, тоді як кольорова (наприклад, чорна) забезпечує конфіденційність перевезення.

Завдяки своїй стійкості до температурних коливань та низькій собівартості, цей матеріал залишається незамінним елементом у логістиці, забезпечуючи цілісність палет навіть під час тривалих перевезень із багаторазовим перевантаженням (Рис. 2.5.).



Рисунок 2.5. Поліетиленова упаковка

Особливе значення має кліматична підготовка. Враховуючи проходження вантажу через різні кліматичні зони, кожен модуль перед поміщенням у картонну тару обгортається термозбіжною або вакуумною полімерною плівкою. Це створює герметичну оболонку, що запобігає потраплянню вологи. Всередину упаковки обов'язково закладаються вологопоглиначі, найчастіше на основі активованого силікагелю. Розрахунок кількості вологопоглиначів проводиться виходячи з об'єму упаковки та запланованого часу перебування вантажу в дорозі (зазвичай із запасом на 30–60 днів).

За призначенням тару і упаковку можна розділити на промислову, транспортну, споживчу, спеціальну. В залежності від використаного матеріалу тару і упаковку підрозділяють на скляну, дерев'яну, металеву, полімерну, паперову, картонну і т.ін. Транспортна тара поділяється на жорстку і м'яку. Широке використання в якості жорсткої транспортної тари знаходять різного роду лотки, ящики, бочки, амортизаційні вкладиші до ящиків, складні

полімерні ящики і спеціальна тара для перевезення продукції з використанням пінопластів

Для цілісності вакуумного пакування та стану мікроклімату всередині тари використовується оперативний контроль, поруч із вологопоглиначами розміщуються картки-індикатори вологості. Вони дозволяють при розпакуванні вантажу в пункті призначення миттєво визначити, чи відбувалася розгерметизація та чи не піддавалися електронні компоненти впливу критичного рівня вологи під час транзиту.

Способи кріплення на палетах передбачають формування єдиного вантажного юніту. Модулі в коробках укладаються на європалети (1200x800 мм), при цьому між ярусами можуть використовуватися прокладки з цупкого картону для розподілу тиску. Весь пакет фіксується за допомогою вертикальних картонних кутників, що запобігають деформації кутів коробок, та обмотується мінімум 5–7 шарами стрейч-плівки (Рис. 2.6.). Для надчутливих модулів застосовується бандажування поліпропіленовою стрічкою, яка жорстко притискає вантаж до основи палети.



Рисунок 2.6. Приклад пакування

Маркування вантажу виконується згідно з міжнародними вимогами та включає маніпуляційні знаки, що регламентують поводження з електронікою. На кожне вантажне місце наносяться символи «Крихке. Обережно» (келих), «Берегти від вологи» (парасолька), «Центр ваги» та «Верх» (дві стрілки) (Рис. 2.7.). Якщо модулі містять літєві елементи живлення, упаковка доповнюється попереджувальними знаками Класу 9 (Battery Warning Label) із зазначенням ваги нетто батарей. Експортна упаковка також повинна містити маркування країни походження, номер контракту та QR-коди для автоматизованого зчитування в портах та на терміналах.



Рисунок 2.7. Знаки маркування при перевезенні

2.3. Умови навантаження, транспортування та зберігання в мультимодальному ланцюгу

Технологічний процес мультимодального перевезення зарядних модулів за маршрутом «аеропорт – літак – аеропорт – авто» базується на суворому дотриманні режимів обробки на кожному етапі. Головною метою є збереження цілісності обладнання при максимальній ефективності логістики. Це досягається шляхом мінімізації кількості перевантажень та використання спеціального пакування, що виключає безпосередній контакт із вантажем під час процесу перевезення.

Процес починається на етапі підготовки в аеропорту відправлення. Тут здійснюється ретельний вхідний контроль, де кожна одиниця вантажу перевіряється на відповідність стандартам міцності упаковки. Оскільки основним принципом є уникнення безпосереднього контакту з обладнанням,

модулі розміщуються на посилених піддонах і захищаються декількома шарами спеціалізованих матеріалів, що створюють «захисний кокон». На цій стадії виконується критично важливий розрахунок об'ємної ваги. В авіаційній логістиці простір є дефіцитним ресурсом, тому вартість перевезення напряму залежить від того, скільки місця займає вантаж. Використовуючи встановлений коефіцієнт, фахівці приводять фактичний об'єм вантажу до ваги шляхом множення загального об'єму в кубічних метрах на 167. Якщо отриманий показник об'ємної ваги перевищує фізичну масу зарядних модулів, саме він стає базою для формування тарифу. Це змушує відправника балансувати між створенням максимально надійної, габаритної упаковки та економічною доцільністю транспортування. Після завершення всіх вимірювань і маркування, палети консолідуються в авіаційні контейнери, що дозволяє перетворити групу окремих палет на єдиний монолітний блок, готовий до завантаження.

Перевантаження і доставка авіатранспортом забезпечують найвищу швидкість подолання великих відстаней, проте вимагають суворого дотримання режимів обробки. За допомогою автоматизованих систем аеропорту контейнери з модулями переміщуються до борту літака. Використання роликових платформ дозволяє плавно завантажувати важкі блоки в фюзеляж, мінімізуючи ризик різких поштовхів чи ударів, які є згубними для чутливої електроніки модулів. Протягом усього польоту вантаж перебуває у стабільному стані; він жорстко зафіксований замками в підлозі літака, що нівелює вплив турбулентності. Особлива увага приділяється підтримці мікроклімату у вантажному відсіку: стабільна температура запобігає випаданню конденсату на платах і контактах, що є обов'язковою умовою для збереження працездатності зарядних пристроїв. Даний етап завершується прибуттям вантажу до аеропорту отримувача та переміщенням його від літака на вантажний термінал аеропорту для тимчасового зберігання.

Етап прибуття та перевантаження на автомобільний транспорт розпочинається у вантажному терміналі аеропорту отримувача. Тут

контейнери розкриваються в контрольованій зоні митного складу. Процес наземної обробки вантажу після приземлення літака в аеропорту починається з його вивантаження за допомогою спеціальних підйомників і транспортування до вантажного термінала, де співробітники проводять звірку маркування з авіанакладними, перевіряють цілісність пакування та здійснюють розформування авіаційних палет. Поки товар перебуває в зоні тимчасового зберігання (Cargo Terminal), включаючи спеціалізовані холодильні камери для режимних вантажів, брокери проводять митне очищення, оскільки видача на автомобільний транспорт можлива лише після отримання офіційного дозволу від митних органів. В аеропорту Варшави імені Шопена (WAW), де основними операторами є LS Cargo Terminal та Welcome Airport Services, зазвичай надається від 24 до 48 годин безкоштовного зберігання, після чого нараховується плата за кожен кілограм ваги на добу (орієнтовно 0.15–0.30 PLN/кг) з урахуванням мінімальної ставки, а також обов'язкового платежу за термінальну обробку (хендлінг), який для стандартних вантажів становить близько 1.07 PLN за кілограм. Фінальним етапом стає завантаження товару в авто на рампі, де при необхідності може бути проведено додаткове зміцнення палет стретч-плівкою для забезпечення безпеки під час подальшого мультимодального транспортування.

Процес перевантаження організований за принципом мінімізації проміжних операцій: палети з модулями переміщуються безпосередньо з складу аеропорту до кузова вантажного автомобіля. Кожна палета при завантаженні ретельно оглядається на відсутності зовнішніх пошкоджень, після чого вона займає своє місце в автомобілі згідно зі схемою розподілу навантаження на осі.

Подальша доставка до дверей отримувача в Україні є фінальним і надзвичайно відповідальним елементом всього мультимодального ланцюга, оскільки саме на цьому етапі вантаж стикається з найбільш інтенсивними динамічними навантаженнями. Цей сегмент маршруту включає в себе комплексний процес проходження державного кордону та офіційну процедуру

митного оформлення вантажу. Для забезпечення безпеки обладнання всередині кузова автомобіля кожна палета надійно закріплюється стопорними ремнями та розпірними планками, що повністю виключає будь-яке інерційне переміщення модулів під час маневрів, різкого гальмування чи поворотів на складних ділянках дороги.

Особлива увага приділяється проходженню митного контролю вже на території України, де перевіряється відповідність супровідної документації фактичній наявності товару. Після завершення всіх формальностей автомобіль здійснює пряму доставку до об'єкта замовника. Технологічний цикл завершується безпосереднім розвантаженням на складі клієнта, яке виконується з використанням гідравлічних бортів або спеціалізованої складської техніки.

2.4. Транспортне забезпечення перевезень вантажу

Для авіаційного етапу перевезення вантажів можуть використовуватися різні типи повітряних суден – від вузькофюзеляжних пасажирських літаків до надпотужних вантажних лайнерів.

У вузькофюзеляжному пасажирському літаку вантаж розміщується в хвостовій частині літака, в спеціальних вантажних пристроях, які розміщуються в цій зоні під місцями для сидіння пасажирів. Деякі товари можуть бути завантажені на палети, а інші предмети можуть бути завантажені окремо в простір, що залишився. Також може бути зона з контрольованою температурою і тиском для перевезення живих тварин окремо від іншого вантажу і пасажирського багажу.

Вантажний літак - це повітряне судно з невеликою кількістю людей на борту, цей тип літаків може перевозити найнебезпечніші вантажі, які дозволені до перевезення повітряним транспортом, за умови дотримання відповідних правил. Підходять для перевезення специфічних типів вантажів,

наприклад, нестандартних, цінних, великотоннажних, гуманітарної допомоги і т.д.

Після прибуття літаку в аеропорт призначення починається його розвантаження його на склад за допомогою спеціального обладнання. Таким обладнанням може виступати:

Рокла (або рохля) – це ручний гідравлічний візок, призначений для переміщення вантажів, що розміщені на піддонах (палетах), на невеликі відстані всередині складів, магазинів або вантажних терміналів. На відміну від звичайних візків, рокла оснащена гідравлічним домкратом, який за допомогою важеля керування дозволяє піднімати та опускати вила, що вводяться під палету, забезпечуючи легке відривання вантажу від підлоги для подальшого транспортування. Конструкція пристрою включає ручку для маневрування та підкачування тиску, раму з вилами, передні керовані колеса та ролики під вилами, які витримують значні навантаження, зазвичай від 2 до 5 тонн (Рис. 2.8.). Завдяки своїй маневреності, надійності та відсутності потреби в електроенергії чи паливі, рокла є незамінним інструментом у логістиці, особливо на етапах переміщення товарів від зони вивантаження літака до складу або під час завантаження в автомобільний транспорт.

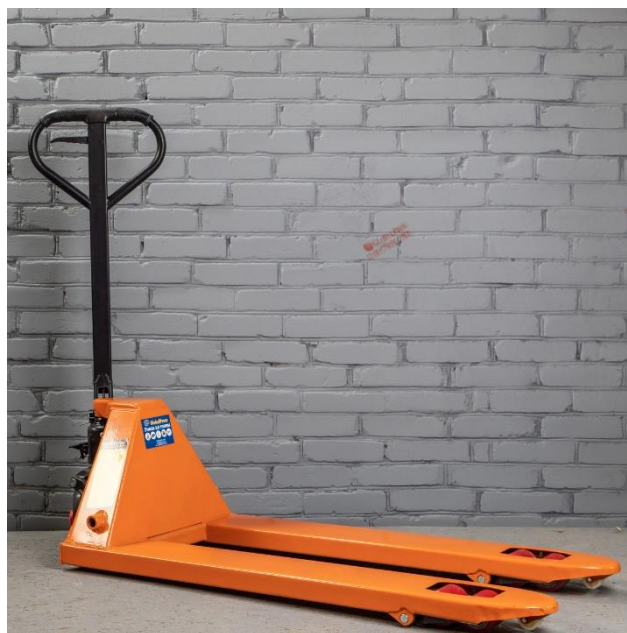


Рисунок 2.8. Зображення рокли

Кара (або вилковий навантажувач) – це самохідна складська техніка, призначена для підняття, переміщення та штабелювання вантажів за допомогою фронтальних металевих вил (Рис. 2.9.). Головною відмінністю кари від ручної рокли є наявність приводної системи та вертикальної щогли, яка дозволяє піднімати палети на значну висоту (від 3 до 7 метрів і вище), що є критично важливим для роботи зі стелажними системами. Конструкція машини базується на принципі противаги: важка задня частина корпусу врівноважує вантаж на вилах, забезпечуючи стійкість під час маневрування. Завдяки компактним габаритам та системі задніх керованих коліс, кара має надзвичайно малий радіус розвороту, що дозволяє їй ефективно працювати у вузьких міжстелажних проходах та всередині морських контейнерів або фур. У логістичних ланцюжках аеропортів та складських комплексів вона виконує основну роботу з оперативного навантаження та розвантаження палет, значно прискорюючи обробку товарів порівняно з ручною працею. Сучасні моделі також можуть бути оснащені додатковим навісним обладнанням, таким як захвати для рулонів або бочок, що робить кару універсальним інструментом для будь-якого типу пакування, включаючи вантажі, щільно обмотані стретч-плівкою.



Рисунок 2.9. Зображення вилкового навантажувача (кара)

Після завершення всіх митних і термінальних процедур в аеропорту починається етап доставки вантажу на склад отримувача, що переважно здійснюється автомобільним транспортом. Одним із найбільш ефективних

варіантів є доставка окремим автомобілем, де для забезпечення швидкості та маневреності найчастіше використовуються вантажні фургони, такі як Iveco Daily 50C18 (Рис 2.10.). Цей вибір обумовлений його унікальною рамною конструкцією, яка дозволяє впевнено перевозити близько 3 тонн вантажу, та потужним 3.0-літровим турбодизелем на 180 к.с., що гарантує стабільну динаміку навіть на завантажених магістралях. Завдяки вантажному відсіку об'ємом 16 м³ з точними габаритами 4680x1800x1900 мм, такий фургон ідеально підходить для розміщення до 6 європалет, які були попередньо сформовані та зміцнені стретч-плівкою на терміналі аеропорту. Використання окремого автомобіля дозволяє уникнути додаткових зупинок на консолідацію, забезпечуючи пряме транспортування «від дверей до дверей», де розвантаження на складі отримувача може бути швидко виконане за допомогою рокли або кари безпосередньо через задні двері фургона.



Рисунок 2.10. Iveco Daily 50C18

Другим варіантом доставки є використання збірних вантажів (LTL), що дозволяє суттєво зекономити на логістиці, проте займає набагато більше часу, оскільки в одному автомобілі консолідуються товари від різних відправників. Тривалість такої доставки зростає через необхідність заїздів на різні адреси розвантаження в різних куточках України, а також через те, що кожен окремий вантаж потребує індивідуального митного оформлення. Для таких

масштабних перевезень використовується магістральний тягач Volvo FH13 460 (Рис. 2.11.), який є еталоном надійності для дальніх рейсів. Він оснащений 12,8-літровим двигуном D13K потужністю 460 к.с. із крутним моментом 2300 Нм, що забезпечує високу паливну ефективність.



Рисунок 2.11. Volvo FH13 460

У парі з ним працює тентований напівпричіп Schmitz Cargobull S.CS (Рис. 2.12.), який має стандартний корисний об'єм 92 м³ та вантажопідйомність до 24 тонн. Внутрішні габарити напівпричепи складають 13620 мм у довжину, 2480 мм у ширину та 2700 мм у висоту, що дозволяє розмістити 33 європалети. Завдяки зсувному даху та боковим шторам, такий автопоїзд дозволяє зручно завантажувати збірні партії вантажів за допомогою крани з будь-якого боку, забезпечуючи надійну фіксацію кожної одиниці товару, обмотаної стретч-плівкою, для тривалого транспортування між містами.



Рисунок 2.12. Schmitz Cargobull S.CS

2.5. Документальне оформлення та митні процедури при мультимодальному перевезенні

Мультимодальний характер перевезення передбачає складну систему документообігу, оскільки вантаж перетинає кордони та передається між різними операторами за єдиною логістичною стратегією.

Транспортна документація формується на основі «наскрізного» підходу. Ключовим документом є мультимодальний коносамент (FIATA Bill of Lading), який дозволяє експедитору нести відповідальність за вантаж на всьому шляху прямування. Окрім нього, пакет документів включає:

- Commercial Invoice (Інвойс): деталізований рахунок-фактура із зазначенням серійних номерів кожного модуля.
- Packing List (Пакувальний лист): де вказано параметри кожного вантажного місця (вага брутто/нетто, об'єм, кількість одиниць у палеті).
- MSDS (Material Safety Data Sheet): паспорт безпеки, який стає обов'язковим, якщо модулі містять літієві акумулятори (класифікація небезпечного вантажу UN 3481).

Митні процедури при ввезенні зарядних модулів в Україну вимагають чіткої класифікації згідно з УКТ ЗЕД. Зазвичай блоки живлення та перетворювачі класифікуються за кодом 8504 40 (статичні перетворювачі). Для успішного митного очищення необхідно надати:

1. Декларацію про відповідність: підтвердження того, що обладнання відповідає технічним регламентам України щодо низьковольтного обладнання та електромагнітної сумісності.
2. Сертифікат походження: для підтвердження країни-виробника та отримання можливих митних преференцій (наприклад, за угодою про вільну торгівлю з ЄС).
3. Експортну декларацію (EX-1): країни відправлення для підтвердження митної вартості.

Особливістю митного оформлення в мультимодальних ланцюгах є використання попередньої декларації (ПД), що дозволяє вантажу без затримок слідувати з порту або прикордонного пункту до внутрішнього митного термінала. Враховуючи високу вартість модулів, митні органи часто застосовують процедури фізичного огляду для звірки серійних номерів та перевірки цілісності пломб. Правильне оформлення всіх дозволів на етапі підготовки дозволяє уникнути простою дороговартісного обладнання на СТЗ (складах тимчасового зберігання), що є критичним для дотримання термінів будівництва зарядної інфраструктури.

Висновки. Підсумовуючи аналіз другого розділу, можна зробити висновок, що перевезення зарядних модулів – це процес, який вимагає максимальної уваги до деталей на кожному етапі мультимодального ланцюга. Оскільки цей вантаж є дорогою та чутливою електронікою, головним завданням логістики стає його захист від вологи, вібрацій та ударів за допомогою багатошарового пакування: від вакуумних пакетів із силікагелем до жорстких коробок на палетах, зміцнених стретч-плівкою. Найбільш ефективною схемою доставки є поєднання авіації, яка швидко долає великі відстані та забезпечує стабільні умови у вантажному відсіку, з автомобільним транспортом, де для термінових замовлень ідеально підходять рамні фургони на кшталт Ivesco Daily, а для економії на великих партіях – магістральні тягачі Volvo з напівпричепами. Важливим аспектом залишається чітке документальне оформлення та розуміння правил обробки в аеропортах, зокрема в хабі Варшави, щоб уникнути зайвих витрат на зберігання та швидко пройти митне очищення в Україні. Таким чином, лише поєднання надійної тари, правильно підбраного транспорту та професійного документального супроводу дозволяє доставити зарядні модулі неушкодженими та вчасно для розвитку мережі зарядних станцій.

РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗАРЯДНИХ МОДУЛІВ

3.1. Обґрунтування технологічного процесу перевезення

Ланцюг постачання розпочинається на складі в Шеньчжені з експортного оформлення та палетування вантажу для авіафрахту, після чого літак доставляє його в аеропорт Варшави, де застосовується технологія розвантаження борту з використанням high loader для вилучення контейнерів із фюзеляжу та їх подальше переміщення до карго-термінала, що складається з кількох технологічних етапів: спочатку на пероні формується автопоїзд, де кожна палета або контейнер (ULD) після спуску з платформи підйомника послідовно накочується на порожні доллі (cargo dollies) – спеціальні низькопрофільні причепи з роликовими доріжками, фіксується вбудованими стопорами (locks) для уникнення зсуву та зчіплюється з іншими візками, після чого спеціалізований аеродромний тягач буксує цей поїзд технічними дорогами аеродрому, суворо дотримуючись протоколів безпеки та оминаючи інші літаки, безпосередньо до в'їзних воріт карго-термінала. При прибутті на рампу доллі стикаються з роликовою естакадою (ball mat/roller bed) складу, де контейнери розблоковують і вручну або автоматизовано перекочують на внутрішню систему термінала для сканування, підтвердження прибуття та ідентифікації за авіанакладними, а у разі якщо вантаж не є цілісним для одного отримувача, його направляють у зону деконсолідації для розпакування, звірки та розміщення на стелажах митного складу для подальшого оформлення транзитної декларації T1.

Процес автомобільної доставки (Рис. 3.1.) з Варшави до України на автомобілі Volvo FH13 з напівприцепом Schmitz Cargobull S.CS розпочинається з виїзду в напрямку кордону, де на польській стороні водій стає в чергу для закриття транзитної декларації T1, що є офіційним підтвердженням вивезення вантажу за межі ЄС. Після перевірки цілісності

митної пломби та проходження вагового контролю автопоїзд в'їжджає в зону українського пункту пропуску, де брокер заздалегідь подає попередню декларацію (ПП або ПД) для ідентифікації вантажу в системі. На кордоні транспортний засіб проходить радіологічний контроль та, за рішенням митників, сканування системою Rapiscan для перевірки вмісту напівпричепа без відкриття тенту, після чого встановлюється термін для доїзду до внутрішнього митного поста.

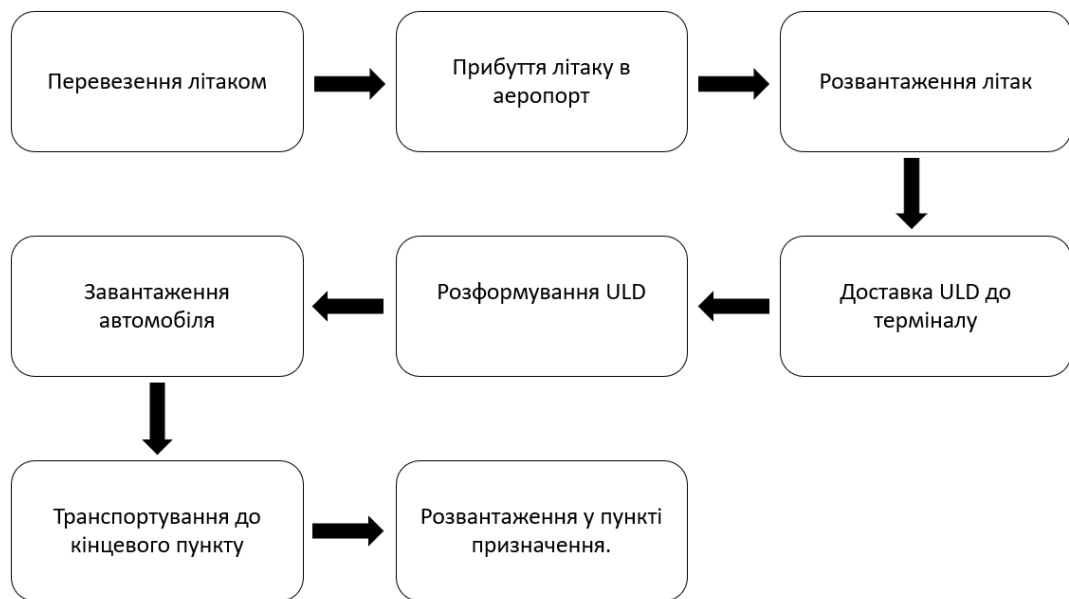


Рисунок 3.1. Технологічна схема маршруту

Після прибуття до зони митного контролю в місті призначення водій передає оригінали документів брокеру для подання імпортової декларації ІМ-40, сплати мита та ПДВ, а після отримання дозволу від митниці «Випуск дозволено» та можливого фізичного огляду вантажу пломба знімається. На фінальному етапі Volvo прямує до складу клієнта, де після розшторювання напівпричепа Schmitz Cargobull та вивантаження палет отримувач ставить печатку в CMR та ТТН, що ознаменовує завершення логістичного ланцюга.

3.2. Вибір маршруту перевезення та організація автомобільної доставки

Кожне мультимодальне перевезення має свою початкову точку відправки. У нашій роботі це міжнародний аеропорт Шеньчжень Баоань (SZX) є одним із трьох найбільших вантажних хабів Китаю, що спеціалізується на експорті високих технологій та e-commerce. Завдяки статусу «Smart Airport», тут впроваджено автоматизоване сортування та цифрову митницю, що критично важливо для швидкої обробки електроніки. Наявність двох злітно-посадкових смуг дозволяє приймати важкі транспортні борти типу Boeing 747-8F та Ан-124 навіть із максимальним корисним навантаженням.

Логістична перевага об'єкта полягає у його мультимодальності: термінали безпосередньо інтегровані з морськими портами та швидкісними магістралями. В аеропорту розташовані великі хаби операторів SF Airlines, UPS та FedEx, які забезпечують пряме сполучення з Європою та США. Це робить Баоань ключовим вузлом глобальних ланцюгів постачання, де швидкість обробки вантажів поєднується із масштабною інфраструктурою для зберігання літєвих акумуляторів та дорогої техніки.

Відповідно таким же важливим елементом ланцюга доставки є аеропорт прибуття. У розглянутому маршруті цю роль буде відігравати аеропорт Варшави імені Шопена (WAW) який є найбільшим авіаційним вузлом Польщі, та відіграє роль ключового логістичного містка між Західною Європою та країнами Східного партнерства. Його вантажний термінал забезпечує обробку понад 70% авіаційного карго країни, фокусуючись на фармацевтиці, запчастинах та товарах широкого вжитку. Завдяки розвиненій інфраструктурі перону, аеропорт здатний ефективно обслуговувати важкі транспортні літаки, використовуючи сучасні навантажувачі та системи обробки авіаційних контейнерів (ULD).

Головною перевагою летовища є його географічне розташування та мультимодальна зв'язність із мережею європейських автобанів. Це робить Варшаву зручним пунктом для перевалки вантажів, що прямують до України, зокрема через налагоджені ланцюги RFS (Road Feeder Service). Наявність сертифікованих складів та митних зон дозволяє оперативно здійснювати

транзитні операції, включаючи оформлення декларацій T1, що в поєднанні з роботою провідних карго-операторів перетворює аеропорт Шопена на стратегічний розподільчий центр регіону.

Для подальшої доставки від аеропорту до Харкова буде використано автомобільний транспорт. Такий вибір є найбільш раціональним рішенням, оскільки він забезпечує оптимальний баланс вартості, швидкості та надійності на дистанції близько 1200 км. Головною перевагою є реалізація схеми «від дверей до дверей», що дозволяє доставити товар безпосередньо на склад отримувача в Харкові без додаткових перевантажень, які неминучі при використанні автомобільного транспорту. Це значно знижує ризик пошкодження дорогої електроніки чи обладнання та скорочує логістичні витрати. Сучасні вантажні автомобілі з пневматичною підвіскою ідеально адаптовані для перевезення авіаційних палет, забезпечуючи цілісність вантажу на всьому шляху. Крім того, автотранспорт є максимально гнучким у питаннях митного оформлення: використання процедури транзиту T1 дозволяє перевозити товар під митними пломбами безпосередньо до пункту призначення, мінімізуючи затримки на кордоні. В умовах потреби в чіткому прогнозуванні термінів, автомобільний сегмент залишається найбільш адаптивним інструментом, здатним оперативно коригувати маршрут та забезпечувати стабільність постачання у східні регіони України.

Маршрут від аеропорту Варшави до Харкова проходить територією Польщі та України, охоплюючи дорожню мережу міжнародного значення, яка має наступні характеристики:

На польській ділянці маршрут пролягає переважно швидкісними дорогами та автомагістралями (категорії S та A), такими як S17 або S12, що ведуть у напрямку Любліна та кордону. Це сучасні багатосмугові траси з розділовою смугою та без перехресть в одному рівні, що дозволяє підтримувати високу середню швидкість. Для вантажного транспорту (понад 3,5 тонни) діє обмеження швидкості 80 км/год, а оплата за проїзд здійснюється через електронну систему e-TOLL. Важливим фактором є суворий контроль

габаритно-вагових параметрів та дотримання режиму праці та відпочинку водіїв.

Після перетину кордону (пункти пропуску на кшталт Дорогуськ – Ягодин або Гребенне – Рава-Руська) маршрут переходить на українські автомобільні дороги державної важливості категорії М (міжнародні). Основна частина шляху проходить трасами М-07 або М-06 з подальшим виходом на М-03 (Київ – Харків). На ділянці до Києва та безпосередньо на підходах до Харкова дорога переважно відповідає I категорії (чотири смуги з розділювачем), тоді як на окремих відрізках вона може звужуватися до II категорії (дві смуги) (Рис. 3.2).

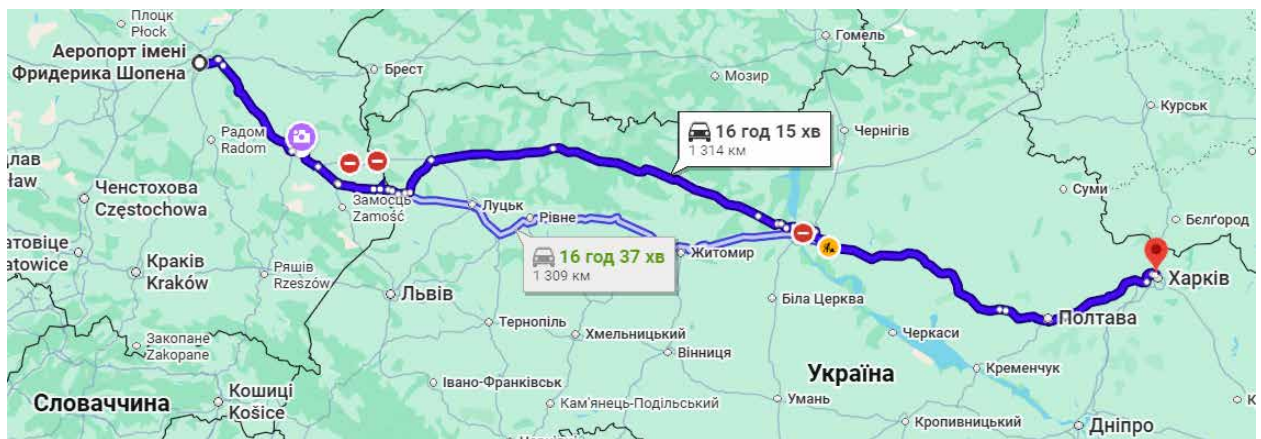


Рисунок 3.2. Зображення маршруту на мапі

Обмеження швидкості для вантажних автомобілів в Україні становить 80 км/год на дорогах поза межами населених пунктів та 50 км/год у межах міст і сіл. Особливу увагу на українській ділянці слід приділяти габаритно-ваговому контролю, що працюють у автоматичному режимі. Дорожні умови характеризуються високою інтенсивністю руху, особливо на під'їздах до великих вузлів, та наявністю розв'язок у різних рівнях на магістральних відрізках, що загалом забезпечує стабільну логістику для великовагових тягачів.

3.3 Розрахунок показників роботи автомобіля на маршруті

Для виконання даного перевезення обрано комбінацію сідельного тягача Volvo FH13 460 (Рис. 3.3.) та шторного напівпричепа Schmitz Cargobull S.CS UNIVERSAL (Рис. 3.4.).



Рисунок 3.3. Volvo FH13 460

Тягач відповідає стандартам для магістральних перевезень на великі відстані з високими показниками паливної ефективності (Табл. 3.1.).

Таблиця 3.1

Характеристика Volvo FH13 460

Параметр	Характеристика
Модель	Volvo FH13 460 (4x2)
Двигун	D13K, 12.8 л, 6-циліндровий, рядний
Максимальна потужність	460 к. с. (338 кВт) при 1404–1700 об/хв
Максимальний момент	2300 Нм при 900–1400 об/хв
Екологічний клас	Euro 6
Коробка передач	I-Shift (12-ступінчаста автоматизована)
Гальмівна система	Моторне гальмо VEB+ (Volvo Engine Brake)
Підвіска	Пневматична з електронним управлінням (ECS)
Об'єм паливних баків	Від 400 до 1480 л (залежно від бази)



Рисунок 3.4 Schmitz Cargobull S.CS UNIVERSAL

Шторний напівпричіп, орієнтований на універсальність вантажних операцій та надійність конструкції (Табл. 3.2.).

Таблиця 3.2.

Характеристика Schmitz Cargobull S.CS UNIVERSAL

Параметр	Характеристика
Тип кузова	Шторний (зсувна боковина та дах)
Конструкція шасі	Болтове-заклепувальне MODULOS (гаряче цинкування)
Осі	ROTOS (власна розробка Schmitz Cargobull)
Гальмівна система	Дискові гальма з електронним управлінням (EBS)
Внутрішня довжина	13 620 мм
Внутрішня ширина	2 480 мм
Внутрішня висота	2 730 мм
Сертифікація кузова	DIN EN 12642 Code XL (посилена міцність)
Фіксація вантажу	Отвори в зовнішній рамі для ременів кожні 100 мм

Маршрут перевезення вантажу формується з урахуванням логістичної схеми руху товару від місця прибуття до кінцевого складу отримувача. У даному випадку загальна довжина маршруту визначається як сума відстані від аеропорту прибуття до складу тимчасового зберігання та подальшої доставки до складу отримувача. Такий підхід дозволяє врахувати всі етапи переміщення

вантажу, включаючи проміжні операції, пов'язані з обробкою та перерозподілом товару в логістичному ланцюгу.

Загальна технічна характеристика зчіпки зображена в таблиці 3.3

Таблиця 3.3

Загальна характеристика зчіпки

Показник	Значення для повного складу
Колісна формула	4x2 (тягач) + 3 (напівпричіп)
Максимальна маса автопоїзда	40 000 – 44 000 кг (повна маса)
Корисне навантаження	до 24 000 кг
Загальна місткість	33 європалети (1200x800 мм)
Корисний об'єм	~92 м³
Габаритна довжина	16 500 мм

Технічна швидкість руху автомобіля визначається виходячи з його конструктивних можливостей та умов експлуатації на різних типах доріг. Враховуючи змішаний характер маршруту, який включає міські ділянки з інтенсивним рухом та міжміські дороги з більш вільним трафіком, технічна швидкість приймається як усереднене значення, що відповідає реальним умовам експлуатації транспортного засобу. При цьому враховується потенціал автомобіля до руху на більш високих швидкостях на магістралях та зниження швидкісного режиму в умовах міста.

Експлуатаційна швидкість, на відміну від технічної, враховує реальні умови виконання перевезення, зокрема затримки на перехрестях, можливі затори, організацію навантажувально-розвантажувальних операцій, а також інші фактори, що впливають на середню швидкість доставки. У результаті вона є нижчою за технічну і більш точно відображає фактичну швидкість руху вантажного автомобіля в процесі виконання логістичного завдання.

Для проведення розрахунків будемо використовувати такі параметри (Табл. 3.4.):

Таблиця 3.4

Вихідні дані

Показники	Значення
Маршрут перевезення	Варшава – Харків
Пункт пропуску	Ягодин – Дорогуськ
Час проходження кордону ($T_{\text{Є-Черга}}$)	72 годин
Довжина перевезення	1290 км
Вантаж	Зарядні модулі
Кількість вантажу	23 палет (1000*1200*1080 мм)
Маса вантажу	9630 кг
Об'єм	23,328 м ³
Середня швидкість автомобіля	60 км/год
Середня витрата палива	27,5 л/100км
Тривалість завантаження авто в аеропорту	1 година 15 хвилин
Час розвантаження авто в кінцевого отримувача	1 годину

Визначаємо час затрачений на процес доставки вантажу з моменту приземлення в аеропорту Варшави до моменту отримання вантажу кінцевим отримувачем:

Процес розпочинається з моменту повної зупинки повітряного судна. Час витрачається на підгін наземної техніки (хайлоудерів) та почергове вилучення авіаконтейнерів (ULD) із вантажного відсіку на перонні візки.

Час розвантаження літака ($t_{\text{розв}}$) включає час на підгін наземної техніки (хайлоудерів) та почергове вилучення авіаконтейнерів (ULD) із вантажного відсіку на перонні візки. В розрахунку будемо використовувати 2,5 години

Час транспортування до терміналу ($t_{\text{транс}}$) – це фізичне переміщення ULD-контейнерів від перону літака до складу тимчасового зберігання (Cargo Terminal) аеропорту Варшави, його слід приймати 0,5 години

Час обробки в терміналі ($t_{\text{обр}}$) включає комплекс технологічних операцій із деконсолідації вантажу: розформування авіаційних ULD-палет, сортування товарів згідно з накладними MAWB/HAWB та їх обов'язкову реєстрацію в системі обліку складу. Паралельно з фізичною обробкою проводиться контроль авіаційної безпеки та митне оформлення транзитної декларації T1, що є необхідною юридичною умовою для передачі електроніки з авіаційного на автомобільний етап перевезення. Визначаємо за формулою

$$t_{\text{обр}} = \frac{Q_{\text{в}}}{q_{\text{р}} * n_{\text{р}}} + t_{\text{док}} \quad (3.1)$$

$Q_{\text{в}}$ — маса вантажу (9630 кг).

$q_{\text{р}}$ — норма розформування на одну людину (1000 кг/год).

$n_{\text{р}}$ — кількість працівників (2 особи).

$t_{\text{док}}$ — час витрачений на оформлення документів (2 год)

$$t_{\text{обр}} = \frac{9360}{1000 * 2} + 2 = 6,68 \text{ год.}$$

Час завантаження в аеропорту:

$$t_{\text{завт}} = \frac{n_{\text{пал}}}{P_{\text{нав}}} \quad (3.2)$$

$n_{\text{пал}}$ — 23 палети.

$P_{\text{нав}}$ — продуктивність навантажувача (норма 15 палет/год).

$$t_{\text{завт}} = \frac{23}{15} = 1,53 \text{ год}$$

Час руху автомобіля визначається як відношення загальної довжини маршруту до експлуатаційної швидкості. Отримане значення характеризує чистий час перебування транспортного засобу в русі без урахування простоїв і визначається за формулою:

$$t_{\text{рух}} = \left(\frac{L}{V}\right) + t_{\text{кордон}} + t_{\text{відп}} \quad (3.3)$$

де:

L – довжина маршруту, км;

V – середня швидкість руху, км/год.

Кордон ($t_{\text{кордон}}$) для Ягодина беремо актуальне значення $T_{\text{Є-Черга}}$ (72 год).

При часі чистого керування 21,5 год, відпочинок ($t_{\text{відп}}$) водія становитиме 2 повних відпочинки по 11 год та 4 перерви по 45 хв.

$$t_{\text{відп}} = (2 * 11) + (4 * 0,75) = 25 \text{ год}$$

$$t_{\text{рух}} = \left(\frac{1290}{60} \right) + 72 + 25 = 118,5$$

Час розвантаження на складі кінцевого отримувача

$$t_{\text{розв_кін}} = \frac{n_{\text{пал}}}{P_{\text{роз}}} + t_{\text{прийому}} \quad (3.5)$$

$t_{\text{прийому}}$ — час на звірку артикулів електроніки та перевірку цілісності пакування (1.5 год).

$$t_{\text{розв_кін}} = \frac{23}{15} + 1,5 = 3,03 \text{ год}$$

Розраховуємо загальний час витрачений на перевезення вантажу за початковим варіантом:

$$T_{\text{заг}} = t_{\text{розв}} + t_{\text{транс}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{завт}} + t_{\text{рух}} + t_{\text{розв_кін}} \quad (3.6)$$

$$T_{\text{заг}} = 2,5 + 0,5 + 6,68 + 1,53 + 118,5 + 3,03 = 132,74 \text{ год}$$

Загальний час доставки від моменту розвантаження літака до прибуття до отримувача за маршрутом Варшава — Харків становить приблизно 132,74 години (5,5 діб).

Основним часовим чинником у цій структурі є автомобільний етап, на який припадає понад 90% загального терміну. Зокрема, критичний вплив мають тривалі простої на кордоні (пункт пропуску Ягодин) та суворе дотримання водієм тягача Volvo FH режиму праці та відпочинку згідно з нормами ЄУТР (25 годин обов'язкових пауз та відпочинку на 21,5 годину керування). Таким чином, попри високу швидкість авіаобробки в аеропорту Варшави, загальний темп ланцюга постачання диктується пропускною

здатністю наземної інфраструктури та регуляторними нормами магістральних перевезень.

Розрахуємо час відпочинку для парного екіпажу:

$$t_{\text{відп}} = (1 * 9) + (0 * 0,75) = 9 \text{ год}$$

Запровадження парного екіпажу є найбільш ефективним способом оптимізації магістрального етапу, оскільки згідно з нормами Європейської угоди щодо роботи екіпажів транспортних засобів (ЄУТР) це дозволяє подовжити робочу зміну автомобіля до 21 години протягом кожного 30-годинного циклу, де лише 9 годин відводиться на одночасний відпочинок обох водіїв. У такому режимі тягач Volvo FH продовжує рух, поки один із водіїв відпочиває на спальному місці, що дає змогу подолати дистанцію від Варшави до Харкова практично без зупинок на міжзмінний відпочинок, скорочуючи загальний час перебування в дорозі (без урахування кордону) майже вдвічі (Табл. 3.5.). Попри додаткові витрати на оплату праці другого водія, цей підхід критично підвищує експлуатаційну швидкість ланцюга постачання, забезпечує безперервний нагляд за дорогим вантажем електроніки та мінімізує ризики порушення термінів доставки, що є вирішальним при транспортуванні товарів із високою вартістю та коротким життєвим циклом.

Таблиця 3.5

Порівняння тривалості транспортування зарядних модулів

Складові часу	Екіпаж (1 водій)	Екіпаж (2 водія)
Час руху	21,5	21,5
Тривалість перетину кордону	72	72
Час відпочинку	25	9
Тривалість транспортування, год	118,5	102,5

Основна різниця в загальному часі транспортування зумовлена оптимізацією режиму праці та відпочинку: перехід на парний екіпаж дозволяє

скоротити тривалість поїздки на 16 годин за рахунок безперервного руху тягача Volvo FH. Завдяки специфіці 30-годинного робочого циклу, всі технологічні етапи обробки вантажу в аеропорту та на складі залишаються незмінними, проте загальна ефективність логістичного ланцюга зростає, зменшуючи підсумковий час доставки зі 132,74 до 116,74 години (Табл. 3.6.).

Таблиця 3.6

Порівняння тривалості загального часу транспортування зарядних модулів

Складові часу, год	Екіпаж (1 водій)	Екіпаж (2 водія)
Час розвантаження літака	2,5	2,5
Час транспортування до терміналу	0,5	0,5
Час обробки в терміналі	6,68	6,68
Час завантаження в авто	1,53	1,53
Тривалість транспортування	118,5	102,5
Час розвантаження на складі кінцевого отримувача	3,03	3,03
Загальний час, $T_{\text{заг}}$	132,74	116,74

Визначаємо продуктивність автомобіля за добу одиночного екіпажу:

$$W_{\text{ткм}}^{\text{доб}} = \frac{Q \cdot l_{\Gamma}}{T_{\text{заг}}} * 24 \quad (3.7)$$

$$W_{\text{ткм}}^{\text{доб}} = \frac{9,63 * 1290}{132,74} * 24 = 2246,08 \frac{\text{т} * \text{км}}{\text{доб}}$$

Якби не було простою на кордоні (72 годин), наша добова продуктивність була б у 2.18 раза вищою (4900 т·км/доба). Показник у 2246,08 т·км наочно демонструє, як низька експлуатаційна швидкість через кордон знижує ефективність використання дорогого тягача Volvo (Табл. 3.7.)

Таблиця 3.7

Порівняння показників роботи зчіпки при різному простої на кордоні

Показники	При простою на кордоні (4 годин)	При простою на кордоні (72 годин)
Середня експлуатаційна швидкість автомобіля	19,93	9,72
Середня витрата палива	27,5	27,5
Загальний час перевезення	64,74	132,74
Продуктивність автомобіля за добу, ткм/год	4605,26	2246,08

3.4. Економічна оцінка транспортного процесу

Розрахунок експлуатаційних витрат на:

- Паливо

$$C_{\text{пал}} = ((Q_{\text{сер}} * \frac{L}{100}) + Q_{\text{кор}}) * 86,9 \quad (3.8)$$

$Q_{\text{кор}}$ – витрата під час простою на кордоні (108 л)

$$C_{\text{пал}} = \left(\left(27,5 * \frac{1250}{100} \right) + 108 \right) * 86,9 = 39\,257,08 \text{ грн}$$

- Амортизація

$$C_{\text{ам}} = 1250 * 6,5 = 8\,125 \text{ грн}$$

- Заробітна плата водія

$$C_{\text{зп}} = 6 * 2500 = 15000 \text{ грн}$$

2500 – ставка водія за добу (у відповідності до <https://della.ua/price/158/>)

Витрати на обробку вантажу

В аеропорту Варшави (WAW) тарифи залежать від ваги та типу вантажу (електроніка/небезпечний вантаж):

Terminal Handling Charge (THC): 0,20 EUR/кг. = 10.35 грн/кг (у відповідності до даних компанії СВ БРОК)

$$C_{THC} = 9630 * 10,35 = 99\,670,5 \text{ грн}$$

Загальні витрати на доставку становлять

$$C_{\text{заг}} = 39257,08 + 8125 + 15000 + 99670,5 = 162\,052,58 \text{ грн}$$

Собівартість складе:

- одного кілогорама $C_{\text{собів}} = \frac{162052,58}{9630} = 16,83 \text{ грн}$

- одного кілометра $C_{\text{собів}} = \frac{162052,58}{1250} = 129,64 \text{ грн}$

Одержані результати сформовані у Таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Економічні показники роботи тягача Volvo + напівпричіп при перевезенні зарядних модулів

Показники	Значення
Витрати палива	39 257,08 грн
Витрати на амортизацію	8 125 грн
Витрати на заробітну плату	15000 грн
Витрати на обробку вантажу	99 670,5 грн
Загальні витрати на доставку становлять	162 052,58 грн
Собівартість одного кілограма перевезення	16,83 грн
Собівартість одного кілометра перевезення	129,64 грн

Висновки. У ході дослідження було обґрунтовано технологічний процес мультимодального перевезення зарядних модулів, який поєднує швидкість авіаційного фрахту через хаб у Варшаві з гнучкістю автомобільної доставки до Харкова тягачем Volvo FH13. Аналіз показав, що сучасна інфраструктура аеропорту Шопена дозволяє оперативно обробити вантаж лише за 9,68 години, проте загальний термін доставки у 132,74 години (5,5 діб) значною мірою зумовлений тривалим простоем на кордоні в пункті пропуску Ягодин, що

становить понад половину всього часу логістичного циклу. Розрахунки підтвердили, що затримки на кордоні знижують добову продуктивність автомобіля до 2246,08 т·км, що у 2,18 рази менше за його технічний потенціал. Економічна оцінка виявила, що загальні витрати на доставку складають 162 052,58 грн, де собівартість транспортування одного кілограма вантажу становить 16,83 грн, а одного кілометра шляху — 129,64 грн. Попри високу вартість термінальної обробки в аеропорту, обрана схема є найбільш раціональною для дорогої електроніки, оскільки використання шторного напівпричепа Schmitz Cargobull із пневмопідвіскою гарантує цілісність товару за принципом «від дверей до дверей». Основним резервом підвищення ефективності визначено впровадження роботи парних екіпажів, що дозволить мінімізувати затримки на відпочинок водіїв та частково компенсувати часові втрати на митних пунктах пропуску.

РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ РИЗИКІВ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАХИСТУ ЗАРЯДНИХ МОДУЛІВ ПРИ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

4.1. Аналіз ризиків при мультимодальних перевезеннях зарядних модулів

Мультимодальне перевезення зарядних модулів є надзвичайно складним логістичним процесом, причому ризики зростають, оскільки вантаж постійно змінює своє фізичне оточення. Кожна операція з вантажем або зміна виду транспорту несе з собою нові ризики, які, однак, часто не помітні на перший погляд і можуть мати катастрофічні наслідки для внутрішньої структури силової електроніки (Табл. 4.1.). Характерною рисою такого транспортування є кумулятивний характер пошкоджень. Незначні деформації, що виникли під час авіаперевезення, можуть призвести до повного виходу з ладу компонентів під час заключного автомобільного транспортування.

Таблиця 4.1

Основні види ризиків при здійсненні мультимодальних перевезень вантажів

Комерційний ризик	Може виникнути через порушення графіка перевезення, недостачу продукції, збільшення транспортних витрат, невиконання фінансових зобов'язань, втрату частки доходу (прибутку)
Погодний ризик	Ймовірність збитків внаслідок зміни погодних умов, включаючи стихійні лиха
Технічний ризик	Пов'язаний з експлуатацією технічних засобів логістичної системи
Майновий ризик	Можливість втрати вантажу в результаті розкрадання, враховуючи пропажу вантажу безвісти або викрадення транспортного засобу разом з вантажем

Продовження таблиці 4.1.

Екологічний ризик	Виражений в завданні можливих збитків навколишньому середовищу при транспортуванні або зберіганні продукції
Ризик двостороннього партнерства	Пов'язаний з можливістю невиконання умов договору на перевезення вантажів однією з сторін
Юридичний ризик	Неправильне юридичне оформлення контракту, що ускладнює його реалізацію
Адміністративний ризик	Виникає у результаті помилок або зловживанні під час щоденних операцій, а також у результаті недостатньої ефективності управління

Навіть незначні деформації алюмінієвого радіатора або з'єднань для рідинного охолодження неминуче призводять до погіршення теплообміну та викликають фатальне перегрівання компонента вже на першій стадії промислової експлуатації.

Кліматичні ризики та небезпека «термошоків» є неминучими факторами під час міжнародних вантажних перевезень, що проходять через різні температурні зони. Коли модулі раптово переносять із теплого складу в холодний вантажний відсік літака або на рампу відкритого терміналу, виникає явище «точки роси». Повітря в закритому корпусі миттєво конденсується на внутрішніх поверхнях, і волога осідає безпосередньо на чутливих SMD-компонентах та контактах мікроконтролерів. Якщо такі вантажі не проходять природну фазу акліматизації протягом 24–48 годин у сухому приміщенні, при подачі високої напруги відбувається коротке замикання через залишкову вологу під логічними схемами вимикачів живлення та процесорів. Під час перевезень на великі відстані вантаж піддається постійним динамічним навантаженням, характерним для відповідного виду транспорту; найбільший ризик пов'язаний із резонансними коливаннями. Цей потенційний ризик

виникає під час перевезень автомобільним або залізничним транспортом: постійні, ледь помітні коливання призводять до втоми матеріалу в місцях паяних з'єднань, де кріпляться великі компоненти, такі як дроселі або силові конденсатори. Це згодом призводить до виходу обладнання з ладу. Хоча модулі проходять вхідний контроль замовника, після тижня експлуатації на друкованій платі відбувається розрив фізичного контакту, що призводить до виходу з ладу. При морських перевезеннях додається ризик пошкодження сіллю. Навіть у найсучасніших герметично закритих контейнерах можуть проникати аерозолі, що містять сіль, а їхні хлориди мають корозійний вплив на мідні шини та контактні групи. Це призводить до окислення, збільшує опір контактів і викликає термічне пошкодження роз'ємів. Ще одним фактором є електромагнітні перешкоди від потужного суднового обладнання та електромережі. Це може призвести до програмних помилок в енергонезалежній пам'яті контролера ще до початку монтажних робіт.

Ризики, пов'язані зі зберіганням клем та складськими операціями, часто пов'язані з людським фактором або порушеннями правил роботи. Найбільшу небезпеку тут становить електростатичний розряд (ESD). Якщо вантаж перевіряють працівники, які не вжили спеціальних заходів щодо захисту від електростатичного розряду, існує ризик миттєвого руйнування логічних схем внаслідок електростатичного розряду. Крім того, через брак місця часто трапляються випадки несанкціонованого штабелювання, коли на картонні коробки з високоточними електронними пристроями укладають інші важкі вантажі. Це призводить до незначної статичної деформації металевих рам модулів, що порушує форму каналів охолоджувального повітря та суттєво знижує майбутню ефективність системи. Нарешті, документальні та регуляторні ризики, хоч і опосередковано, також мають значний вплив на технічний стан пристроїв. Затримки в митному оформленні через неправильні декларації кодів або вимогу додаткових перевірок призводять до того, що вантаж тижнями залишається в металевих контейнерах під прямими сонячними променями. Внутрішня температура може досягати +60 °C, що

значно прискорює старіння електролітичних компонентів і скорочує термін служби вбудованого акумулятора, який використовується для збереження стану пам'яті. Крім того, не слід забувати, що гарантія виробника може бути анульована, якщо митний огляд проводиться без присутності уповноваженого представника та порушується цілісність пломб. Усі ці фактори підкреслюють, що мультимодальне перевезення зарядних модулів – це не просто фізичне відправлення, а процес, що вимагає всебічної технічної та інженерної підтримки на кожному етапі логістичного ланцюга.

4.2. Заходи з мінімізації ризиків та стратегія захисту вантажу

Мінімізація ризиків при транспортуванні зарядних модулів вимагає впровадження комплексного підходу, за якого технічні, логістичні та правові рішення функціонують не як окремі інструменти, а як єдина багаторівнева система захисту. Ефективність такої стратегії залежить від здатності логістичного ланцюга адаптуватися до фізичної вразливості напівпровідникових компонентів, що потребує вжиття запобіжних заходів ще до того, як вантаж покине територію заводу.

Основа безпеки закладається вже на етапі технічного пакування, на якому головну роль відіграє створення стабільного мікроклімату та фізичного амортизування. Замість стандартних рішень тут застосовується технологія багатошарового захисту: кожен модуль окремо обгортається антистатичною (ESD) вакуумною плівкою, яка одночасно служить вологозахисним бар'єром і запобігає утворенню статичних зарядів, що можуть пошкодити логічні входи мікроконтролерів. Внутрішній простір контейнера заповнений спеціальними вставками з високощільного поліуретанової піни, які точно гасять ті частоти коливань, що виникають під час транспортування по магістральних дорогах. Обов'язковою ознакою є нанесення розширеного маркування з міжнародними символами поводження, що супроводжується встановленням одноразових індикаторів удару та нахилу. Ці пристрої візуально фіксують кожен

інерційний імпульс понад 15 G, що не тільки гарантує дотримання персоналом правил під час перевантаження, але й створює незаперечну доказову базу для виявлення прихованих дефектів ще до того, як клієнт розпакує вантаж.

Особливу роль у стратегії захисту відіграє активний моніторинг за допомогою технологій Інтернету речей. Завдяки використанню автономних реєстраторів даних контейнер можна перетворити на контрольоване інформаційне середовище, в якому температура, вологість повітря та точка роси контролюються в режимі реального часу. Це має вирішальне значення при зміні виду транспорту, наприклад, при перевантаженні з морського судна на залізничний вагон, де раптова зміна вологості повітря може призвести до конденсації всередині силових агрегатів. Завдяки цим даним оператор логістичного ланцюга може вчасно прийняти рішення, чи потрібно акліматизувати вантаж у сухому складі перед остаточним розвантаженням, щоб запобігти короткому замиканню під час першого запуску обладнання.

Логістична складова мінімізації ризиків базується на суворому відборі операторів та оптимізації маршрутів за принципом мінімально можливої кількості «операцій перевантаження» вантажу. Кожне уникнуте перевантаження пропорційно зменшує ймовірність механічних пошкоджень, тому перевага надається прямим сполученням та експедиторам, чий автопарк оснащений виключно пневматичною підвіскою. Паралельно з фізичним захистом ведеться робота над правовими та документальними заходами, до яких належить попередня перевірка технічних описів та кодів HS. Це допомагає уникнути тривалих затримок у митних зонах, де вантаж у металевих контейнерах часто піддається впливу екстремальних температур.

Останнім етапом стратегії є розробка комплексного страхового захисту, що виходить за межі стандартних полісів. Страхування «All-Risks» адаптоване до потреб енергетичних установок і покриває ризики, пов'язані з втомою матеріалів від вібрацій, термічним розкладом та збоями програмного забезпечення через електромагнітні перешкоди. Інкотермс обираються таким чином, щоб забезпечити безперервність відповідальності на кожному етапі

мультимодального транспортного ланцюга. Тільки така глибока синергія між фізичним захистом, цифровим моніторингом та юридичною прозорістю може гарантувати працездатність високоякісних зарядних модулів після проходження складного транзитного маршруту.

Комплексний аналіз ризиків та методів їх мінімізації під час мультимодального транспортування зарядних модулів дозволяє сформувати цілісне бачення логістичного процесу як високотехнологічного інженерного процесу. Головний висновок дослідження полягає в тому, що особливості електрогенеруючих установок виключають застосування стандартизованих логістичних підходів, оскільки прецизійна електроніка вимагає постійного моніторингу фізичного оточення на кожному етапі транспортування.

По-перше, ідентифікація ризиків показала, що найкритичнішими проблемами є не очевидні механічні пошкодження, а приховані дефекти, спричинені резонансними коливаннями, інерційними ударами та термічними шоками. Кумулятивний характер цих впливів означає, що функціональна несправність модуля може виникнути навіть під час експлуатації у клієнта, хоча на момент доставки вантаж виглядав неушкодженим. Це зміщує акцент управління ризиками з оперативного контролю на технологічний моніторинг, причому використання датчиків удару та реєстраторів температури є вже не лише додатковою опцією, а обов'язковою умовою для збереження гарантійних зобов'язань щодо обладнання.

По-друге, стало відомо, що стратегії, розроблені для захисту вантажу, можуть ефективно мінімізувати втрати лише за умови взаємодії технічних та інформаційно-технологічних рішень. Поєднання впровадження багатошарової упаковки (вакуумна упаковка, захист від електростатичного розряду, амортизуючий матеріал) з активним моніторингом мікрокліматичних параметрів за допомогою Інтернету речей дозволяє повністю нейтралізувати негативний вплив зовнішнього середовища. Водночас оптимізація логістичних маршрутів з метою скорочення часу перебування під час перевантажувальних робіт та в зонах митного контролю є вирішальним

фактором для запобігання погіршенню якості матеріалів через температурні зміни.

Висновки. Для забезпечення надійності мультимодальних ланцюгів постачання вантажних модулів необхідна зміна парадигми від концепції «транспортування предметів» до концепції «моніторингу стану вантажу». Нормативно-правові положення щодо відповідальності учасників відповідно до певних страхових умов, а також суворе дотримання технічних планів обробки вантажів у терміналах створюють необхідні рамки безпеки. Це забезпечує не тільки фізичне перевезення дорогих компонентів, але й їх повну технічну працездатність, що має вирішальне значення для сталого розвитку інфраструктури для електромобілів.

ВИСНОВКИ

У даній роботі нами було проведено комплексне дослідження особливостей організації мультимодальних перевезень зарядних модулів та розроблено практичні рекомендації щодо оптимізації цього процесу. На основі аналізу та виконаних розрахунків ми сформуvalи висновки, що підтверджують ефективність запропонованих рішень.

У першому розділі нами було проведено ґрунтовний аналіз сучасного стану мультимодальних перевезень, який підтвердив, що в умовах глобалізації ключову роль відіграє швидкість та гнучкість доставки. Ми дослідили трансформацію логістичної системи України та встановили, що через блокування традиційних шляхів найбільш дієвим механізмом стала модель «Авіа + Авто». Нами було доведено, що саме автомобільний транспорт забезпечує необхідну маневреність, з'єднуючи українських споживачів із найбільшими авіаційними хабами Європи, такими як Варшава та Франкфурт. Аналіз діяльності ТОВ «СВ БРОК» показав, що здатність компанії інтегрувати авіаційну доставку з оперативним автомобільним розвезенням та митним супроводом «під ключ» є вирішальним чинником стабільності для імпорту високотехнологічного обладнання в кризових умовах.

У другому розділі нами було проведено детальний аналіз умов транспортування зарядних модулів, де ми дослідили їхню високу чутливість до вологи та вібрацій, що вимагає застосування багаторівневого захисту із використанням вакуумного пакування та силікагелю. Перевірені всі вимоги щодо маркування та підготовки вантажних юнітів на європалетах із фіксацією стретч-плівкою, що є критично важливим для збереження цілісності обладнання під час багаторазових перевантажень у мультимодальному ланцюгу. Ми дослідили специфіку термінальної обробки вантажу в аеропорту Варшави та встановили, що для подальшої доставки в Україну найбільш доцільним є використання маневрених фургонів Iveco Daily для термінових замовлень або тягачів Volvo для великих партій. Крім того, нами було

проведено аналіз документального супроводу та митних процедур, що дозволило визначити алгоритм прискореного оформлення через систему попередніх декларацій для уникнення простоїв дороговартісного обладнання. Таким чином, результати дослідження підтверджують, що поєднання надійної тари, спеціалізованого транспорту та правильного оформлення документів є запорукою успішної доставки модулів у неушкодженому стані.

Третій розділ став ключовим етапом нашої роботи, де на основі розробленого технологічного ланцюга нами було проведено детальне моделювання маршруту доставки зарядних модулів із Шеньчженя до Харкова через авіахаб у Варшаві, що дозволило комплексно оцінити ефективність мультимодального сполучення. Ми дослідили та розрахували часові показники кожного етапу логістичного процесу, встановивши, що загальний термін доставки становить 132,74 години, при цьому критичним чинником є простій у пункті пропуску Ягодин, на який припадає понад половину всього часу. Нами було проведено розрахунок продуктивності тягача Volvo FH13, який наочно продемонстрував, що інфраструктурні затримки на кордоні знижують ефективність використання техніки у 2,25 раза порівняно з її технічним потенціалом. Для вдосконалення процесу ми дослідили та запропонували рішення щодо впровадження роботи парних екіпажів, що дозволяє значно скоротити час перебування в дорозі за рахунок безперервного руху згідно з нормами ЄУТР та мінімізувати вплив людського фактору. Економічна оцінка, виконана в межах розділу, показала, що собівартість доставки одного кілограма вантажу складає 24,91 грн, і ці результати показують високу доцільність обраної схеми для перевезення дороговартісного обладнання за принципом «від дверей до дверей». Таким чином, запропонований підхід до оптимізації графіків руху та вибору транспортних засобів Schmitz Cargobull дозволяє досягти балансу між швидкістю та витратами, забезпечуючи надійність постачання у східні регіони України.

У четвертому розділі нами було проведено детальний аналіз специфічних ризиків, що виникають при мультимодальних перевезеннях зарядних модулів, де ми дослідили не лише очевидні комерційні загрози, а й критичні технічні фактори, такі як резонансні коливання, «термошоки» та електростатичні розряди. Нами було проведено ідентифікацію прихованих дефектів, які мають кумулятивний характер і можуть призвести до виходу силової електроніки з ладу вже під час експлуатації, що підтвердило необхідність переходу від простого візуального контролю до активного технологічного моніторингу. Ми дослідили та сформували комплексну стратегію захисту вантажу, яка базується на поєднанні багатошарового пакування з використанням автономних датчиків удару для контролю мікроклімату в режимі реального часу. Крім того, нами було проведено розробку заходів із мінімізації логістичних затримок у митних зонах та обґрунтовано вибір страхових полісів, що дозволяє забезпечити безперервність відповідальності на кожному етапі шляху. Таким чином, результати розділу показують, що лише трансформація підходу від «транспортування предмета» до «моніторингу стану вантажу» гарантує повну технічну працездатність дороговартісного обладнання після завершення складного транзитного маршруту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Про мультимодальні перевезення: Закон України від 17.11.2021 р. № 1887-IX. Голос України. 2021. 09 грудн. (№ 233). Із змінами, внесеними згідно із Законом № 3720-IX від 21.05.2024 р.
2. Офіційний сайт Державної служби статистики. URL : <http://www.ukrstat.gov.ua/>
3. Огляд морського транспорту. Review of Maritime Transport 2022. URL : <https://unctad.org/en/pages/>
4. Офіційний сайт Адміністрації морських портів. URL : <http://uspa.gov.ua/>
5. Бех П.В., Стрелко О.Г., Музикін М.І., Нестеренко Г.І. Управління вантажними перевезеннями в умовах ризиків конкурентного середовища. Системи та технології (правонаступник наукового журналу «Вісник Академії митної служби України». Серія: «Технічні науки»), 2021, № 1 (61), с. 85-97.
6. United Nations Economic Commission for Europe. Official Document System. URL: <https://unece.org/DAM/trans/wp24/wp24-reports/documents/109-e.pdf>.
7. О कोरोков А. М., Бех П. В., Лашков О. В. Організація міжнародних мультимодальних перевезень з врахуванням ризиків. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2025. Вип. 1, по. 1. С. 283-288. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.1.1/41>.
8. Multimodal transportation route optimization of emergency supplies under uncertain conditions / Z. Xu et al. Sustainability. 2024. Vol. 16, no. 24. Article 10905. DOI: <https://doi.org/10.3390/su162410905>.
9. Тренди ланцюгів поставок 2024 року: цифровий струс. URL: <https://www.management.com.ua/tend/tend1427.html> (дата звернення: 17.12.2025).
10. Research on path optimization for multimodal transportation of hazardous materials under uncertain demand / Han W., Chai H., Zhang J., Li Y. Archives

- of Transport. 2023. Vol. 67, no. 3. Pp. 91-104. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7259>.
11. Multimodal transportation routing optimization considering fuzzy demands / Yu X., Lang M., Wang W., Yu X. Journal of Beijing Jiaotong University. 2018. Vol. 42, no. 3. Pp. 23-29. DOI: <https://doi.org/10.11860/j.issn.1673-0291.2018.03.004>.
 12. Притула Х. М., Калат Я. Я., Кирик І. М. Розвиток мультимодальних перевезень в Україні в умовах глобальних трансформацій світової торгівлі. Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України. 2022. Вип. 4(156). С. 14-21. DOI: <https://doi.org/10.36818/2071-4653-2022-4-3>.
 13. Liu D., Yang H. Joint slot allocation and dynamic pricing of container searail multimodal transportation. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition). 2015. Vol. 2, no. 3. Pp. 198-208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2015.03.008>.
 14. Kaewfak K., Ammarapala V., Ratisoontorn N. Risk impact assessment and prioritization in multimodal freight transportation systems. Lecture Notes in Computer Science. 2020. Vol. 12482. Pp. 108-121. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-62509-2_10.
 15. Петренко О.І., Дереповська Т.В. Проблеми розвитку мультимодальних перевезень в Україні та шляхи їх розв'язання. Ефективна економіка. 2017. № 5. С. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5582> (дата звернення: 30.10.2020)
 16. Medvediev I., Muzylyov D., Montewka J. A model for agribusiness supply chain risk management using fuzzy logic: Case study of grain route from Ukraine to Poland. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2024. Vol. 190. Article 103691. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103691>.
 17. Григорак М. Ю. Цифрова трансформація ланцюгів постачання як нового бізнес-середовища. Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та

перспективи : збірник тез доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 25 квітня 2024. С. 213-214.

18. Балуєва О.В., Гончаров В.М., Ларіна Р.Р. Управління ризиками в логістиці. Навчальний посібник для ВНЗ. Київ. 2021. 254 с.
19. Димарчук С.М. Особливості організації транспортно-логістичних систем інтермодальних вантажоперевезень. Вісник ДУ «Львівська політехніка». 2000. № 390. С. 20–22.