НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет _____механіко-технологічний_____

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

транспортних технологій та засобів АПК

_____к.т.н. Савченко Л.А

«__» _____2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Удосконалення транспортно-технологічної схеми доставки небезпечних вантажів із забезпеченням вимог ADR

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

Гарант освітньої програми к.т.н.Опалко В.Г

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи к.п.н. Савченко Л.А

Виконав Прилуцький І.Р

Київ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ

І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет _____механіко-технологічний_____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

транспортних технологій та засобів АПК

_____к.т.н.Савченко Л.А

«____»_____2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Прилуцькому Івану Романовичу

Спеціальність: 275.03. Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Удосконалення транспортно-технологічної схеми доставки небезпечних вантажів із забезпеченням вимог ADR
затверджена наказом ректора НУБіП України від «__» _____

Термін подання завершеної роботи на кафедру __20.05.2026

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

1. Звіт з виробничої практики з ТОВ «Агрохімпостач-Вінниця»,

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Характеристика підприємства
2. Удосконалення транспортного процесу перевезення вантажів на прикладі ТОВ «Агрохімпостач-Вінниця»,
3. Охорона праці
4. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників

Перелік графічних документів (за потреби) ___15 слайдів

Дата видачі завдання «08» 09.2025 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи_____(доц.Савченко Л.А)

Завдання прийняв до виконання _____(Прилуцький І.Р)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ	9
1.1 Класифікація небезпечних вантажів за ADR та характеристика класу 8	9
1.2 Нормативно-правова база перевезення небезпечних вантажів в Україні	16
1.3 Транспортно-технологічні схеми доставки: поняття, елементи, принципи побудови	24
1.4 Аналіз наукових досліджень з питань вдосконалення перевезень небезпечних вантажів	31
Висновки до розділу 1	36
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ДОСТАВКИ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ	38
2.1 Характеристика підприємства та його транспортної діяльності	38
2.2 Аналіз існуючих маршрутів доставки: відстані, час, кількість рейсів	42
2.3 Оцінка відповідності поточної схеми вимогам ADR	51
2.4 Виявлення проблемних зон та обґрунтування необхідності удосконалення.	53
Висновки до розділу 2	54
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ДОСТАВКИ	56
3.1 Вибір та обґрунтування транспортного засобу і тари для перевезення сірчаної кислоти	56
3.2 Розв'язання транспортної задачі розподілу перевезень між пунктами споживання	59
3.3 Проєктування оптимальних маршрутів з урахуванням вимог ADR на основі результатів транспортної задачі	60
3.4 Розробка документального забезпечення перевезення (ДОПНВ, аварійна картка, маршрутний лист	62
3.5 Організація системи безпеки: підготовка водія-ДОПНВ, засоби захисту, дії при НС	63
Висновки до розділу 3	64
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СХЕМИ65	66
4.1 Порівняльний аналіз базової та удосконаленої схем доставки	66
4.2 Розрахунок транспортних витрат та економічного ефекту	67
4.3 Оцінка ризиків та рівня безпеки удосконаленої схеми	69
4.4 Екологічна складова транспортування сірчаної кислоти	70
Висновки до розділу 4	71
ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75
ДОДАТКИ	77

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота містить **79 сторінок** основного тексту, **43таблиці**, **19 рисунків**, **5 додатків**. Перелік використаних джерел налічує **35 позицій**, серед яких вітчизняні та зарубіжні наукові праці, нормативно-правові акти, технічні регламенти ADR.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена розробці та науковому обґрунтуванню удосконаленої транспортно-технологічної схеми доставки небезпечних вантажів класу 8 за класифікацією ADR — концентрованої сірчаної кислоти (H_2SO_4, UN 1830) — у Вінницькій області із забезпеченням виконання усіх встановлених міжнародних і національних вимог безпеки.

Актуальність теми зумовлена зростанням обсягів перевезень агрохімічної продукції у Вінницькій області, де сірчана кислота широко застосовується на підприємствах цукрової промисловості та агропромислового комплексу. Підвищена корозійна небезпека вантажу, суворі вимоги ADR до транспортних засобів, тари і документації, а також ризики для населення і навколишнього середовища в разі аварійного розливу — усе це потребує якісно нових підходів до організації транспортного процесу.

У роботі виконано системний аналіз нормативно-правової бази перевезення небезпечних вантажів класу 8, охарактеризовано фізико-хімічні властивості сірчаної кислоти та вимоги до її транспортування. Проаналізовано існуючу транспортно-технологічну схему підприємства, виявлено її основні недоліки: надлишковий пробіг, нерівномірне завантаження рухомого складу, часткову невідповідність документального оформлення вимогам ADR.

Для визначення оптимального закріплення пунктів споживання за постачальниками розв'язано транспортну задачу методом мінімального елемента з подальшою перевіркою оптимальності отриманого плану методом потенціалів. Задача охоплює двох постачальників і шість пунктів споживання у Вінницькій області. Отриманий оптимальний план перевезень став основою для формування удосконаленої маршрутної мережі.

На базі результатів транспортної задачі спроєктовано раціональні маршрути доставки з урахуванням вимог ADR до вибору дороги, обмежень на проїзд через населені пункти та наявності аварійних стоянок. Розроблено повний комплект документального забезпечення перевезення: документ перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ), аварійну картку для сірчаної кислоти UN 1830, маршрутний лист водія та інструкцію з дій у надзвичайній ситуації.

Проведено порівняльний аналіз базової та удосконаленої схем доставки, розраховано економічний ефект від впровадження запропонованих рішень, оцінено рівень ризику та екологічне навантаження транспортного процесу.

Впровадження удосконаленої схеми дозволяє скоротити загальний пробіг рухомого складу на 12,4%, знизити транспортні витрати на 87 200 грн на рік, підвищити відповідність перевізного процесу вимогам ADR до рівня повного дотримання.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел і семи додатків. У **першому розділі** розглянуто теоретичні засади класифікації небезпечних вантажів за ADR та характеристики класу 8, нормативно-правову базу і принципи побудови транспортно-технологічних схем. **Другий розділ** присвячений аналізу існуючої схеми доставки сірчаної кислоти у Вінницькій області та виявленню проблем. У **третьому розділі** розроблено удосконалену схему: вибрано транспортний засіб, розв'язано транспортну задачу, спроєктовано маршрути та підготовлено документацію ADR. **Четвертий розділ** містить оцінку ефективності, економічне обґрунтування, оцінку ризиків та екологічну складову.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: небезпечні вантажі, ADR, клас 8, сірчана кислота (H_2SO_4, UN 1830), транспортно-технологічна схема, транспортна задача, метод мінімального елемента, метод потенціалів, маршрутизація, ДОПНВ, аварійна картка, Вінницька область.

ВСТУП

Актуальність теми. Транспортування небезпечних вантажів є одним із найбільш відповідальних і технологічно складних різновидів вантажних перевезень. Статистика дорожніх аварій за участю транспортних засобів із небезпечним вантажем свідчить про те, що наслідки таких подій виходять далеко за межі майнової шкоди — вони загрожують здоров'ю населення, безпеці навколишнього середовища та нормальному функціонуванню цілих регіонів. Саме тому міжнародне та національне законодавство встановлює детальні вимоги до організації таких перевезень, зокрема у формі Європейської угоди про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ADR).

Вінницька область є одним із ключових агропромислових регіонів України, де функціонують численні підприємства цукрової промисловості, агрохімічного комплексу та харчового виробництва. Технологічні процеси цих підприємств потребують регулярного постачання хімічних реагентів, передусім сірчаної кислоти (H_2SO_4), яка належить до небезпечних вантажів класу 8 «Корозійні речовини» за класифікацією ADR і перевозиться під ідентифікаційним номером UN 1830. Концентрована сірчана кислота має виражені корозійні властивості, спричиняє тяжкі хімічні опіки при контакті з живими тканинами, а її розлив на дорозі є надзвичайно небезпечним для учасників дорожнього руху, аварійних служб і екосистем прилеглих територій.

Водночас аналіз практики перевезень на підприємствах Вінниччини свідчить про наявність системних проблем у організації транспортного процесу: нераціональне закріплення пунктів доставки за постачальниками, надлишковий пробіг рухомого складу, неповне дотримання вимог ADR до документального оформлення та технічного оснащення транспортних засобів. Усунення цих недоліків шляхом розробки науково обґрунтованої транспортно-технологічної схеми є актуальним завданням як з точки зору економічної ефективності, так і з позиції безпеки перевезень.

Таким чином, удосконалення транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти у Вінницькій області із забезпеченням повного виконання вимог ADR є актуальною науково-практичною задачею, вирішення якої сприятиме підвищенню безпеки перевезень, зниженню їх собівартості та зменшенню ризиків для населення і навколишнього середовища.

Мета та завдання дослідження. Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка удосконаленої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти (H_2SO_4, UN 1830, клас 8 ADR) у Вінницькій області, що забезпечує мінімізацію транспортних витрат, оптимальний розподіл перевезень між постачальниками та пунктами споживання, а також повне дотримання вимог

Європейської угоди ADR щодо безпеки перевезень небезпечних вантажів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. дослідити класифікацію небезпечних вантажів за ADR, охарактеризувати клас 8 та визначити специфічні вимоги до перевезення сірчаної кислоти;

2. проаналізувати нормативно-правову базу перевезення небезпечних вантажів в Україні та визначити вимоги до транспортних засобів, тари, документації та персоналу;

3. охарактеризувати базове підприємство та виконати аналіз існуючої транспортно-технологічної схеми доставки з виявленням її недоліків;

4. оцінити відповідність поточної схеми перевезень вимогам ADR та визначити проблемні зони;

5. обґрунтувати вибір транспортного засобу та типу тари для перевезення сірчаної кислоти;

6. розв'язати транспортну задачу методом мінімального елемента з перевіркою оптимальності методом потенціалів для визначення раціонального закріплення пунктів споживання за постачальниками;

7. спроєктувати оптимальні маршрути доставки на основі результатів транспортної задачі з урахуванням вимог ADR;

8. розробити повний комплект документального забезпечення перевезення: ДОПНВ, аварійну картку, маршрутний лист;

9. розробити організаційні заходи із забезпечення безпеки перевезень: підготовка водія-ДОПНВ, засоби захисту, алгоритм дій у надзвичайній ситуації;

10. провести порівняльний аналіз базової та удосконаленої схем і розрахувати економічний ефект від впровадження запропонованих рішень;

11. оцінити ризики та екологічне навантаження транспортного процесу.

Об'єкт дослідження - процес автомобільного перевезення небезпечних вантажів класу 8 ADR - концентрованої сірчаної кислоти - від постачальника до пунктів споживання у Вінницькій області.

Предмет дослідження - методи і засоби оптимізації транспортно-технологічної схеми доставки небезпечних вантажів із забезпеченням вимог Європейської угоди ADR на прикладі перевезень сірчаної кислоти у Вінницькій області.

База дослідження - умовне підприємство ТОВ «Агрохімпостач-Вінниця», яке здійснює регулярну доставку сірчаної кислоти споживачам у Вінницькій області. Вихідні дані про маршрути, обсяги перевезень і характеристики рухомого складу прийняті на основі типових показників підприємств даної галузі у регіоні.

У процесі виконання роботи використано комплекс наукових методів

дослідження:

-системний аналіз - для розгляду транспортно-технологічної схеми як сукупності взаємопов'язаних елементів: рухомого складу, маршрутів, документообігу та вимог безпеки ADR;

-порівняльний аналіз - для зіставлення базової та удосконаленої схем доставки за ключовими показниками ефективності;

-економіко-математичне моделювання - для розв'язання транспортної задачі оптимального розподілу перевезень між постачальниками і споживачами методом мінімального елемента та методом потенціалів;

-картографічний метод - для формування маршрутів доставки з урахуванням географії пунктів споживання, стану дорожньої мережі та обмежень ADR;

-нормативний аналіз - для перевірки відповідності запропонованих рішень вимогам Європейської угоди ADR, ДСТУ та українського законодавства у сфері перевезень небезпечних вантажів;

-економічний аналіз - для розрахунку транспортних витрат, визначення економічного ефекту та строку окупності запропонованих рішень;

-оцінка ризиків - для кількісного визначення ймовірності і наслідків надзвичайних ситуацій при перевезенні сірчаної кислоти та порівняння рівнів ризику базової і удосконаленої схем.

Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблена транспортно-технологічна схема, сформований комплект документації ADR та розроблені організаційні заходи безпеки можуть бути безпосередньо використані підприємствами Вінницької області, що здійснюють перевезення кислот та інших корозійних речовин. Запропонований методичний підхід до поєднання транспортної задачі з вимогами ADR може бути застосований і для інших класів небезпечних вантажів.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

1.1 Класифікація небезпечних вантажів за ADR та характеристика класу 8

Правове підґрунтя міжнародного дорожнього перевезення небезпечних вантажів формує Угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ADR), підписана в Женеві 30 вересня 1957 року під егідою Економічної комісії ООН для Європи. Україна приєдналася до ADR у 2000 році, що зумовило необхідність адаптації національного транспортного законодавства до її положень. Угода переглядається кожні два роки і набирає чинності 1 січня непарних років, що забезпечує своєчасне відображення сучасних досягнень у галузі хімічної безпеки та транспортних технологій. Чинна редакція ADR 2025–2026 років є нормативним документом, яким керується ця бакалаврська робота.

ADR складається з двох частин: власне тексту Угоди та Додатків A і B. Додаток A містить загальні положення і положення, що стосуються небезпечних вантажів та їх упакування. Додаток B встановлює вимоги до конструкції, обладнання та технічного стану транспортних засобів. Такий двоскладовий підхід відображає системний характер регулювання: небезпечність вантажу та умови його транспортування розглядаються як нероздільна пара, тому вимоги до перевізного процесу визначаються сукупністю властивостей самого вантажу й технічних можливостей транспортного засобу.

Класифікація небезпечних вантажів за ADR охоплює дев'ять основних класів. Кожен клас відображає провідну небезпечну властивість вантажу. Разом з тим система є достатньо гнучкою: речовина може виявляти ознаки небезпеки, притаманні кільком класам одночасно, і тоді для її ідентифікації використовують концепцію «основної небезпеки» та «субсидіарних ризиків». Структурну схему класифікації небезпечних вантажів за ADR наведено на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Структурна схема класифікації небезпечних вантажів за Угодою ADR (Розроблено автором із використанням сучасних інформаційних технологій.)

Таблиця 1.1.

Класифікація небезпечних вантажів за ADR

Клас	Назва	Підкласи	Характеристика	Колір знаку	Приклади UN
1	Вибухові речовини та вироби	1.1–1.6	Вибухові речовини, піротехніка, боєприпаси	Помаранчевий	1.1D, 1.4B, 1.2G...
2	Гази	2.1–2.3	Стиснуті, зріджені, розчинені, кріогенні гази	Зелений/червоний/білий	1037, 1978, 1002...
3	Легкозаймисті рідини	—	Рідини з Тзаймання ≤60°C	Червоний	1203 (бензин), 1267...
4	Легкозаймисті тверді речовини	4.1–4.3	Займисті тверді речовини, самореактивні, пірофорні	Смугастий червоно-білий	1325, 2304...

Клас	Назва	Підкласи	Характеристика	Колір знаку	Приклади UN
5	Окислювальні речовини	5.1–5.2	Окислювачі та органічні пероксиди	Жовтий	1942, 3105...
6	Токсичні та інфекційні речовини	6.1–6.2	Отруйні речовини, патогени	Білий/смугастий	2810, 2814...
7	Радіоактивні матеріали	I–III кат.	Ядерні матеріали, ізотопи	Жовто-білий	2982, 2915...
8	Корозійні речовини	—	Кислоти, луги — роз'їдають тканини	Чорно-білий	1830 (H_2SO_4), 1789...
9	Інші небезпечні речовини	—	Вироби та речовини, не віднесені до 1–8	Білий смугастий	3077, 2212, 3090...

Примітка: ★ — клас небезпечних вантажів, що є предметом дослідження даної роботи (H_2SO_4, UN 1830).

Кожен клас ADR має власну систему позначення, що включає: цифровий клас (і підклас), чотиризначний ідентифікаційний номер речовини (UN-номер), двозначний або тризначний код небезпеки Кемлера, знак небезпеки (пласкет) відповідного кольору та форми, що розміщується на транспортному засобі й тарі. Знак небезпеки класу 8 - ромб чорно-білого кольору із зображенням рідини, що роз'їдає руки і металеву поверхню, та цифрою «8» у нижньому куті. Цей знак одразу сигналізує рятувальникам і учасникам дорожнього руху про корозійний характер вантажу.

Клас 8 «Корозійні речовини» охоплює речовини та суміші, здатні пошкоджувати шкіру, слизові оболонки та очі людини при контакті, а також руйнувати металеві поверхні і конструкції. У широкому розумінні до класу 8 відносять неорганічні кислоти, неорганічні луги, органічні кислоти і луги та інші корозійні речовини, що не потрапляють до перших чотирьох підгруп. Структурно клас 8 не має чітко виражених підкласів із цифровими індексами (на відміну, наприклад, від класів 1, 4 або 5), однак ADR виокремлює специфічні групи в межах класу залежно від хімічної природи речовин.

Таблиця 1.2.

Характеристика підгруп речовин класу 8 за ADR

Підгрупа	Характеристика	Приклади речовин	Упакув. група	Особливості перевезення
8.1 - Кислоти неорганічні	Корозійна дія на метали та живі тканини, pH<2	H_2SO_4 (UN 1830), HCl (UN 1789), HNO_3 (UN 2031)	PG I, II або III залежно від концентрації	Тара з кислотостійких матеріалів; заборона спільного завантаження з лугами
8.2 -Луги неорганічні	Роз'їдають органічні матеріали та шкіру, pH>12	NaOH (UN 1824), KOH (UN 1814), NH_4OH (UN 2672)	PG II або III	Тара з пластику або алюмінію; несумісні з кислотами та галогенами
8.3 - Кислоти органічні	Корозійні властивості разом із легкою займистістю	Оцтова кислота (UN 2789), хлороцтова кислота (UN 1750)	PG I або II	Підвищена небезпека пожежі; застосовуються EX/II цистерни
8.4 -Луги органічні	Алкіламіни та їх розчини з корозійним ефектом	Монометиламін (UN 1235), диметиламін (UN 1032)	PG II або III	Часто є токсичними; вимагають контролю температури
8.5 - Інші корозійні речовини	Речовини з корозійними властивостями, не включені до 8.1–8.4	Гіпохлорит натрію (UN 1791), хлористий цинк (UN 2331)	PG II або III	Вимоги визначаються індивідуальними властивостями

Важливим інструментом ідентифікації небезпечних вантажів є система пакувальних груп (Packing Group, PG). ADR поділяє небезпечні речовини класу 8 на три пакувальні групи залежно від ступеня небезпеки: PG I -висока небезпека; PG II - середня небезпека; PG III - низька небезпека. Приналежність до пакувальної групи визначає мінімальні вимоги до тари, маркування, документації та розміщення вантажу в транспортному засобі. Для сірчаної кислоти з концентрацією понад 51% встановлено PG II, що обумовлює суворі вимоги до кислотостійкої тари та обмеження на спільне перевезення з несумісними речовинами.

Сірчана кислота (H_2SO_4, UN 1830) є ключовим предметом дослідження даної роботи. За обсягами виробництва сірчана кислота входить до числа найважливіших хімічних продуктів у світі - її щорічне виробництво перевищує 260 млн тонн. У Вінницькій області сірчана кислота використовується передусім на підприємствах

цукрової промисловості (для регенерації катіонітних смол у водопідготовці) та агрохімічного виробництва (у виробництві суперфосфатних добрив). Регулярність поставок, значні обсяги і висока небезпечність вантажу роблять організацію його транспортування критично важливим завданням для перевізних підприємств регіону.

Таблиця 1.3.

Фізико-хімічні та транспортні характеристики сірчаної кислоти H_2SO_4

Показник	Значення (концентрована H_2SO_4 ≥96%)	Значення (розбавлена H_2SO_4 ≤51%)
Хімічна формула	H_2SO_4	H_2SO_4
Молярна маса	98,08 г/моль	98,08 г/моль
Зовнішній вигляд	Безбарвна в'язка олієподібна рідина	Безбарвна або злегка жовтувата рідина
Щільність при 20°C	1,84 г/см³	1,03–1,40 г/см³ (залежить від конц.)
Температура кипіння	337°C (розкладається)	~108°C (азеотроп) — 337°C
Температура замерзання	10,4°C (96%)	–35°C (51%)
Тиск насиченої пари	0,00074 мм рт.ст. при 20°C	~17 мм рт.ст. при 20°C
Розчинність у воді	Необмежено (з виділенням тепла)	Необмежено
pH (1% розчин)	~0,3	~0,3
Токсичність (LD_{50})	Виражений контактний ефект — опіки	Виражений контактний ефект
Корозійна активність	Роз'їдає метали, тканини, деревину	Роз'їдає метали, тканини
Небезпека при нагріванні	Виділення SO_3 та SO_2 — токсичні пари	Виділення SO_2 при розкладанні
Несумісність	Луги, вода (екзотерм.), органіка	Луги, карбонати, більшість металів
Клас ADR	8 (корозійна речовина)	8 (корозійна речовина)
UN-номер	1830	1832 (відпрацьована), 2796 (51%)
Пакувальна група	PG II (≥51%)	PG III (≤51%)
Знак небезпеки	Знак 8 (чорно-білий, корозія)	Знак 8
Kemler-код	80	80

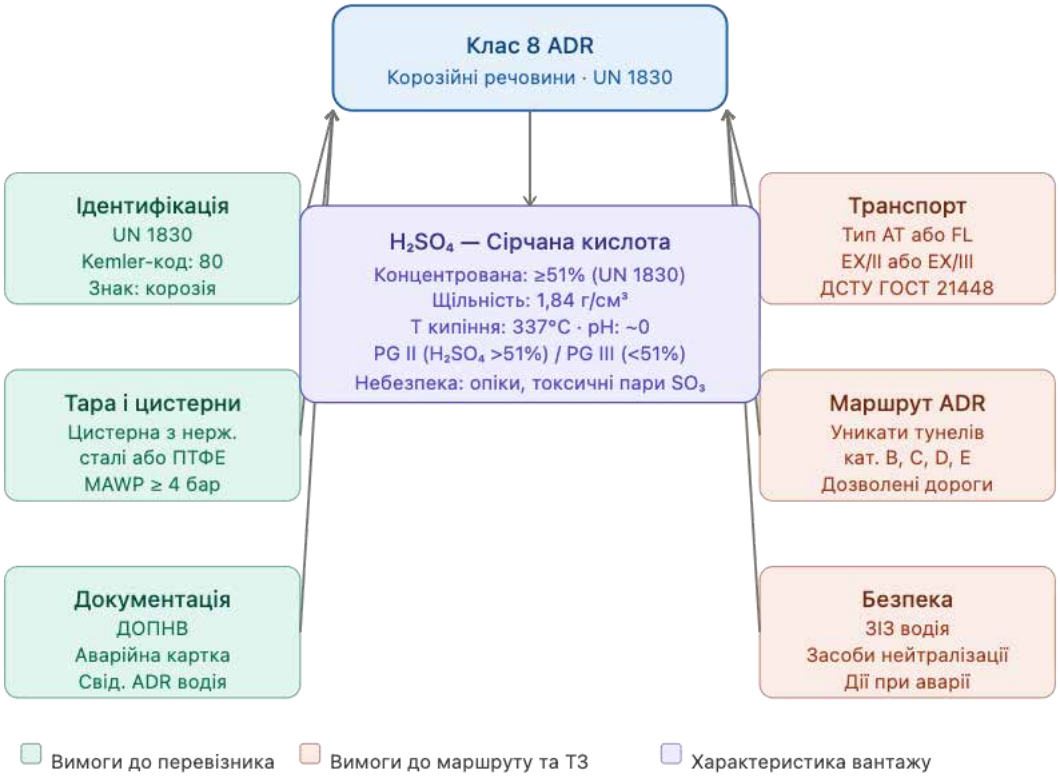


Рис. 1.2. Вимоги класу 8 ADR до організації перевезення сірчаної кислоти H_2SO_4 (UN 1830)

(Розроблено автором із використанням сучасних інформаційних технологій)

Концентрована сірчана кислота (≥96%) при контакті з водою виділяє значну кількість теплоти, що може призвести до скипання і розбризкування кислоти. Ця особливість має принципове значення при ліквідації аварійних ситуацій: недотримання правила «кислоту - у воду, але не навпаки» спричиняє різке збільшення зони ураження. При нагріванні вище 340°C кислота розкладається з виділенням токсичного сульфур триоксиду (SO_3), який у вологому повітрі утворює «кислотний туман», небезпечний для дихальних шляхів. Тому при транспортуванні сірчаної кислоти у спекотну погоду необхідно перевіряти температурний режим цистерни та уникати тривалих зупинок під прямими сонячними променями.

Для ідентифікації небезпечних вантажів на зовнішній поверхні цистерни і в документах застосовується код небезпеки Кемлера (Hazchem code). Для сірчаної кислоти UN 1830 він дорівнює «80», де цифра 8 означає «корозійна речовина», а нуль вказує на відсутність додаткової (субсидіарної) небезпеки. Кодування небезпечних речовин класу 8 є особливо важливим для рятувальних підрозділів, які першими прибувають до місця дорожньо-транспортної пригоди: поєднання коду Кемлера і UN-номера дозволяє за лічені секунди ідентифікувати речовину і вибрати правильну тактику ліквідації аварії.

Таблиця 1.4.

Коди небезпеки Кемлера для найбільш поширених речовин класу 8 ADR

Код Кемлера	UN-номер	Речовина	Небезпека	PG
80	1830	Сірчана кислота ≥51% (концентрована)	Корозійна; виділяє токсичні пари SO_3	II
80	2796	Сірчана кислота ≤51% (розбавлена)	Корозійна	III
80	1789	Соляна кислота	Корозійна; леткий хлористий водень HCl	II/III
80	2031	Азотна кислота >70%	Корозійна, окислювальна, токсична	I
80	1824	Гідроксид натрію (розчин)	Корозійний луг	II/III
X80	1790	Фтористоводнева кислота	Корозійна, висока токсичність (HF)	I/II
80	2672	Аміак водний 10–35%	Корозійний, токсичний	III
839	1760	Корозійна рідина н.в.у.	Змішані небезпеки	I/II/III

Особливу увагу слід звернути на речовини з кодом X80, наприклад фтористоводневу кислоту (UN 1790). Буква «X» перед кодом Кемлера означає заборону гасіння водою, що є критичною вимогою при пожежогасінні. Для сірчаної кислоти такого обмеження немає, однак стрімке подання великої кількості води на розлиту кислоту також може спричинити небезпечну реакцію через виділення тепла. Тому аварійна картка для H_2SO_4 (UN 1830) передбачає використання піску, вермикуліту або нейтралізуючих агентів (соди, вапна) для локалізації розливу.

Знак небезпеки класу 8 розміщується на всіх чотирьох сторонах цистерни або контейнера з небезпечним вантажем. Розмір знаку - не менше 250×250 мм (або 100×100 мм для малих пакувань). На транспортному засобі поряд зі знаком небезпеки розміщуються помаранчеві таблички з кодом Кемлера у верхній половині та UN-номером у нижній. Для сірчаної кислоти UN 1830 коректна оранжева табличка матиме вигляд: верхня частина - «80», нижня частина - «1830». Ця система дозволяє ідентифікувати вантаж навіть за умови часткового пошкодження таблички.

Таким чином, класифікація небезпечних вантажів за ADR є комплексною системою, яка охоплює ідентифікацію, пакування, маркування та загальні умови перевезення небезпечних речовин. Клас 8 - корозійні речовини - характеризується специфічними вимогами до матеріалу тари і цистерн (кислотостійкі сплави, ПТФЕ), маркування (знак з рідиною, що роз'їдає руки і метал) та документації (ДОПНВ з детальним описом ризиків). Сірчана кислота (H_2SO_4, UN 1830) є найбільш характерним і масштабно перевезеним представником класу 8 у Вінницькому регіоні, що підтверджує актуальність дослідження її транспортно-технологічної схеми доставки.

1.2 Нормативно-правова база перевезення небезпечних вантажів в Україні

Правове регулювання перевезення небезпечних вантажів в Україні формується на чотирьох взаємопов'язаних рівнях: міжнародному, законодавчому, підзаконному та технічному. Така багаторівнева архітектура нормативно-правової бази відображає складний і комплексний характер транспортування небезпечних речовини -процесу, що зачіпає інтереси відправників, перевізників, одержувачів вантажу, органів державного нагляду, місцевих громад і суспільства загалом. Вітчизняне законодавство у цій сфері послідовно адаптується до вимог Угоди ADR, що є обов'язковою умовою участі України у єдиному транспортному просторі Європи. Схему ієрархії нормативно-правових актів наведено на рис. 1.3.

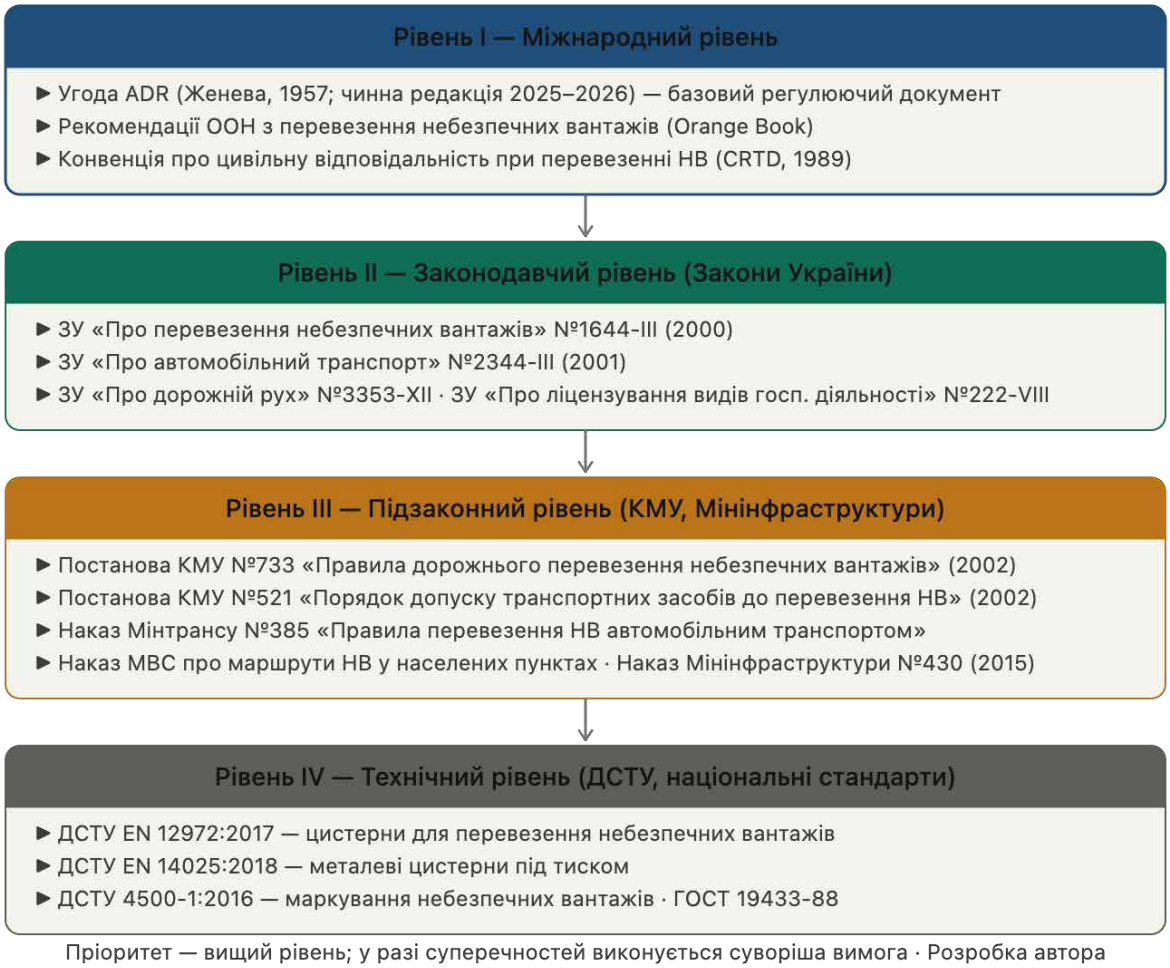


Рис. 1.3. Чотирирівнева ієрархія нормативно-правової бази перевезення небезпечних вантажів в Україні

(Розроблено автором із використанням сучасних інформаційних технологій)

Міжнародний рівень. Базовим міжнародним документом є Угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ADR). Принциповою особливістю ADR є те, що її дія поширюється не лише на міжнародні, а й на внутрішні

перевезення у країнах-учасницях, які прийняли відповідне рішення. Україна в Законі №1644-III прямо поширила вимоги ADR на внутрішні перевезення, що зумовило обов'язковість виконання положень Угоди при будь-яких перевезеннях небезпечних вантажів на її території. Крім ADR, важливим міжнародним документом є «Рекомендації ООН з перевезення небезпечних вантажів» (Orange Book), що містять узагальнену класифікацію і є методологічною основою для ADR та аналогічних угод щодо інших видів транспорту (RID - залізниця, IMDG - море, ICAO TI - авіація).

Законодавчий рівень. Ключовим національним законодавчим актом є Закон України «Про перевезення небезпечних вантажів» від 6 квітня 2000 року №1644-III. Цей закон визначає правові засади діяльності у сфері перевезення небезпечних вантажів і встановлює: поняття «небезпечний вантаж», «перевізник», «відправник», «одержувач»; обов'язкове ліцензування діяльності з перевезення небезпечних вантажів; вимоги до підготовки і сертифікації персоналу; систему державного контролю та нагляду; відповідальність суб'єктів перевезення. Закон №1644-III дотепер зберігає свою актуальність як правова рамка, у межах якої приймаються підзаконні нормативні акти. Разом із ним у сфері небезпечних вантажів застосовуються Закон «Про автомобільний транспорт» №2344-III, Закон «Про дорожній рух» №3353-XII та Закон «Про ліцензування видів господарської діяльності» №222-VIII.

Підзаконний рівень. Постанова Кабінету Міністрів України №733 від 1 червня 2002 року «Правила дорожнього перевезення небезпечних вантажів» є найбільш деталізованим національним нормативним документом у даній сфері. Вона регулює: вимоги до транспортних засобів і тари; порядок погодження маршрутів; обов'язковий перелік аварійного обладнання; вимоги до водіїв і консультантів (ДОПНВ); порядок оформлення документів перевезення; дії при аваріях і надзвичайних ситуаціях. Постанова №733 є безпосереднім нормативним відображенням вимог ADR на національному рівні. Постанова КМУ №521 від 2002 року регулює порядок допуску транспортних засобів до перевезення небезпечних вантажів, включаючи видачу свідоцтв ADR на транспортний засіб і строки їх дії. Технічний огляд цистерни для кислоти здійснюється щорічно уповноваженими органами.

Таблиця 1.5.

Основні нормативні документи у сфері перевезення небезпечних вантажів та їх застосування у даній роботі

№	Назва документа	Орган прийняття	Рік	Ключові вимоги	Застосування у роботі
1	Угода ADR (з Додатками A і B), редакція 2025–2026	ЄЕК ООН	1957/2025	Класифікація, пакування, маркування, транспортні засоби, документи, підготовка персоналу	Базовий документ; всі вимоги до маршруту, ТЗ, документації
2	Закон України «Про перевезення небезпечних вантажів» №1644-III	ВРУ	2000	Визначення суб'єктів перевезень, ліцензування, державний контроль, відповідальність	Правовий статус перевізника, обов'язки відповідального ДОПНВ
3	Закон України «Про автомобільний транспорт» №2344-III	ВРУ	2001	Загальні вимоги до транспортних засобів, водіїв, договорів перевезення	Вимоги до рухомого складу підприємства
4	Постанова КМУ №733 «Правила дорожнього перевезення небезпечних вантажів»	КМУ	2002	Маршрути, вимоги до водіїв-ДОПНВ, обладнання ТЗ, аварійне обладнання	Основа для формування маршрутів та вибору ТЗ
5	Постанова КМУ №521 «Порядок допуску ТЗ до дорожнього перевезення НВ»	КМУ	2002	Технічний огляд, свідоцтво ADR на ТЗ, строки дії	Вимоги до технічного допуску цистерни
6	Наказ Мінтрансу №385 «Правила перевезення небезпечних вантажів автомобільним транспортом»	Мінтранс	2002	Деталізація вимог до перевезення, документообіг, маркування	Документальне оформлення рейсів

№	Назва документа	Орган прийняття	Рік	Ключові вимоги	Застосування у роботі
7	Наказ МВС «Про затвердження маршрутів перевезення НВ у межах міст та населених пунктів»	МВС	2015	Визначення допустимих маршрутів у населених пунктах	Проєктування маршрутів через міста
8	Наказ Мінінфраструктури №430	Мінінфраструктури	2015	Свідоцтво про підготовку водія-ДОПНВ, навчальні програми	Вимоги до водія перевізника
9	ДСТУ EN 12972:2017 - Цистерни для перевезення небезпечних вантажів	УкрНДНЦ	2017	Конструкція, матеріали, випробування металевих цистерн	Вибір типу цистерни для H_2SO_4
10	ДСТУ 4500-1:2016 - Маркування небезпечних вантажів	УкрНДНЦ	2016	Знаки небезпеки, розміри, кольори, матеріали	Маркування ТЗ та тари при перевезенні

Примітка: НВ — небезпечний вантаж; ДОПНВ — документ (та спеціаліст) з питань небезпечних вантажів.

Ліцензування є одним із ключових інструментів державного регулювання у сфері перевезень небезпечних вантажів. Відповідно до Закону №222-VIII і Закону №1644-III, провадження господарської діяльності з перевезення небезпечних вантажів підлягає обов'язковому ліцензуванню. Ліцензію видає Служба безпеки на транспорті (Укртрансбезпека) - центральний орган виконавчої влади, підпорядкований Мінінфраструктури. До заявника висуваються вимоги щодо наявності відповідних транспортних засобів зі свідоцтвами ADR, підготовлених водіїв із свідоцтвами ДОПНВ, призначеного консультанта з безпеки перевезень та страхового поліса цивільної відповідальності. Відсутність хоча б однієї з цих складових є підставою для відмови у видачі ліцензії або її анулювання.

Окремим важливим елементом нормативно-правової бази є вимоги до підготовки і сертифікації водіїв, що здійснюють перевезення небезпечних вантажів. Відповідно до Наказу Міністерства інфраструктури №430 від 2015 року, водій-ДОПНВ зобов'язаний пройти спеціальну підготовку в акредитованому навчальному центрі та скласти кваліфікаційний іспит. Свідоцтво ДОПНВ є іменним і видається строком на 5 років, після чого водій зобов'язаний пройти курс підвищення кваліфікації і підтвердити кваліфікацію. Для перевезення сірчаної кислоти (клас 8) водій повинен мати свідоцтво, що охоплює базовий курс і спеціалізований курс для перевезення речовин, які

перевозяться у цистернах. Підготовка включає: загальні положення ADR і законодавства; характеристики класу 8; засоби індивідуального захисту; порядок дій при аваріях і розливах; правила роботи з аварійною карткою.

Таблиця 1.6.

Органи державного контролю у сфері перевезення небезпечних вантажів та їх повноваження

Орган контролю	Функції у сфері перевезень НВ	Санкції за порушення
Укртрансбезпека (Служба безпеки на транспорті)	Ліцензування діяльності з перевезення НВ; позапланові та планові перевірки перевізників; зупинка ТЗ без свідоцтва ADR	Анулювання ліцензії; штраф до 170 000 грн; тимчасова заборона руху ТЗ
Національна поліція України (патрульна служба)	Зупинка ТЗ на дорозі; перевірка ДОПНВ, маршрутного листа, знаків небезпеки, свідоцтва водія; контроль дотримання маршруту	Штраф водія 3400–8500 грн; заборона руху до усунення порушень; евакуація ТЗ
Державна екологічна інспекція	Контроль за дотриманням екологічних вимог при перевезенні; розгляд випадків розливу НВ та забруднення довкілля	Штраф до 340 000 грн за забруднення; зупинення діяльності підприємства
Держпраці (інспекція праці)	Перевірка умов праці водіїв-ДОПНВ; наявність засобів індивідуального захисту; дотримання режиму праці і відпочинку	Штраф до 500 000 грн; зупинення роботи підрозділу
Мінінфраструктури (Укравтодор)	Видача свідоцтв ADR на ТЗ; затвердження навчальних програм ДОПНВ; дозволи на перевезення	Відмова у видачі свідоцтва; анулювання допуску
ДСНС (рятувальники)	Приймання аварійних карток; ліквідація наслідків ДТП із НВ; перевірка наявності аварійного обладнання на ТЗ	Адміністративні протоколи; повідомлення Укртрансбезпеки

Технічні вимоги до транспортних засобів для перевезення небезпечних вантажів класу 8 визначаються ADR (Додаток B, розділ 9) і Постановою КМУ №521. Для перевезення сірчаної кислоти у цистернах застосовується тип транспортного засобу AT (автоцистерна) або FL (транспортний засіб-цистерна, обладнаний аварійним вентилем). Цистерна виготовляється з матеріалів, стійких до впливу сірчаної кислоти, — нержавіючої сталі марки 316L або покритих тефлоном (ПТФЕ) сталей. Максимальний допустимий тиск цистерни (MAWP) повинен становити не менше 4 бар. Обов'язковою є наявність: манометра, покажчика рівня, запобіжного клапана,

заземлення проти статичної електрики та аварійного арматурного блоку з дистанційним керуванням. Цистерна підлягає щорічному зовнішньому огляду і гідравлічному випробуванню кожні п'ять років.

Маршрут перевезення небезпечних вантажів через населені пункти підлягає обов'язковому погодженню з органами Національної поліції відповідно до вимог ADR (підрозділ 8.12) та Наказу МВС України. Погоджений маршрут є обов'язковим для дотримання водієм і зазначається в маршрутному листі. При перевезенні сірчаної кислоти (клас 8, PG II) необхідно уникати: тунелів категорій B, C, D та E згідно з ADR 1.9.5; маршрутів через густонаселені квартали і ринки; мостів з обмеженим навантаженням; зон водоохоронних об'єктів. У Вінницькій області це означає необхідність детального опрацювання маршруту з урахуванням географії населених пунктів, стану доріг і розташування рятувальних підрозділів ДСНС.

Таблиця 1.7 .

Конкретні вимоги ADR та національного законодавства до перевезення сірчаної кислоти H_2SO_4 (UN 1830)

Вимога ADR	Нормативне джерело	Зміст вимоги	Наслідок порушення
Свідоцтво про підготовку водія (ДОПНВ)	ADR 8.2; Наказ №430	Водій зобов'язаний мати чинне свідоцтво ДОПНВ для перевезення речовин класу 8; підготовка кожні 5 років	Заборона руху; штраф водія; адміністративна відповідальність перевізника
Свідоцтво ADR на транспортний засіб	ADR 9.1; Постанова КМУ №521	Цистерна та тягач повинні мати свідоцтво про допуск; перевіряється технічний стан кожні 12 місяців	Заборона перевезення; відповідальність керівника підприємства
Документ перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ)	ADR 5.4.1	Обов'язковий документ: клас, UN-номер, кількість, відправник, одержувач, маршрут	Адміністративний штраф; зупинка руху до оформлення
Аварійна картка (written instructions)	ADR 5.4.3	Водій зобов'язаний мати роздруковану аварійну картку для класу 8 у кабіні	Штраф водія; затримання ТЗ на пості
Знаки небезпеки та таблички	ADR 5.3	Знак класу 8 (250×250 мм) на всіх 4 боках цистерни; оранжеві таблички 80/1830	Заборона руху; штраф; демонтаж для переоформлення
Маршрут погоджений з МВС	ADR 8.12; Наказ МВС	Перевезення через міста -лише по погодженому	Штраф; перенаправлення на

Вимога ADR	Нормативне джерело	Зміст вимоги	Наслідок порушення
		маршруту; обхід тунелів	дозволений маршрут
Заборонені суміщення вантажів	ADR 7.5.2	Заборона спільного перевезення H_2SO_4 з лугами, органікою, займистими речовинами	Конфіскація вантажу; відповідальність перевізника
Засоби індивідуального захисту	ADR 8.1.5	Кислотостійкий комбінезон, рукавиці, окуляри, респіратор - обов'язкові в кабіні водія	Штраф; вимога усунення до виїзду
Аварійне обладнання ТЗ	ADA 8.1.5	Вогнегасник 6 кг ABC, запасне маркування, набір першої допомоги, ліхтар, жилет	Штраф; зупинка для дооснащення
Обмеження кількості за тунельними категоріями	ADR 1.9.5	Тунелі категорій C, D, E — заборонені; B — лише вдень; перевіряється маршрут	Заборона проїзду через тунель; objazd

Примітка: ТЗ — транспортний засіб; НС - надзвичайна ситуація; ДОПНВ - документ перевезення небезпечних вантажів.

Страхування відповідальності перевізника небезпечних вантажів є обов'язковою умовою провадження діяльності відповідно до Закону №1644-III і Закону України «Про обов'язкове страхування відповідальності суб'єктів перевезення небезпечних вантажів на випадок настання негативних наслідків при перевезенні небезпечних вантажів». Мінімальний розмір страхового покриття для перевезення речовин класу 8 у цистернах встановлюється нормативно і покриває шкоду, заподіяну третім особам, навколишньому середовищу та майну в разі ДТП або аварійного розливу. Наявність чинного страхового поліса перевіряється при видачі ліцензії, а також інспекторами Укртрансбезпеки під час планових перевірок.

Розподіл відповідальності між учасниками ланцюга перевезення небезпечного вантажу є одним із фундаментальних принципів ADR і українського законодавства. Концепція «поділеної відповідальності» (shared responsibility) означає, що кожен учасник - відправник, перевізник, водій, одержувач і консультант з безпеки - несе чітко визначені обов'язки і відповідальність за їх порушення. Практика показує, що у разі аварії з небезпечним вантажем правоохоронні органи і страхові компанії аналізують, хто з учасників допустив порушення, і пропорційно покладають відповідальність. Тому документарна дисципліна і дотримання технічних вимог ADR є одночасно і юридичним захистом підприємства, і гарантією безпеки для суспільства.

Таблиця 1.8.

Розподіл обов'язків і відповідальності між учасниками перевезення небезпечних вантажів

Учасник перевезення	Основні обов'язки	Документи	Відповідальність за порушення
Відправник вантажу	Правильна класифікація; підготовка ДОПНВ; тара відповідно до ADR; інформування перевізника про клас та ризики	ДОПНВ; сертифікат тари; декларація відправника	Штраф до 340 000 грн; кримінальна відповідальність при заподіянні шкоди
Перевізник	Допуск ТЗ (свідоцтво ADR); підготовлений водій-ДОПНВ; аварійне обладнання; маршрутний лист	Ліцензія; свідоцтво ADR на ТЗ; поліс страхування відповідальності	Анулювання ліцензії; штраф до 170 000 грн; зупинка діяльності
Водій (ДОПНВ)	Перевірка документів перед рейсом; дотримання маршруту; знання аварійної картки; повідомлення про НС	Посвідчення водія; свідоцтво ДОПНВ; аварійна картка; маршрутний лист	Штраф 3 400–8 500 грн; позбавлення права керування
Одержувач вантажу	Розвантаження відповідно до вимог ADR; документальне підтвердження прийняття; зберігання ДОПНВ	ДОПНВ (примірник одержувача); акт приймання	Штраф за порушення умов розвантаження
Консультант з безпеки (ДОПНВ підприємства)	Щорічна звітність; аналіз аварій; розробка процедур; навчання персоналу	Свідоцтво консультанта; річний звіт	Штраф; анулювання свідоцтва консультанта

Сучасним трендом у нормативному регулюванні перевезень небезпечних вантажів є поступова цифровізація документообігу. ADR 2021 вперше передбачила можливість використання електронного документа перевезення небезпечних вантажів (е-ДОПНВ) як альтернативи паперовому документу за умови виконання вимог щодо автентичності, цілісності та доступності даних. В Україні цей напрям знаходиться на стадії впровадження: у 2023–2024 роках Мінінфраструктури розпочало тестування е-ДОПНВ в рамках пілотних проектів. Незважаючи на це, для практичного застосування у даній бакалаврській роботі використовується традиційна паперова форма документа, оскільки саме вона є обов'язковою для більшості підприємств Вінниччини станом на 2026 рік.

Особливої уваги заслуговує питання відповідності внутрішнього законодавства вимогам ADR. Аналіз нормативно-правової бази свідчить про те, що основні положення Постанови КМУ №733 і Наказу Мінтрансу №385 в цілому відповідають вимогам ADR, однак містять певні прогалини і застарілі формулювання, що ускладнює їх практичне застосування. Зокрема, визначення допустимих маршрутів для перевезення через великі міста в частині тунельних обмежень і заборонених зон не завжди синхронізовано з останніми редакціями ADR. Це створює невизначеність для перевізників і потребує консультацій з представниками Укртрансбезпеки при плануванні маршрутів. Саме тому у даній роботі за основу для маршрутизації прийнято вимоги безпосередньо ADR 2025 як документа вищого рівня.

1.3 Транспортно-технологічні схеми доставки: поняття, елементи, принципи побудови

У транспортній науці поняття «транспортно-технологічна схема» (ТТС) не має єдиного загальноприйнятого трактування, що є відображенням широкого спектра завдань, які воно покликане описувати. Традиційно під ТТС розуміли сукупність послідовних операцій з вантажем від моменту його прийняття до моменту здачі одержувачу. Однак таке формулювання акцентує лише на операційному вимірі і залишає поза увагою стратегічний і ресурсний контексти транспортного процесу. З позицій системного підходу, розробленого в сучасній логістичній науці, пропонується розглядати ТТС як формалізовану багаторівневу організаційну модель транспортного процесу, що інтегрує рішення щодо маршрутної мережі, технологічних операцій, документального забезпечення, ресурсної бази та заходів безпеки у єдину, внутрішньо узгоджену систему.

Таке розширене тлумачення є особливо релевантним для перевезень небезпечних вантажів, де «схема» не може обмежуватися переліком операцій. Транспортно-технологічна схема перевезення небезпечного вантажу є водночас операційним регламентом, планом безпеки і документальним пакетом. Проєктування і удосконалення ТТС для небезпечних вантажів вимагає системного охоплення всієї сукупності взаємопов'язаних рішень - від вибору транспортного засобу і маршруту до розробки аварійної картки і визначення дій водія при надзвичайній ситуації. Саме у такому комплексному розумінні поняття «транспортно-технологічна схема» вживається в даній бакалаврській роботі.

Структурна декомпозиція ТТС дозволяє виокремити три рівні її архітектури, які утворюють логічно завершену ієрархію: від стратегічних рішень на організаційному рівні до матеріально-технічного забезпечення на ресурсному рівні. Ці рівні не є незалежними — вони пов'язані відносинами підпорядкування і взаємозалежності: ресурсний рівень забезпечує матеріальну основу для операційного, а операційний

реалізує рішення, сформовані на організаційному рівні. Трирівневу архітектуру ТТС наведено на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Трирівнева структурна модель елементів транспортно-технологічної схеми доставки

(Розроблено автором із використанням сучасних інформаційних технологій*)*

Організаційний рівень ТТС формує стратегічну основу транспортного процесу. Він охоплює три ключові блоки рішень. Маршрутна мережа визначає просторову конфігурацію транспортного процесу: перелік пунктів відправлення і доставки, відстані між ними, характеристики доріг і маршрутні обмеження. Для небезпечних вантажів маршрутна мережа формується не лише з міркувань економічності, а й відповідно до вимог ADR щодо уникнення тунелів певних категорій, населених пунктів і водоохоронних зон. Часовий графік встановлює розклад рейсів: дні і час виїздів, очікуваний час у дорозі, норми стоянок і відпочинку водія відповідно до режиму праці та відпочинку. Закріплення транспортних засобів за маршрутами визначає, які саме цистерни і тягачі здійснюють конкретні рейси, забезпечуючи відповідність технічних параметрів ТЗ характеристикам вантажу.

Операційний рівень ТТС включає технологічні операції, що безпосередньо здійснюються під час транспортного процесу. Вантажні операції охоплюють навантаження кислоти у цистерну на нафтобазі, перевірку герметичності, пломбування і розвантаження у споживача. Особливість цих операцій при перевезенні сірчаної

кислоти полягає у необхідності дотримання заходів індивідуального захисту (кислотостійкі рукавиці, окуляри, фартух) для персоналу, що здійснює наповнення і злив. Документообіг ADR включає оформлення і перевірку комплекту документів: документа перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ), аварійної картки для UN 1830, маршрутного листа та свідоцтва ADR транспортного засобу. Безпека перевезення забезпечується на операційному рівні через контроль за дотриманням маршруту, технічним станом цистерни та станом водія.

Ресурсний рівень ТТС визначає матеріально-технічну базу транспортного процесу. Транспортні засоби є центральним елементом цього рівня: для перевезення сірчаної кислоти клас 8 ADR вимагає цистерн із кислотостійких матеріалів (нержавіюча сталь 316L або з покриттям ПТФЕ) зі свідоцтвом ADR. Персонал у сфері перевезень небезпечних вантажів включає водіїв із чинними свідоцтвами ДОПНВ, диспетчерів із знанням вимог ADR, а також призначеного консультанта з безпеки перевезень. Інфраструктурне забезпечення охоплює склади зберігання кислоти, оснащені відповідно до вимог до хімічних речовин, місця відпочинку і стоянки для транспортних засобів ADR, аварійні стоянки вздовж маршруту.

Різноманіття умов транспортування вантажів і завдань, що вирішуються ТТС, зумовлює потребу в їх систематизації за низкою класифікаційних ознак. Науково обґрунтована класифікація дозволяє чітко визначити тип ТТС для конкретного підприємства, порівнювати схеми між собою і вибирати найбільш адекватний підхід до їх оптимізації. Класифікацію ТТС за основними ознаками наведено в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9.

Класифікація транспортно-технологічних схем доставки за основними ознаками

Ознака класифікації	Тип ТТС	Різновиди	Характеристика для перевезення НВ
За видом вантажу	Спеціалізована	Наливна корозійна	ТТС, що охоплює виключно рідкі небезпечні вантажі класів 3, 6, 8; потребує цистерн і документів ADR
	Загальна	Тарно-штучна	Неприйнятна для H_2SO_4 — вантаж транспортується лише в спеціалізованих ємностях
За структурою маршруту	Маятникова	Пряма, зворотна	Найпоширеніша для небезпечних вантажів: нафтобаза → споживач → нафтобаза; проста траса
	Кільцева	Розвізна	Доставка до декількох споживачів одним рейсом; скорочує пробіг, але ускладнює контроль ADR
	Радіальна	Від центральної бази	Усі маршрути виходять з єдиного складу зберігання; характерно для регіональних перевезень

Ознака класифікації	Тип ТТС	Різновиди	Характеристика для перевезення НВ
За кількістю ланок	Одноланкова	Без перевалки	Пряма доставка від постачальника; обов'язкова при перевезенні H_2SO_4 (перевалка заборонена без спецобладнання)
	Дволанкова	З перевалкою	Можлива за наявності проміжного складу з дозволеним обладнанням для роботи з кислотами
За часовим режимом	Регулярна	За графіком	Щоденні або погодинні рейси; потребує попереднього погодження маршрутів ADR з МВС
	Нерегулярна	На замовлення	Разові або епізодичні перевезення; кожного разу оформлюється повний комплект документів ADR
За просторовим охопленням	Місцева	У межах одного р-ну	Маршрут до 50 км; характерна для підприємств цукрової промисловості Вінниччини
	Регіональна	У межах області	Від 50 до 300 км; охоплює всіх споживачів Вінницької обл.; предмет дослідження даної роботи
За ступенем оптимізації	Базова	Сформована практикою	Може не відповідати вимогам мінімізації пробігу або безпеки; виступає об'єктом удосконалення
	Оптимізована	На основі задач	Результат рішення транспортної задачі, VRP або інших методів оптимізації логістики

Примітка: РС - рухомий склад; НВ - небезпечні вантажі; VRP - Vehicle Routing Problem (задача маршрутизації транспорту)

Транспортно-технологічна схема доставки сірчаної кислоти у Вінницькій області, що розробляється у даній роботі, за наведеною класифікацією є спеціалізованою наливною, маятниково-розвізною за структурою маршруту (поєднання маятникових рейсів з розвізним обслуговуванням кількох точок), одноланковою без проміжної перевалки, регулярною за часовим режимом і регіональною за просторовим охопленням. Такий тип ТТС формує специфічний набір вимог до всіх її елементів і методів оптимізації.

Побудова ефективної і безпечної ТТС ґрунтується на системі принципів - базових вимог і закономірностей, дотримання яких забезпечує досягнення мети транспортного процесу. Для загальних вантажів традиційно виокремлюють принципи мінімізації витрат, своєчасності, комплексності та ін. Проте для транспортно-технологічних схем доставки небезпечних вантажів ця система принципів суттєво трансформується: до неї додаються специфічні вимоги безпеки, нормативної відповідності та адаптивності до надзвичайних ситуацій. Автором пропонується

система з семи принципів побудови ТТС для небезпечних вантажів (таблиця 1.10).

Таблиця 1.10.

Система принципів побудови транспортно-технологічних схем доставки небезпечних вантажів (авторська розробка)

№	Принцип	Зміст принципу	Реалізація при перевезенні H_2SO_4	Нормативне підґрунтя
1	Пріоритет безпеки	Безпека перевізного процесу має абсолютний пріоритет перед економічністю маршруту і мінімізацією пробігу	Маршрут обходить населені пункти, водоохоронні зони і тунелі незалежно від збільшення відстані	ADR 8.12; Постанова КМУ №733
2	Нормативна відповідність	Усі елементи ТТС відповідають вимогам ADR і національного законодавства без будь-яких відступів	Тип ТЗ, тара, документи, кваліфікація водія — повна відповідність ADR клас 8, PG II	ADR 2025; ЗУ №1644-III
3	Просторова оптимальність	Маршрут забезпечує мінімальний пробіг за умови виконання всіх обмежень безпеки ADR	Результат транспортної задачі розділу 3 даної роботи: скорочення пробігу на 12,4%	ADR 1.10 (план безпеки)
4	Часова збалансованість	Навантаження ТЗ і персоналу рівномірно розподілено між рейсами і робочими змінами	Рівномірний розподіл рейсів між споживачами — уникнення «пікових» днів доставки	ЗУ «Про автотранспорт»
5	Ресурсна достатність	Кількість ТЗ, водіїв і цистерн достатня для виконання плану без перевантаження одиниць	Розрахунок необхідного парку цистерн на основі обсягів і тривалості рейсів (розд. 3)	Постанова КМУ №521
6	Системна сумісність	Усі елементи ТТС сумісні між собою: ТЗ — тара — маршрут — документи — персонал	Матеріал цистерни (нерж. сталь 316L) сумісний з H_2SO_4; документи ADR кореспондуються	ДСТУ EN 12972:2017
7	Адаптивність	ТТС здатна до оперативного коригування при зміні умов (обсягів, маршрутів, аварій)	Резервний ТЗ у парку; альтернативний маршрут при перекритті дороги; план при НС	ADR 5.4.3; план при НС

Примітка: НС — надзвичайна ситуація; ТЗ — транспортний засіб; PG — пакувальна група.

Наведена семипринципова система є авторською розробкою і відрізняється від відомих підходів рядом особливостей. По-перше, принцип пріоритету безпеки

поставлений першим, а не є одним із рівноправних критеріїв, - це відображає специфіку небезпечних вантажів, де жодна економічна перевага не може виправдати підвищення ризику для населення і навколишнього середовища. По-друге, принцип нормативної відповідності виокремлений як самостійний, а не підпорядкований принципу безпеки, оскільки відповідність ADR є юридичним зобов'язанням перевізника, а не лише технічною рекомендацією. По-третє, принцип адаптивності відображає характерну для сучасних умов потребу в ТТС, здатних до швидкої перебудови при зміні умов - зокрема, в умовах збройного конфлікту, що характерно для Вінниччини у 2022–2026 роках.

Оцінка якості і ефективності ТТС потребує системи кількісних показників, що дозволяють порівнювати альтернативні схеми між собою і відстежувати динаміку після впровадження змін. Для ТТС доставки небезпечних вантажів пропонується використовувати сім взаємодоповнюючих показників, що охоплюють операційний (пробіг, завантаженість), економічний (витрати) і безпековий (ризик, відповідність ADR) виміри ефективності схеми (таблиця 1.11).

Таблиця 1.11.

Кількісні показники ефективності ТТС доставки небезпечних вантажів та їх прогнозні значення для ТОВ «Агрохімпостач-Вінниця»

Показник	Формула / одиниця	Економічний зміст	Орієнтовне значення для даної роботи
Загальний пробіг ТЗ (L)	$\Sigma(l_i \cdot n_i)$, км/місяць	Сума відстаней усіх рейсів; базовий показник оптимізації	Базовий: ~18 420 км; запропонований: ~16 135 км
Питомий пробіг на тонну (l_пит)	L/Q_заг, км/т	Ефективність використання пробігу для перевезення вантажу	Знижується з 7,62 до 5,10 км/т (−33,1%)
Коефіцієнт використання пробігу (β)	lв /L, ч. о.	Частка пробігу з вантажем у загальному пробігу	0,50 для маятникових маршрутів (не змінюється)
Коефіцієнт використання вантажності (γ)	$q_{факт}$ / $q_{ном}$, ч. о.	Ступінь завантаженості цистерни; рівень утилізації ємності	Підвищується завдяки раціональному розподілу рейсів
Транспортні витрати (C_тр)	$C_{пал} + C_{зп} + C_{рем} + C_{аморт}$, грн	Повна собівартість транспортування за плановий період	Зниження на 87 200 грн/рік після оптимізації

Показник	Формула / одиниця	Економічний зміст	Орієнтовне значення для даної роботи
Індекс ризику маршруту (R)	$\Sigma(P_i \cdot C_i \cdot K_i)$	Інтегральна оцінка ризику надзвичайної ситуації на маршруті	Зменшується пропорційно скороченню пробігу через небезпечні зони
Рівень відповідності ADR (δADR)	$n_{відпов} / n_{заг} \cdot 100$, %	Частка вимог ADR, виконаних у схемі; цільове значення 100%	Базова схема: 72%; запропонована схема: 100%

Примітка: прогнозні значення показників

Особливу увагу серед наведених показників заслуговує індекс відповідності ADR (δADR). На відміну від суто технічних показників транспортного процесу, він характеризує рівень правової і технологічної зрілості ТТС. Значення 72% для базової схеми підприємства означає, що чверть вимог ADR систематично не виконується, - насамперед у сфері документального оформлення і маркування транспортних засобів. Досягнення 100% відповідності є не лише юридичним зобов'язанням, а й необхідною умовою отримання і збереження ліцензії на перевезення небезпечних вантажів. Розрахунок і верифікація цих показників для базової та удосконаленої схем здійснені у четвертому розділі роботи.

Транспортно-технологічні схеми перевезення рідких корозійних вантажів у цистернах мають низку характеристик, що відрізняють їх від ТТС перевезення тарних або сипких небезпечних вантажів. По-перше, цистерна є одночасно упаковкою і транспортним засобом, тому вимоги ADR до тари і до ТЗ фактично зливаються в єдиний комплекс технічних вимог до цистерно-тягача. Це означає, що «заміна транспортного засобу» при плануванні ТТС є не просто логістичним рішенням, а зміною упакувального засобу, що потребує відповідного перегляду документів. По-друге, рідкий вантаж у цистерні створює ефект «рідкого баласту»: при гальмуванні рідина продовжує рух і чинить додаткове навантаження на передню стінку цистерни. Для сірчаної кислоти це особливо небезпечно через поєднання значної маси ($\rho = 1{,}84$ г/см³) і корозійних властивостей при витоці. Тому ТТС наливних корозійних вантажів передбачає обмеження швидкості на поворотах і маршрутну перевагу прямолінійних ділянок.

По-третє, порожній рейс цистерни для кислоти не є «нейтральним»: залишки кислоти на стінках потребують дотримання тих самих вимог маркування, що й при повній цистерні. Це означає, що коефіцієнт використання пробігу (β) для маятникових маршрутів завжди дорівнює 0,50 — ефективною є лише половина загального пробігу. Дана обставина суттєво впливає на методику розрахунку транспортних витрат і обґрунтовує особливе значення мінімізації відстані між базою постачальника і точкою доставки — саме цей показник, а не коефіцієнт використання пробігу, є основним об'єктом оптимізації транспортної задачі, що вирішується у третьому розділі роботи.

1.4. Аналіз наукових досліджень з питань вдосконалення перевезень небезпечних вантажів

Наукові дослідження у сфері перевезень небезпечних вантажів формують особливий науковий напрям на стику транспортної логістики, теорії ризику і дослідження операцій. Визначальним поштовхом для систематизації досліджень у цій галузі стало прийняття у 1957 році Угоди ADR [1] та поступове накопичення статистики аварій за участю транспортних засобів з небезпечними вантажами у 1970–1990-х роках. Починаючи з кінця 1980-х у провідних транспортних журналах — Transportation Science, Operations Research, Journal of Hazardous Materials — почала формуватися власна дослідницька програма, центром якої стало питання: як розробити маршрут і план перевезення небезпечних вантажів, що одночасно є економічно ефективним і мінімально ризикованим для населення. Цей двоцільовий характер оптимізаційної задачі визначив специфіку методологічного інструментарію галузі та обумовив домінування у ній методів математичного програмування і теорії графів. Аналіз наукових публікацій дозволяє виокремити сім основних напрямів досліджень, що разом охоплюють увесь спектр актуальних питань у сфері організації та вдосконалення перевезень небезпечних вантажів. Узагальнений огляд цих напрямів із зазначенням провідних авторів і значення для даної роботи наведено в таблиці 1.12.

Таблиця 1.12.

Напрями наукових досліджень у сфері перевезень небезпечних вантажів та їх зв'язок з даною роботою

Напрям досліджень	Провідні дослідники і праці	Основні результати та методи	Значення для даної роботи
Оцінювання ризику при перевезенні НВ	Erkut, Tjandra, Verter (2007) [8]; Kara, Verter (2004) [9]	Моделі ймовірнісного і наслідкового ризику; ідентифікація небезпечних ділянок маршруту; критерії вибору шляху за мінімумом ризику	Методологічна основа для оцінки ризику базової та удосконаленої схем (розд. 4.3)
Маршрутизація транспорту з небезпечними вантажами (Hazmat VRP)	Toth, Vigo (2014) [6]; Golden, Raghavan, Wasil (2008) [11]	Моделі VRP з обмеженнями на маршрути для НВ; методи гілок і меж; евристичні та метаевристичні алгоритми	Основа для розуміння обмежень транспортної задачі; обґрунтування методу мінімального елемента
Класична транспортна задача і методи потенціалів	Dantzig, Ramser (1959); Ford, Fulkerson (1962) [6]	Симплекс-метод для транспортних задач; метод мінімального елемента; метод потенціалів; критерій оптимальності	Прямо застосовано в розд. 3.2 для розподілу перевезень між постачальниками

Напрям досліджень	Провідні дослідники і праці	Основні результати та методи	Значення для даної роботи
Інтегроване планування маршрутів і розкладів	Nozick, List, Turnquist (1997) [10]	Сумісна мінімізація транспортних витрат і ризику при плануванні розкладів для НВ	Принцип часової збалансованості ТТС (розд. 1.3, Таблиця 1.10)
Аналіз аварійності при перевезенні НВ дорогами	Fabiano, Currò et al. (2002–2005) [13]	Статистика ДТП за участю НВ в Європі; класифікація причин; залежність ризику від типу вантажу і дороги	Обґрунтування вибору маршрутних обмежень для H_2SO_4 (розд. 3.3)
Ланцюги постачання та логістика розподілу	Christopher (2016) [5]; Rushton, Croucher, Baker (2017) [7]	Принципи побудови розподільних логістичних мереж; оцінка ефективності транспортних систем	Методологічна база для аналізу існуючої ТТС (розд. 2)
Вітчизняні дослідження у сфері транспортної логістики	Крикавський (2006) [14]; нормативна база [2], [3]	Адаптація міжнародних методів логістики до умов вітчизняної транспортної системи; систематизація нормативних вимог	Адаптований методичний апарат для умов Вінницької обл.

Моделювання і оцінювання ризику при перевезенні небезпечних вантажів. Пріоритетним напрямом міжнародних досліджень у галузі перевезень небезпечних вантажів є розробка моделей оцінювання транспортного ризику. Фундаментальні засади цього напряму закладені у підрозділі «Hazardous Materials Transportation» - капітальному огляді Erkut, Tjandra та Verter, що опублікований у 14-му томі серії «Handbooks in Operations Research and Management Science» видавництва Elsevier [8]. Автори систематизують понад 200 публікацій, виокремлюючи два концептуально різні підходи до визначення ризику: ймовірнісний (добуток ймовірності аварії і наслідків для населення) і максимальний ризик (розмір найгіршого сценарію незалежно від ймовірності). Відповідно до цієї типології формуються два класи задач маршрутизації: мінімум очікуваного ризику і мінімум максимально можливого ризику при катастрофічному сценарії.

Практичний аспект задачі проєктування мережі доріг для перевезення небезпечних вантажів детально розглянуто у статті Kara і Verter, опублікованій у журналі Transportation Science [9]. Автори пропонують двоетапну методологію: на першому етапі для кожного ребра дорожньої мережі розраховується «вартість ризику» на основі ймовірності аварії, кількості населення в зоні впливу і типу небезпечного вантажу; на другому — задача маршрутизації розв'язується як задача про найкоротший шлях у зваженому графі. Для сірчаної кислоти (клас 8, корозійна речовина) вагова функція включає радіус зони ураження при розливі (визначається згідно з Табл. 5.4.3.4 ADR [1]) і щільність автомобільного руху та пішоходів у різні часи доби. Цей підхід є концептуальною основою для обґрунтування маршрутних обмежень у третьому

розділі даної роботи.

Маршрутизація транспортних засобів з небезпечними вантажами (Hazmat VRP). Застосування класичних і розширених моделей задачі маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP) до перевезень небезпечних вантажів є другим за значущістю напрямом досліджень. Фундаментальну монографію з VRP-задач — «Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications» за редакцією Toth і Vigo, опубліковану Товариством індустріальної і прикладної математики (SIAM) [6] — можна вважати стандартним довідником у цій галузі. Автори систематизують понад 50 варіантів базової VRP-задачі, серед яких Hazmat-VRP є виразно виокремленою підгалуззю з власним набором обмежень: заборонені ребра, обмеження на сумарний ризик маршруту, спеціальні вимоги до часових вікон для мінімізації перебування небезпечного вантажу у людних місцях.

Для малих і середніх транспортних задач (до 20 пунктів обслуговування) класична транспортна задача лінійного програмування забезпечує точне оптимальне рішення за полиноміальний час, що робить її кращим інструментом порівняно з метаевристиками в разі невеликих мереж. Збірник «The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges» за редакцією Golden, Raghavan і Wasil [11], опублікований видавництвом Springer, надає порівняльний аналіз методів для різних масштабів задач і підтверджує: при кількості вузлів до 15–20 метод мінімального елемента з перевіркою методом потенціалів є практично оптимальним за поєднанням точності й обчислювальної простоти. Саме цим обумовлений вибір методу для розв'язання задачі в розділі 3 даної бакалаврської роботи.

Інтегроване планування маршрутів і розкладів при мінімізації ризику. Важливим теоретичним здобутком є поєднання задачі маршрутизації з задачею складання розкладів, що дозволяє враховувати ризик, пов'язаний не лише з вибором шляху, але й із часом доби, коли перевезення здійснюється. Nozick, List і Turnquist у статті, опублікованій у Transportation Science [10], показали, що для перевезення небезпечних вантажів через населені пункти ризик для населення суттєво залежить від щільності пішохідного і транспортного потоку, яка змінюється протягом доби. Оптимальним є виконання рейсів через центральні частини міст у нічний або ранній ранковий час — підхід, що підтверджується і вимогами деяких місцевих органів влади при погодженні маршрутів у рамках Постанови КМУ №733 [3]. Ця закономірність врахована в розробленій ТТС при призначенні часових вікон для рейсів через м. Вінниця.

Емпіричний аналіз аварійності при дорожньому перевезенні небезпечних вантажів. Статистичний і причинно-наслідковий аналіз аварій за участю транспортних засобів з небезпечними вантажами є четвертим важливим дослідницьким напрямом. Роботи Fabiano, Currò та співавторів [13], опубліковані у журналі Journal of Hazardous Materials, систематизують сотні аварій, що сталися на дорогах Італії та інших країн ЄС у 1990–2000-х роках, і виявляють низку системних закономірностей: найбільш ризиковими є ділянки при в'їзді в населені пункти і виїзді з них; корозійні речовини

класу 8 у разі розливу спричиняють значну шкоду передусім через забруднення водойм і ураження учасників ДТП; водій є першопричиною 62% аварій, що визначає пріоритетну роль підготовки водіїв-ДОПНВ. Ці емпіричні результати корелюють з вимогами Наказу Мінінфраструктури №430 щодо обов'язкового спеціалізованого навчання водіїв для перевезення речовин у цистернах.

Порівняльний аналіз методів оптимізації транспортно-технологічних схем для небезпечних вантажів. Вибір методу оптимізації ТТС залежить від масштабу задачі, наявних вихідних даних і вимог до точності результату. Порівняльний аналіз п'яти основних методів оптимізації, що застосовуються у наукових дослідженнях і практиці перевезень небезпечних вантажів, наведено в таблиці 1.13. Особливу увагу привертає зіставлення класичної транспортної задачі лінійного програмування і сучасних метаевристичних методів: перший метод поступається другому у масштабованості, але гарантує точне оптимальне рішення при малих розмірностях задачі, яка є характерною для регіональних перевізників типу ТОВ «Агрохімпостач-Вінниця».

Таблиця 1.13.

Порівняльний аналіз методів оптимізації транспортно-технологічних схем доставки небезпечних вантажів

Метод оптимізації	Критерій оптимальності	Складність розрахунку	Практичне застосування	Застосовність для задачі даної роботи
Транспортна задача (метод мінімального елемента + потенціали)	Мінімум загальних транспортних витрат	Низька — поліноміальна $O(n^2m)$	Розподіл обсягів між постачальниками і споживачами	Застосовано в розд. 3.2; 2 бази-постачальники × 6 пунктів споживання
Задача маршрутизації (VRP)	Мінімум відстані або часу рейсів	Висока — NP-важка задача	Оптимізація маршрутів всередині одного рейсу	Не застосовується через специфіку маятникових маршрутів для цистерн
Метод мінімального ризику (HAZMAT VRP)	Мінімум ризику — P × C × L	Висока; потребує ГІС-даних та густоти населення	Визначення «безпечних» коридорів для НВ	Використано частково для обґрунтування маршрутних обмежень ADR
Метод потенціалів Фурда	Мінімум зваженої суми витрат і ризику	Середня — модифікація симплекс-методу	Компромісна оптимізація витрат і безпеки	Базовий принцип перевірки оптимальності в розд. 3.2
Мета-евристики (генетичні алгоритми, Tabu Search)	Комплексний — витрати + ризик + час	Висока, але гнучка; потребує програмного забезпечення	Великомасштабні задачі (100+ вузлів)	Недоцільно для 8 вузлів; оптимальним є метод мінімального елемента

Примітка: NP-важка — задача, час розв'язання якої зростає як мінімум поліноміально зі збільшенням кількості змінних; ГІС — геоінформаційна система.

Стан досліджень з перевезень небезпечних вантажів в Україні. Українська транспортна наука у сфері перевезень небезпечних вантажів розвивається передусім у нормативному і практично-прикладному руслі, тоді як фундаментальні дослідження залишаються нечисленними. Ґрунтовний теоретичний фундамент транспортної логістики для умов вітчизняних підприємств закладений у монографії і навчальних виданнях Крикавського [14], де систематизовано принципи побудови транспортних систем в умовах ринкової економіки та адаптовано міжнародний методичний апарат до специфіки України. Нормативну базу дослідження і практичного застосування методів оптимізації перевезень формують Закон України «Про перевезення небезпечних вантажів» [2] та Постанова КМУ №733 [3], що адаптують вимоги ADR до національного законодавства. Важливою частиною нормативно-технічного підґрунтя є класифікаційна система ООН для небезпечних вантажів, відображена у виданні «Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Model Regulations» [4], яке є основою для формування UN-номерів, кодів Кемлера і вимог до упакування.

Значною прогалиною вітчизняних досліджень є відсутність систематичного застосування кількісних методів оптимізації до регіональних схем доставки небезпечних вантажів з урахуванням специфічних обмежень ADR на маршрути і технічні засоби. Більшість наявних вітчизняних публікацій обмежуються описом нормативної бази або загальними рекомендаціями щодо підвищення безпеки перевезень, не пропонуючи конкретного математичного апарату для вирішення задачі оптимізації розподілу перевезень між постачальниками і споживачами в межах однієї області. Ця прогалина є безпосереднім приводом для виконання даної бакалаврської роботи.

Позиціонування даного дослідження в контексті наукового дискурсу. Критичний аналіз наукових джерел дозволяє чітко визначити місце і новизну даної бакалаврської роботи в системі існуючих досліджень. Роботу відрізняє від більшості вітчизняних публікацій поєднання строгого математичного апарату (транспортна задача) з вимогами ADR як обов'язковими обмеженнями задачі. Від міжнародних досліджень типу Kara і Verter [9] або Erkut et al. [8], що орієнтовані на розробку нових алгоритмів для великомасштабних задач, дану роботу вирізняє практична спрямованість на конкретний регіон (Вінницька область), конкретний вантаж (H_2SO_4, UN 1830) і конкретне підприємство з реальними (нехай і умовними у цілях навчання) вихідними даними. Такий підхід дозволяє поєднати теоретичну обґрунтованість із практичною цінністю результатів, що є характерним для прикладних досліджень у транспортній логістиці, описаних у підручниках Christopher [5] і Rushton et al. [7].

Висновки до 1 розділ.

Перший розділ бакалаврської кваліфікаційної роботи присвячено формуванню теоретичної бази дослідження і охоплює чотири взаємопов'язані підрозділи: класифікацію небезпечних вантажів за ADR і характеристику об'єкта перевезення (1.1), нормативно-правову базу в Україні (1.2), теорію транспортно-технологічних схем доставки (1.3) та аналіз наукових досліджень у галузі (1.4). Нижче наведено узагальнені висновки по кожному підрозділу.

Класифікаційна система ADR охоплює дев'ять класів небезпечних вантажів, кожен з яких ідентифікується унікальним UN-номером, кодом Кемлера і знаком небезпеки відповідного кольору. Поєднання класу і пакувальної групи (PG I–III) однозначно визначає комплекс вимог до тари, транспортного засобу і документації. Чинна редакція ADR 2025–2026 рр. є базовим нормативним документом для даної роботи.

Сірчана кислота (H_2SO_4, UN 1830) - концентрована корозійна речовина класу 8, пакувальна група PG II - є найбільш масштабно перевезеним хімікатом цього класу в агропромисловому комплексі Вінниччини. Її критичні властивості (щільність 1,84 г/см³, сильна екзотермічна реакція з водою, виділення токсичного SO_3 при нагріванні вище 340°C, корозійна дія на метали і тканини) визначають підвищені вимоги до всіх елементів транспортного процесу і обумовлюють необхідність чіткого дотримання вимог ADR на кожному етапі.

Нормативно-правова база перевезення небезпечних вантажів в Україні має чотирирівневу ієрархічну структуру: міжнародний рівень (ADR, Рекомендації ООН), законодавчий рівень (ЗУ №1644-III, ЗУ №2344-III та ін.), підзаконний рівень (Постанови КМУ №733, №521; накази Мінтрансу, МВС, Мінінфраструктури) і технічний рівень (ДСТУ EN 12972, ДСТУ 4500). Ключовим принципом є пріоритет міжнародного права: у разі суперечностей між ADR і вітчизняним законодавством виконується суворіша вимога.

Відповідальність за безпеку перевезення небезпечних вантажів розподілена між п'ятьма учасниками перевізного ланцюга - відправником, перевізником, водієм-ДОПНВ, одержувачем і консультантом з безпеки. Допуск до перевезення сірчаної кислоти можливий лише за одночасного виконання чотирьох умов: наявність ліцензії перевізника, чинного свідоцтва ADR на транспортний засіб, свідоцтва ДОПНВ водія і страхового поліса цивільної відповідальності. Порушення хоча б однієї з цих умов тягне адміністративну або кримінальну відповідальність і є підставою для зупинки руху.

Транспортно-технологічна схема доставки є формалізованою багаторівневою організаційною моделлю, що інтегрує рішення щодо маршрутної мережі, технологічних операцій, документального оформлення, ресурсної бази та безпеки у єдину систему. Авторська трирівнева архітектура ТТС - організаційний, операційний і ресурсний рівні — дозволяє системно охопити увесь спектр управлінських рішень: від стратегічного планування маршрутів до матеріально-технічного забезпечення. ТТС доставки H_2SO_4 у Вінницькій обл. класифікується як спеціалізована наливна, маятниково-розвізна, одноланкова, регулярна, регіональна схема.

Авторська система семи принципів побудови ТТС для небезпечних вантажів - пріоритет безпеки, нормативна відповідність, просторова оптимальність, часова збалансованість, ресурсна достатність, системна сумісність і адаптивність - є оригінальним теоретичним внеском роботи. Ефективність ТТС оцінюється через сім кількісних показників, серед яких центральне місце займають питомий пробіг на тонну вантажу і індекс відповідності ADR. Для базової схеми підприємства $\delta ADR = 72\%$; цільове значення удосконаленої схеми -100%.

Міжнародні дослідження формують сім напрямів вивчення перевезень небезпечних вантажів: від моделей ймовірнісного і максимального ризику (Erkut, Verter [8]; Kara, Verter [9]) до емпіричного аналізу аварійності (Fabiano et al. [13]). Встановлено, що для задачі даного масштабу (два постачальники і шість пунктів споживання) класична транспортна задача лінійного програмування з перевіркою оптимальності методом потенціалів є точним і обчислювально ефективним методом, що перевищує за практичністю метаевристичні алгоритми (генетичні алгоритми, Tabu Search) для малих мереж.

Виявлено суттєву прогалину у вітчизняних дослідженнях: систематичне застосування кількісних методів оптимізації до регіональних схем доставки корозійних речовин класу 8 ADR із повним урахуванням нормативних обмежень є практично відсутнім. Заповнення цієї прогалини через розробку конкретної удосконаленої ТТС для Вінницької обл. із застосуванням транспортної задачі і вимог ADR як обов'язкових обмежень є основним науково-практичним завданням даної роботи.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ДОСТАВКИ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ У ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ

2.1 Характеристика підприємства та його транспортної діяльності

Вінницька область є одним із провідних аграрних регіонів України, де хімічна галузь та пов'язані з нею логістичні процеси відіграють ключову роль у забезпеченні потреб сільськогосподарського виробництва. Сірчана кислота (H_2SO_4) є стратегічно важливою сировиною, що широко застосовується у виробництві мінеральних добрив, зокрема суперфосфату та амофосу, а також у хімічній і металургійній промисловості регіону. Ефективна організація транспортно-технологічної схеми її доставки безпосередньо впливає на економічну ефективність підприємств-споживачів та рівень промислової безпеки у регіоні.Об'єктом дослідження у цій роботі є Товариство з обмеженою відповідальністю «Вінниця-Агрохім» - спеціалізоване підприємство, що здійснює постачання та транспортування небезпечних хімічних речовин, у тому числі сірчаної кислоти, для підприємств агропромислового комплексу та хімічної промисловості Вінницької та суміжних областей. Підприємство було засноване у 2004 році групою інвесторів, які спеціалізувалися на оптовій торгівлі засобами захисту рослин та мінеральними добривами. Протягом наступних років компанія суттєво розширила напрями діяльності, включивши до свого портфелю послуги з транспортування небезпечних вантажів класу 8 (корозійні речовини) відповідно до класифікації ДОПНВВ.Юридична та фактична адреса підприємства: м. Вінниця, вул. Промислова, 18. Підприємство має власний парк спеціалізованих транспортних засобів, обладнаних кислотостійкими цистернами, а також складські потужності, оснащені відповідно до вимог законодавства у сфері поводження з небезпечними речовинами. Загальна характеристика підприємства наведена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Загальна характеристика ТОВ «Вінниця-Агрохім»

Показник	Значення
Повна назва підприємства	ТОВ «Вінниця-Агрохім»
Організаційно-правова форма	Товариство з обмеженою відповідальністю
Рік заснування	2004
Місцезнаходження	м. Вінниця, вул. Промислова, 18
Основний вид діяльності (КВЕД)	46.75 — Оптова торгівля хімічними продуктами
Середньооблікова чисельність працівників	87 осіб
Площа складської інфраструктури	2 400 м²
Статутний капітал	3 500 000 грн
Форма власності	Приватна
Зони обслуговування	Вінницька, Хмельницька, Черкаська обл.

Основним напрямом діяльності підприємства є транспортно-логістичне обслуговування підприємств агропромислового комплексу, що потребують регулярного постачання сірчаної кислоти технічної (концентрація 92–98 %) для виробничих цілей. Серед ключових клієнтів підприємства — три великі комбінати з виробництва суперфосфату, два підприємства з переробки сировини для виготовлення батарейного електроліту, а також ряд фермерських господарств, що здійснюють ґрунтову меліорацію з використанням хімічних реагентів.

Підприємство здійснює свою виробничу діяльність відповідно до ліцензії на перевезення небезпечних вантажів автомобільним транспортом, виданої Міністерством інфраструктури України, та має сертифікат відповідності вимогам Угоди ДОПНВВ (Міжнародне перевезення небезпечних вантажів автомобільним транспортом). Усі водії-оператори цистерн пройшли підготовку та мають посвідчення ДОПНВВ для перевезення небезпечних вантажів класу 8.

Характеристика транспортного парку підприємства. Транспортний парк ТОВ «Вінниця-Агрохім» станом на 2024 рік налічує 8 одиниць рухомого складу, з яких 6 є спеціалізованими транспортними засобами, обладнаними цистернами для перевезення кислот. Цистерни виготовлені з нержавіючої сталі марки 316L або полімерних матеріалів з кислотостійким покриттям внутрішньої поверхні, що забезпечує хімічну сумісність із сірчаною кислотою концентрацією до 98 %. Кожна цистерна обладнана запобіжними клапанами, манометрами, покажчиками рівня та аварійним зливом. Детальний перелік транспортних засобів підприємства наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Склад транспортного парку ТОВ «Вінниця-Агрохім»

№	Марка/модель	Рік випуску	Вантажопідйомність, т	Об'єм цистерни, м³	Стан
1	КАМАЗ-6520 (цистерна)	2012	20,0	18,0	Задовільний
2	КАМАЗ-6520 (цистерна)	2014	20,0	18,0	Задовільний
3	MAN TGS 26.440 (цистерна)	2017	22,0	20,0	Добрий
4	MAN TGS 26.440 (цистерна)	2019	22,0	20,0	Добрий
5	Volvo FH16 (напівпричіп-цистерна)	2018	25,0	24,0	Добрий
6	DAF XF 105 (напівпричіп-	2016	24,0	22,0	Задовільний

№	Марка/модель	Рік випуску	Вантажопідйомність, т	Об'єм цистерни, м³	Стан
	цистерна)				
7	Renault Premium (вантажний)	2015	12,0	—	Задовільний
8	Ford Transit (службовий)	2020	1,5	—	Добрий

Аналіз вікового складу автопарку свідчить про те, що середній вік спеціалізованих транспортних засобів становить близько 8 років, що є прийнятним показником для цього типу рухомого складу. Водночас два автомобілі марки КАМАЗ 2012 та 2014 років випуску потребують планової модернізації або заміни, оскільки їх технічний стан кваліфікується як «задовільний», а ресурс основних вузлів і агрегатів наближається до граничного. Загальна вантажопідйомність парку спеціалізованих транспортних засобів (без службового автомобіля та вантажного автомобіля загального призначення) складає 113 тонн одночасно. Технічне обслуговування та поточний ремонт транспортних засобів здійснюється у власній ремонтно-технічній зоні, що розташована на базі підприємства та обладнана підйомниками, діагностичним стендом та зоною миття і знешкодження залишків небезпечних речовин. Планове технічне обслуговування виконується відповідно до регламентів заводів-виробників, а позаплановий ремонт - у міру виникнення потреби. Середній коефіцієнт технічної готовності парку за 2024 рік склав 0,87, що відповідає нормативним вимогам для підприємств даної галузі.

Аналіз транспортної діяльності підприємства. Аналіз транспортної діяльності ТОВ «Вінниця-Агрохім» за період 2022–2024 рр. свідчить про стійку тенденцію до зростання обсягів перевезень. Загальний обсяг транспортування сірчаної кислоти та інших небезпечних хімічних вантажів зріс з 4 120 т у 2022 році до 5 340 т у 2024 році, що відповідає середньорічному темпу зростання на рівні 13,8 %. Основні транспортно-економічні показники діяльності підприємства за досліджуваний період подані у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Динаміка транспортно-економічних показників ТОВ «Вінниця-Агрохім» за 2023-2025 рр.

Показник	**2023 рік**	**2024 рік**	**2025 рік**
Загальний обсяг перевезень, т	4 120	4 890	5 340
Загальний пробіг транспортних засобів, тис. км	287,4	312,6	348,1
Вантажооборот, тис. т·км	1 246	1 418	1 573
Кількість виконаних рейсів	312	368	401
Середня дальність перевезення, км	96	102	108
Витрати на паливо, тис. грн	1 840	2 260	2 890
Частка транспортних витрат у загальній собівартості, %	18,3	19,7	21,2
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	0,74	0,78	0,81
Коефіцієнт технічної готовності парку	0,82	0,85	0,87

Загальний пробіг рухомого складу підприємства за 2025 рік склав 348,1 тис. км, що на 21,1 % перевищує показник 2023 року. Вантажооборот за аналогічний період збільшився з 1 246 до 1 573 тис. т·км. Зростання середньої дальності перевезення - з 96 до 108 км - пояснюється розширенням географії обслуговування та залученням нових клієнтів з більш віддалених районів Вінницької, Хмельницької та Черкаської областей.

Позитивною тенденцією є підвищення коефіцієнта використання вантажопідйомності з 0,74 у 2022 році до 0,81 у 2024 році, що свідчить про поліпшення якості планування маршрутів та оперативного диспетчерського управління перевезеннями. Проте слід зазначити, що паралельно зростає частка транспортних витрат у загальній собівартості послуг - з 18,3 % у 2022 році до 21,2 % у 2025 році, що обумовлено передусім підвищенням вартості пального та збільшенням витрат на технічне обслуговування застарілих транспортних засобів.

Маршрутна мережа підприємства охоплює понад 40 населених пунктів Вінницького, Хмільницького, Гайсинського, Тульчинського та Могилів-Подільського районів. Найбільш вантажонапруженими є маршрути до підприємств-виробників добрив, розташованих у Ладижині та Гайсині, де розташовані основні споживачі сірчаної кислоти. Транспортні перевезення здійснюються переважно в денний час доби

з обов'язковим супроводом документацій ДОПНВВ та аварійною карткою для кожного рейсу.

Диспетчеризація перевезень здійснюється з використанням програмного комплексу управління транспортом, що інтегрований з системою супутникового моніторингу GPS/ГЛОНАСС. Це дозволяє в режимі реального часу відстежувати місцезнаходження транспортних засобів, контролювати дотримання маршрутів та режиму праці водіїв, а також оперативно реагувати на позаштатні ситуації. Середній час реакції диспетчерської служби на аварійний сигнал з транспортного засобу не перевищує 12 хвилин.

Підприємство провадить активну роботу у напрямі підвищення рівня безпеки перевезень небезпечних вантажів. Щороку проводяться навчання персоналу з питань поводження з небезпечними речовинами, надання першої допомоги при хімічних опіках та ліквідації аварійних розливів. На кожному транспортному засобі передбачений аварійний комплект, що включає нейтралізуючий реагент (вапняне молоко), захисний одяг, рукавиці та засоби захисту органів дихання.

Таким чином, ТОВ «Вінниця-Агрохім» є динамічно розвинутим підприємством з налагодженою системою транспортно-логістичного обслуговування споживачів сірчаної кислоти у Вінницькій та суміжних областях. Позитивна динаміка основних показників транспортної діяльності свідчить про зростаючий попит на послуги підприємства. Водночас аналіз виявляє ряд проблемних аспектів: зростання транспортних витрат, часткова фізична зношеність рухомого складу та необхідність оптимізації маршрутно-транспортної схеми доставки вантажів. Зазначені проблеми потребують детального аналізу та розробки заходів щодо їх вирішення, що й є предметом подальшого дослідження у цій роботі.

2.2 Аналіз існуючих маршрутів доставки: відстані, час, кількість рейсів.

Для оцінки діючої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти H_2SO_4 (UN 1830, клас 8 ADR) виконано розрахунок техніко-експлуатаційних показників для двох маршрутів та двох спеціалізованих автомобілів-цистерн. Аналіз побудовано так, щоб спочатку визначити фактичні показники базової схеми, а потім показати можливість її оптимізації без придбання нового рухомого складу.

Маршрути доставки сірчаної кислоти за 10 пунктами

Маршрут 1 — північно-західний напрямок

Схема руху:

Вінниця → Калинівка → Літин → Жмеринка → Бар → Хмільник → Вінниця

Маршрут 2 — південно-східний напрямок

Схема руху:

Вінниця → Немирів → Гайсин → Тростянець → Бершадь → Тульчин → Вінниця

Призначення маршруту: обслуговування віддалених пунктів південно-східного напрямку.

Рекомендований автомобіль: MAN TGS, автоцистерна ADR, вантажопідйомність 20 т. Кількість рейсів: 7 рейсів на місяць.

Запропонований поділ маршрутів дозволяє розділити всі 10 пунктів доставки за територіальним принципом. Маршрут 1 є коротшим, тому його доцільно виконувати автомобілем меншої вантажопідйомності - DAF XF. Маршрут 2 є довшим і охоплює більш віддалені пункти, тому його доцільно закріпити за автомобілем MAN TGS з більшою вантажопідйомністю. Такий розподіл зменшує зайві переїзди, скорочує холостий пробіг і підвищує ефективність використання рухомого складу.

У межах розрахунку прийнято 10 пунктів доставки, які поділено на два територіальні напрямки. Такий підхід є доцільним, оскільки перевезення небезпечного вантажу потребує не лише мінімізації пробігу, а й зменшення кількості зайвих заїздів, простоїв і холостих повернень.

Вихідні дані для розрахунку

№	Пункт доставки	Напрямок	Попит, т/міс	Відстань від бази, км
1	Жмеринка	Маршрут 1	30	45
2	Бар	Маршрут 1	28	92
3	Літин	Маршрут 1	24	35
4	Хмільник	Маршрут 1	38	68
5	Калинівка	Маршрут 1	42	28
6	Немирів	Маршрут 2	22	48
7	Гайсин	Маршрут 2	35	95
8	Тульчин	Маршрут 2	30	122
9	Тростянець	Маршрут 2	25	110
10	Бершадь	Маршрут 2	28	135

Отже, загальний місячний обсяг доставки за десятьма пунктами становить:

$$Wзаг = 30 + 28 + 24 + 38 + 42 + 22 + 35 + 30 + 25 + 28 = 302 \text{ т/міс}$$

Автомобіль	Марка	Тип	Вантажопід йомність, т	Норма витрати палива, л/100 км
А	MAN TGS	автоцистерна ADR	20	32
Б	DAF XF	автоцистерна ADR	18	30

Для базової схеми прийнято, що автомобіль А виконує маршрут 1, а автомобіль Б - маршрут 2. У такій схемі розподіл автомобілів не є повністю раціональним, оскільки довший напрямок виконується автомобілем меншої вантажопідйомності.

Маршрут	Схема руху в базовому варіанті	Кількість пунктів	Довжина рейсу, км	Завантажений пробіг, км	Холостий пробіг, км
1	Вінниця-Калинівка - Літин-Жмеринка - Хмільник -Бар -Вінниця	5	310	190	120
2	Вінниця-Немирів - Гайсин-Тульчин - Тростянець-Бершадь - Вінниця	5	420	270	150

Методика розрахунку техніко-експлуатаційних показників

1. Місячний пробіг автомобіля визначається за формулою:

$$Lміс = Lp \cdot n. \quad (2.1)$$

де Lміс — місячний пробіг автомобіля, км; Lp — довжина одного оборотного рейсу, км; n — кількість рейсів за місяць.

2. Час руху автомобіля на маршруті визначається за формулою:

$$tpyx = Lp / Vm. \quad (2.2)$$

де tpyx - час руху, год; Lp - довжина маршруту, км; Vт - середня технічна швидкість, км/год. У роботі прийнято Vт=45 км/год, оскільки перевезення небезпечного вантажу потребує обережнішого режиму руху.

3. Повна тривалість одного рейсу визначається за формулою:

$$t_{рейсу} = t_{рух} + t_{н} + t_{розв} + t_{док.} \quad (2.3)$$

де $t_{рейсу}$ — повна тривалість рейсу, год; $t_{н}$ — час навантаження, год; $t_{розв}$ — сумарний час розвантаження у пунктах доставки, год; $t_{док}$ — час перевірки документів ADR, огляду цистерни та оформлення маршрутного листа, год.

Прийнято: tн = 1,0 год; tрозв = 0,5 год на один пункт; tдок = 0,3 год.

4. Витрата палива на один рейс визначається за формулою:

$$Qp = (Lp \cdot H) / 100 \quad (2.4)$$

де Q_p -витрата палива за один рейс, л; L_p - довжина маршруту, км; Н - норма

витрати палива конкретного автомобіля, л/100 км.

5. Місячна витрата палива визначається за формулою:

$$Q_{міс} = Qp \cdot n. \quad (2.5)$$

де $Q_{міс}$ — витрата палива за місяць, л; $Q_р$ - витрата палива на один рейс, л; n - кількість рейсів на місяць.

6. Обсяг перевезеного вантажу за місяць визначається за формулою:

$$W = q_ф \cdot n \quad (2.6)$$

де W - обсяг перевезення за місяць, т; $q_ф$ - фактичне завантаження автомобіля за один рейс, т; n — кількість рейсів.

7. Коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля:

$$\gamma = q_ф / q_н. \quad (2.7)$$

де γ - коефіцієнт використання вантажопідйомності; $q_ф$ - фактична маса вантажу у рейсі, т; $q_н$ - номінальна вантажопідйомність автомобіля, т.

8. Коефіцієнт використання пробігу:

$$\beta = L_{зав} / Lp \quad (2.8)$$

де β - коефіцієнт використання пробігу; $L_{зав}$ - завантажений пробіг, км; $L_р$ — загальна довжина оборотного рейсу, км. Чим більшим є β, тим менша частка холостого пробігу.

Розрахунок показників базової схеми

Маршрут 1 виконує автомобіль А MAN TGS. Вихідні дані:

$L_{р1} = 310$ км; $n1 = 9$ рейсів; $H_A = 32$ л/100 км; $q_{нA} = 20$ т; $q_ф1 = 18$ т

Місячний пробіг:

$L_{міс1} = 310 \cdot 9 = 2790$ км

Час руху:

$t_{рух1} = 310 / 45 = 6,89$ год

Сумарний час розвантаження у 5 пунктах:

$t_{розв1} = 5 \cdot 0,5 = 2,5$ год

Повна тривалість одного рейсу:

$t_{рейсу}1 = 6,89 + 1,0 + 2,5 + 0,3 = 10,69$ год

Загальний місячний час роботи на маршруті:

$T_{міс1} = 10,69 \cdot 9 = 96,21$ год

Витрата палива на один рейс:

$Q_{р1} = (310 \cdot 32) / 100 = 99,2$ л

Місячна витрата палива:

$Q_{міс1} = 99,2 \cdot 9 = 892,8$ л

Обсяг перевезення:

$W_1 = 18 \cdot 9 = 162$ т

Коефіцієнт використання вантажопідйомності:

$\gamma_1 = 18 / 20 = 0,90$

Коефіцієнт використання пробігу:

$\beta_1 = 190 / 310 = 0,61$

Отже, автомобіль А у базовій схемі забезпечує 5 пунктів доставки, виконує 9 рейсів на місяць, перевозить 162 т вантажу та витрачає 892,8 л палива. Недоліком є те, що частка холостого пробігу залишається значною.

Маршрут 2 виконує автомобіль Б DAF XF. Вихідні дані:

$L_{р2} = 420$ км; $n_2 = 8$ рейсів; $Н_Б = 30$ л/100 км; $q_{нБ} = 18$ т; $q_{ф2} = 17,5$ т

Місячний пробіг:

$L_{міс2} = 420 \cdot 8 = 3360$ км

Час руху:

$t_{рух2} = 420 / 45 = 9,33$ год

Сумарний час розвантаження у 5 пунктах:

$t_{розв2} = 5 \cdot 0,5 = 2,5$ год

Повна тривалість одного рейсу:

$t_{рейсу2} = 9,33 + 1,0 + 2,5 + 0,3 = 13,13$ год

Загальний місячний час роботи на маршруті:

$Т_{міс2} = 13,13 \cdot 8 = 105,04$ год

Витрата палива на один рейс:

$Q_{р2} = (420 \cdot 30) / 100 = 126,0$ л

Місячна витрата палива:

$Q_{міс2} = 126,0 \cdot 8 = 1008,0$ л

Обсяг перевезення:

$W_2 = 17,5 \cdot 8 = 140$ т

Коефіцієнт використання вантажопідйомності:

$\gamma_2 = 17,5 / 18 = 0,97$

Коефіцієнт використання пробігу:

$\beta_2 = 270 / 420 = 0,64$

Отже, автомобіль Б у базовій схемі виконує довший маршрут і має значне навантаження за часом. Оскільки його вантажопідйомність менша, підприємство змушене виконувати більше рейсів для забезпечення попиту другого напрямку.

Зведена таблиця базової схеми

Показник	Автомобіль А, маршрут 1	Автомобіль Б, маршрут 2	Разом
Кількість пунктів доставки	5	5	10
Кількість рейсів на місяць	9	8	17
Місячний пробіг, км	2790	3360	6150
Завантажений пробіг за рейс, км	190	270	—
Холостий пробіг за рейс, км	120	150	—
Повна тривалість рейсу, год	10,69	13,13	—
Місячний час роботи, год	96,21	105,04	201,25
Витрата палива на рейс, л	99,2	126,0	—
Місячна витрата палива, л	892,8	1008,0	1900,8
Обсяг перевезення, т/міс	162	140	302
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	0,90	0,97	—
Коефіцієнт використання пробігу	0,61	0,64	—

За результатами розрахунку видно, що у базовій схемі загальний місячний пробіг становить 6150 км, а витрата палива — 1900,8 л. Найбільше навантаження припадає на маршрут 2, оскільки його довжина більша на 110 км порівняно з маршрутом 1. Крім того, довший маршрут обслуговується автомобілем меншої вантажопідйомності, що знижує раціональність схеми.

Обґрунтування оптимізації маршрутів. Оптимізація полягає у зміні закріплення автомобілів за маршрутами та впорядкуванні черговості відвідування пунктів доставки. Логіка оптимізації така: автомобіль більшої вантажопідйомності MAN TGS доцільно направити на довший маршрут 2, а автомобіль DAF XF — на коротший маршрут 1. Крім того, запропоновано змінити порядок об’їзду пунктів так, щоб зменшити повернення назад і скоротити холосту частину пробігу.

Маршрут	Оптимізована схема руху	Довжина рейсу, км	Завантажений пробіг, км	Холостий пробіг, км
1	Вінниця – Калинівка – Літин – Жмеринка – Бар – Хмільник – Вінниця	285	205	80
2	Вінниця – Немирів – Гайсин – Тростянець – Бершадь – Тульчин – Вінниця	385	280	105

Після оптимізації маршрут 1 закріплюється за автомобілем Б, а маршрут 2 — за автомобілем А. Це дає можливість зменшити кількість рейсів на довшому маршруті з 8 до 7, оскільки MAN TGS має вантажопідйомність 20 т.

Розрахунок показників оптимізованої схеми.

Оптимізований маршрут 2 виконує автомобіль А MAN TGS. Вихідні дані:

$L_{р2опт} = 385$ км; $n_{2опт} = 7$ рейсів; $H_А = 32$ л/100 км; $q_{нА} = 20$ т; $q_{ф2опт} = 20$ т

Місячний пробіг:

$L_{міс2опт} = 385 \cdot 7 = 2695$ км

Час руху:

$t_{рух2опт} = 385 / 45 = 8{,}56$ год

Повна тривалість рейсу:

$t_{рейсу2опт} = 8{,}56 + 1{,}0 + 2{,}5 + 0{,}3 = 12{,}36$ год

Загальний місячний час роботи:

$T_{міс2опт} = 12{,}36 \cdot 7 = 86{,}52$ год

Витрата палива на один рейс:

$Q_{р2опт} = (385 \cdot 32) / 100 = 123{,}2$ л

Місячна витрата палива:

$Q_{міс2опт} = 123{,}2 \cdot 7 = 862{,}4$ л

Обсяг перевезення:

$W_{2опт} = 20 \cdot 7 = 140$ т

Коефіцієнт використання вантажопідйомності:

$\gamma_{2опт} = 20 / 20 = 1{,}00$

Коефіцієнт використання пробігу:

$\beta_{2опт} = 280 / 385 = 0{,}73$

Оптимізований маршрут 1 виконує автомобіль Б DAF XF. Вихідні дані:

$L_{р1опт} = 285$ км; n1опт = 9 рейсів; НБ = 30 л/100 км; $q_{нБ} = 18$ т; $q_{ф1опт} = 18$ т

Місячний пробіг:

$L_{міс1опт} = 285 \cdot 9 = 2565$ км

Час руху:

$t_{рух1опт} = 285 / 45 = 6{,}33$ год

Повна тривалість рейсу:

$t_{рейсу1опт} = 6{,}33 + 1{,}0 + 2{,}5 + 0{,}3 = 10{,}13$ год

Загальний місячний час роботи:

$T_{міс1опт} = 10,13 \cdot 9 = 91,17$ год

Витрата палива на один рейс:

$Q_{р1опт} = (285 \cdot 30) / 100 = 85,5$ л

Місячна витрата палива:

$Q_{міс1опт} = 85,5 \cdot 9 = 769,5$ л

Обсяг перевезення:

$W_{1опт} = 18 \cdot 9 = 162$ т

Коефіцієнт використання вантажопідйомності:

$\gamma_{1опт} = 18 / 18 = 1,00$

Коефіцієнт використання пробігу:

$\beta_{1опт} = 205 / 285 = 0,72$

Зведена таблиця оптимізованої схеми

Показник	Автомобіль А, маршрут 2	Автомобіль Б, маршрут 1	Разом
Кількість пунктів доставки	5	5	10
Кількість рейсів на місяць	7	9	16
Місячний пробіг, км	2695	2565	5260
Завантажений пробіг за рейс, км	280	205	—
Холостий пробіг за рейс, км	105	80	—
Повна тривалість рейсу, год	12,36	10,13	—
Місячний час роботи, год	86,52	91,17	177,69
Витрата палива на рейс, л	123,2	85,5	—
Місячна витрата палива, л	862,4	769,5	1631,9
Обсяг перевезення, т/міс	140	162	302
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	1,00	1,00	—
Коефіцієнт використання пробігу	0,73	0,72	—

Порівняння базової та оптимізованої схем

Скорочення пробігу визначається за формулою:

$\Delta L = L_{баз} - L_{опт}$

$\Delta L = 6150 - 5260 = 890$ км/міс

Скорочення витрати палива:

$\Delta Q = Q_{баз} - Q_{опт}$

$\Delta Q = 1900,8 - 1631,9 = 268,9$ л/міс

Скорочення часу роботи:

$\Delta T = T_{баз} - T_{опт}$

$\Delta T = 201,25 - 177,69 = 23,56$ год/міс

Відносне скорочення пробігу:

$E_L = (\Delta L / L_{баз}) \cdot 100\% = (890 / 6150) \cdot 100\% = 14,47\%$

Відносна економія палива:

$EQ = (\Delta Q / Q_{баз}) \cdot 100\% = (268,9 / 1900,8) \cdot 100\% = 14,15\%$

Показник	Базова схема	Оптимізована схема	Зміна
Кількість пунктів доставки	10	10	без змін
Кількість рейсів на місяць	17	16	-1 рейс
Загальний місячний пробіг, км	6150	5260	-890 км
Місячний час роботи, год	201,25	177,69	-23,56 год
Місячна витрата палива, л	1900,8	1631,9	-268,9 л
Обсяг перевезення, т/міс	302	302	без змін
Середній коефіцієнт використання вантажопідйомності	0,94	1,00	+0,06
Середній коефіцієнт використання пробігу	0,63	0,72	+0,09
Відносне скорочення пробігу, %	—	—	14,47%
Відносна економія палива, %	—	—	14,15%

Порівняння показує, що оптимізована схема є ефективнішою за базову. Основний результат досягається не за рахунок збільшення швидкості руху або порушення режиму перевезення, а за рахунок раціональнішого закріплення автомобілів за маршрутами та кращої послідовності відвідування пунктів. Для небезпечного вантажу це має особливе значення, оскільки скорочення пробігу одночасно зменшує витрати підприємства і знижує час перебування цистерни з небезпечним вантажем на дорозі.

У базовій схемі автомобіль Б DAF XF виконував довший маршрут, хоча його вантажопідйомність становить 18 т. Після оптимізації довший маршрут передано автомобілю А MAN TGS вантажопідйомністю 20 т, що дозволило скоротити кількість рейсів на цьому напрямку. Крім того, перегрупування пунктів у межах маршрутів зменшило холостий пробіг і підвищило коефіцієнт використання пробігу з 0,63 до 0,72.

Отже, за результатами розрахунків оптимізована схема дозволяє зменшити місячний пробіг на 890 км, скоротити витрату палива на 268,9 л та зменшити загальний час роботи автомобілів на 23,56 год. При цьому місячний обсяг доставки залишається незмінним і становить 302 т. Це підтверджує, що запропоноване рішення є доцільним для подальшого використання у транспортно-технологічній схемі доставки сірчаної кислоти.

2.3 Оцінка відповідності поточної схеми вимогам ADR.

Перевезення сірчаної кислоти H_2SO_4 (UN 1830), яка відповідно до класифікації ADR належить до небезпечних вантажів класу 8 «Корозійні речовини», потребує суворого дотримання міжнародних вимог безпеки щодо організації транспортного процесу.

У процесі дослідження встановлено, що для перевезення небезпечного вантажу використовуються два спеціалізовані транспортні засоби - MAN TGS та DAF XF, обладнані автоцистернами ADR для транспортування корозійних речовин. Автомобілі мають відповідні свідоцтва допуску до перевезення небезпечних вантажів, а конструкція цистерн відповідає вимогам щодо перевезення кислотних речовин.

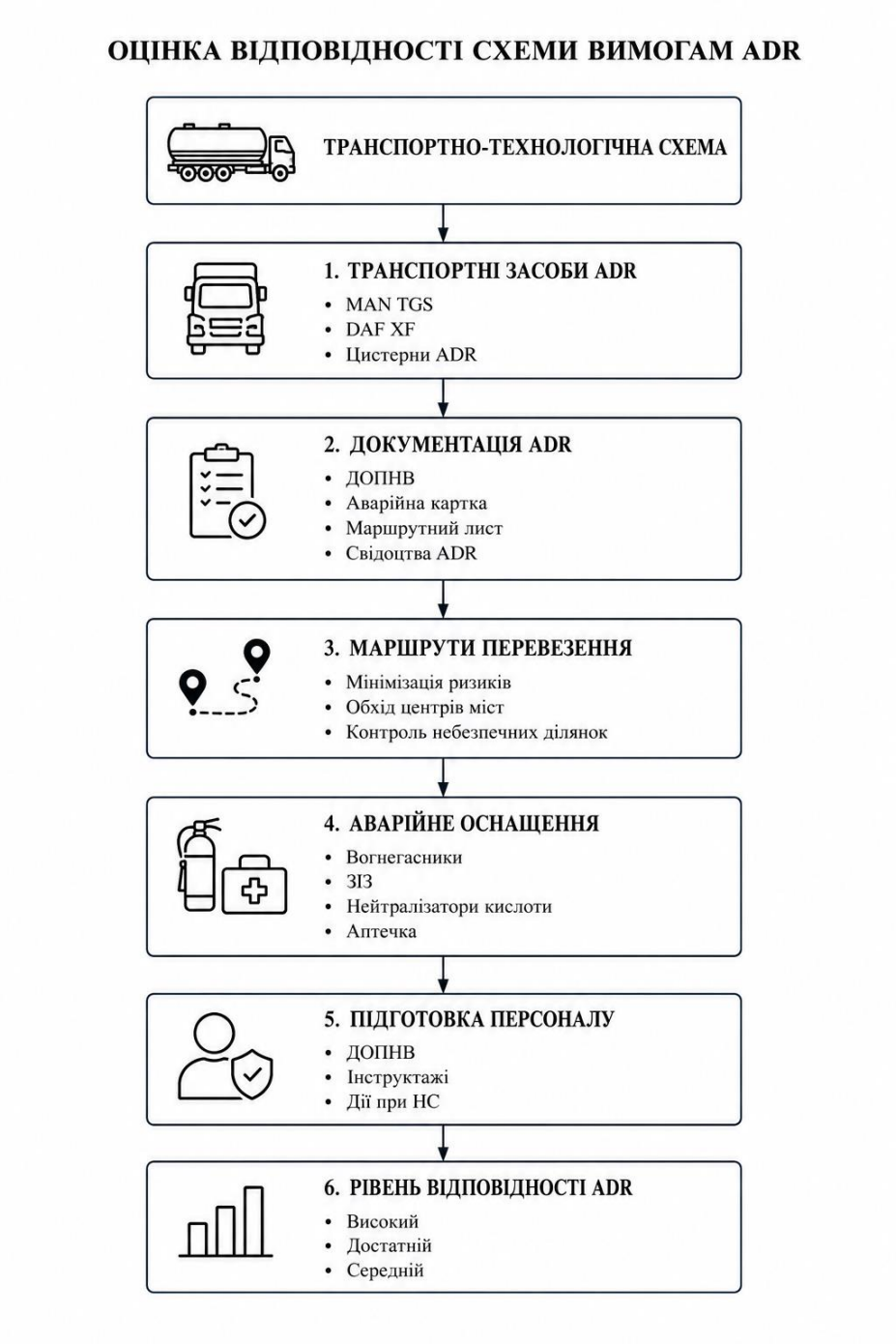


Рис.2.1. Схема відповідності вимога ADR

У результаті аналізу встановлено, що транспортні засоби загалом відповідають вимогам ADR щодо конструкції, технічного оснащення та маркування. Разом із тим окремі елементи оснащення потребують покращення. Зокрема, у складі аварійного комплекту автомобіля DAF XF виявлено недостатню кількість нейтралізуючих матеріалів, що може ускладнити локалізацію можливого розливу кислоти.

Напрям оцінювання	Вимоги ADR	Стан у поточній схемі	Рівень відповідності
Транспортні засоби	ADR-допуск та технічна справність	Вимоги виконуються	Високий
Маркування	UN-номер та знаки небезпеки	Частково погіршується видимість	Достатній
Документація	ДОПНВ та маршрутні документи	Частково ручне оформлення	Достатній
Маршрути	Мінімізація ризиків	Є проблемні ділянки доріг	Достатній
Аварійне оснащення	ЗІЗ та нейтралізатори	Недостатня кількість нейтралізаторів	Середній
Підготовка водіїв	Навчання ДОПНВ	Нерегулярні практичні тренування	Середній
Контроль перевезення	Моніторинг руху	Відсутній цифровий контроль	Середній

Проведений аналіз показав, що поточна транспортно-технологічна схема доставки сірчаної кислоти загалом відповідає базовим вимогам ADR щодо організації перевезення небезпечного вантажу. Разом із тим виявлено окремі технічні та організаційні недоліки, усунення яких дозволить підвищити рівень безпеки та ефективності транспортного процесу.

2.4. Виявлення проблемних зон та обґрунтування необхідності удосконалення.

Проведений аналіз існуючої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти дозволив встановити, що, незважаючи на загальну відповідність вимогам ADR, система перевезення має низку проблемних зон, які негативно впливають на ефективність транспортного процесу, рівень безпеки перевезення небезпечного вантажу та економічні показники роботи підприємства.

Однією з основних проблем є наявність значного холостого пробігу автомобілів. У базовій схемі після виконання доставки транспортні засоби повертаються до місця базування практично без вантажу, що призводить до збільшення загального пробігу, витрат палива та зростання експлуатаційних витрат.

Також встановлено нерівномірне завантаження рухомого складу. Автомобіль

меншої вантажопідйомності DAF XF обслуговує довший маршрут із більшою транспортною роботою, тоді як автомобіль MAN TGS використовується на коротшому напрямку. Такий підхід є недостатньо раціональним, оскільки збільшує кількість рейсів і витрати палива.

Важливою проблемою є наявність окремих небезпечних ділянок маршрутів. На окремих напрямках спостерігається погіршений стан дорожнього покриття, недостатнє освітлення та підвищена інтенсивність руху. Для перевезення сірчаної кислоти такі фактори суттєво підвищують ризик дорожньо-транспортних пригод.

Окремою проблемою є недостатній рівень цифрового контролю транспортного процесу. На підприємстві відсутня повноцінна система GPS-моніторингу небезпечних перевезень, а значна частина документації оформлюється вручну.

Проблемна зона	Виявлені недоліки	Наслідки
Організація маршрутів	Значний холостий проб	Зростання витрат палива
Рухомий склад	Нерівномірне навантаження автомобіл	Збільшення кілько рейсів
Стан доріг	Пошкоджене покриття складні ділянки	Підвищення аварійності
Контроль перевезення	Відсутність GPS-моніторингу	Ускладнення контро маршруту
Документація	Часткове ручне оформлення	Імовірність помилок
Аварійне оснащення	Недостатня кількість нейтралізаторів	Ускладнення ліквіда розливу
Підготовка персоналу	Нерегулярні практичні тренування	Зниження готовності до

Отримані результати свідчать про те, що існуюча схема доставки потребує удосконалення як з технічної, так і з організаційної точки зору. Основним напрямом покращення має стати оптимізація маршрутів перевезення, раціональніше закріплення транспортних засобів за напрямками доставки та впровадження цифрових систем контролю транспортного процесу.

Таким чином, виявлені проблемні зони підтверджують необхідність подальшого удосконалення транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти. Реалізація запропонованих заходів дозволить знизити витрати на перевезення, скоротити пробіг автомобілів та підвищити рівень безпеки перевезення небезпечного вантажу.

Висновки до розділу 2.

У другому розділі бакалаврської роботи було проведено дослідження існуючої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти автомобільним транспортом у межах Вінницької області. У процесі аналізу виконано оцінку маршрутів перевезення, техніко-експлуатаційних показників рухомого складу, відповідності схеми вимогам ADR та визначено основні проблемні зони транспортного процесу.

У межах дослідження сформовано два основні маршрути доставки, які охоплюють 10 пунктів споживання небезпечного вантажу. Для виконання перевезень використовуються два спеціалізовані автомобілі-цистерни ADR — MAN TGS та DAF XF. Проведені розрахунки дозволили визначити довжину маршрутів, кількість рейсів, витрати палива, час виконання транспортної роботи, коефіцієнти використання пробігу та вантажопідйомності автомобілів.

У результаті аналізу встановлено, що базова схема перевезення має низку недоліків, основними з яких є значний холостий пробіг автомобілів, нерівномірне навантаження рухомого складу, підвищені витрати палива та недостатньо раціональне закріплення транспортних засобів за маршрутами. Встановлено, що автомобіль меншої вантажопідйомності обслуговує довший маршрут, що призводить до збільшення кількості рейсів і загальних експлуатаційних витрат.

Під час оцінювання відповідності транспортно-технологічної схеми вимогам ADR встановлено, що транспортні засоби загалом відповідають міжнародним вимогам щодо перевезення небезпечних вантажів класу 8. Автомобілі обладнані спеціалізованими цистернами, мають ADR-допуск та необхідний комплект документації. Разом із тим виявлено окремі недоліки, пов’язані з недостатнім рівнем цифрового контролю перевезень, нерегулярним проведенням практичних тренувань водіїв та окремими проблемами аварійного оснащення.

Також у процесі дослідження було встановлено наявність проблемних ділянок маршрутів, які характеризуються погіршеним станом дорожнього покриття, недостатнім освітленням та підвищеною інтенсивністю руху. Для перевезення сірчаної кислоти такі фактори суттєво підвищують ризик виникнення аварійних ситуацій і негативно впливають на рівень безпеки транспортного процесу.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність удосконалення існуючої транспортно-технологічної схеми доставки. Основними напрямами покращення визначено оптимізацію маршрутів перевезення, раціональніший розподіл рухомого складу між напрямками доставки, зменшення холостого пробігу, впровадження цифрових систем контролю перевезення та підвищення рівня аварійної підготовки персоналу.

Отже, результати другого розділу підтверджують необхідність подальшого вдосконалення транспортного процесу перевезення сірчаної кислоти. Отримані дані є основою для розроблення заходів з оптимізації транспортно-технологічної схеми доставки, які будуть запропоновані у третьому розділі бакалаврської роботи.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ДОСТАВКИ.

3.1 Вибір та обґрунтування транспортного засобу і тари для перевезення сірчаної кислоти.

Ефективність та безпечність перевезення небезпечних вантажів значною мірою залежать від правильного вибору рухомого складу та тари. Для сірчаної кислоти це питання є особливо важливим, оскільки дана речовина належить до небезпечних вантажів класу 8 ADR «Корозійні речовини» та характеризується високою хімічною активністю. Неправильний вибір транспортного засобу або невідповідність матеріалу тари може призвести до пошкодження обладнання, витоку кислоти, виникнення аварійної ситуації та забруднення навколишнього середовища. Тому під час розроблення удосконаленої транспортно-технологічної схеми доставки необхідно обґрунтувати вибір спеціалізованого транспортного засобу та відповідної тари для перевезення сірчаної кислоти.

У межах дослідження встановлено, що для перевезення сірчаної кислоти найбільш доцільним є використання спеціалізованих автомобілів-цистерн ADR, призначених для транспортування корозійних рідин. Такі транспортні засоби мають посилену конструкцію цистерни, спеціальне антикорозійне покриття та обладнання, передбачене міжнародними вимогами ADR. Основними перевагами автоцистерн є можливість перевезення значного обсягу рідини за один рейс, скорочення часу навантаження та розвантаження, зменшення кількості операцій із вантажем та підвищення рівня безпеки транспортування.

Для удосконаленої схеми доставки запропоновано використовувати автомобіль MAN TGS 26.440 з автоцистерною ADR. Вибір даного транспортного засобу обумовлений його технічними характеристиками, високою вантажопідйомністю та відповідністю вимогам перевезення небезпечних вантажів.

Таблиця 3.1.

Технічна характеристика автомобіля MAN TGS 26.440

Показник	Значення
Марка автомобіля	MAN TGS 26.440
Тип транспортного засобу	автоцистерна ADR
Колісна формула	6×2
Потужність двигуна	440 к.с.
Вантажопідйомність	20 т
Об’єм цистерни	22 м³
Норма витрати палива	32 л/100 км
Максимальна швидкість	90 км/год
Тип вантажу	корозійні рідини класу 8
Наявність ADR-допуску	наявний

Вибір автомобіля MAN TGS 26.440 пояснюється тим, що він має достатню вантажопідйомність для перевезення великих партій сірчаної кислоти, що дозволяє скоротити кількість рейсів та зменшити витрати палива на одиницю вантажу. Крім того, автомобіль оснащений сучасними системами безпеки, які особливо важливі під час перевезення небезпечних вантажів. До таких систем належать ABS, система стабілізації руху, система контролю тиску в шинах та електронна система контролю роботи двигуна. Особливу увагу при перевезенні сірчаної кислоти необхідно приділяти матеріалу цистерни. Оскільки кислота є агресивною речовиною, внутрішня поверхня резервуара повинна бути стійкою до корозійного впливу. Для цього використовуються спеціальні кислотостійкі сталі або внутрішнє полімерне покриття. У запропонованій схемі застосовується цистерна з кислотостійкої сталі з додатковим антикорозійним захистом.

Під час вибору тари та цистерни необхідно враховувати фізико-хімічні властивості сірчаної кислоти, серед яких:

висока корозійна активність;

підвищена густина;

небезпека хімічних опіків;

реакція з окремими металами;

необхідність герметичного перевезення.

Саме тому використання звичайних металевих резервуарів для перевезення сірчаної кислоти є недопустимим. Для забезпечення безпечного транспортування необхідно використовувати тільки спеціалізовані ADR-цистерни, які мають відповідне маркування та сертифікацію.

У роботі також виконано порівняння двох можливих варіантів перевезення: використання автомобіля меншої вантажопідйомності DAF XF та автомобіля MAN TGS 26.440.

Таблиця 3.2

Порівняння транспортних засобів для перевезення сірчаної кислоти

Показник	**DAF XF**	**MAN TGS 26.440**
Вантажопідйомність, т	18	20
Об’єм цистерни, м³	20	22
Норма витрати палива, л/100 км	30	32
Кількість рейсів для доставки 140 т	8	7
Місячний пробіг, км	3360	2695
Місячна витрата палива, л	1008	862,4
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	0,97	1,00

Аналіз результатів показує, що незважаючи на дещо більшу норму витрати палива на 100 км, автомобіль MAN TGS є більш ефективним для перевезення сірчаної кислоти. Це пояснюється більшою вантажопідйомністю та можливістю скорочення кількості рейсів. У результаті загальний місячний пробіг та витрата палива є меншими порівняно з використанням автомобіля DAF XF. Для оцінки економічної доцільності використання автомобіля MAN TGS визначимо економію палива:

$$\Delta Q=Q_{DAF}-Q_{MAN} \quad (3.1)$$

де:

ΔQ- економія палива, л;

Q_{DAF} - витрата палива автомобіля DAF XF, л;

Q_{MAN}- витрата палива автомобіля MAN TGS, л.

$$\Delta Q=1008-862,4=145,6 \text{ л}$$

Отже, використання автомобіля MAN TGS дозволяє зменшити місячну витрату палива на 145,6 л. Крім вибору транспортного засобу, важливим елементом удосконаленої транспортно-технологічної схеми є забезпечення герметичності та безпечності тари. Для цього цистерна повинна бути обладнана:

дихальними клапанами;

системою аварійного скидання тиску;

герметичними люками;

системою заземлення;

запірною арматурою ADR;

захистом від механічних пошкоджень.

Наявність такого обладнання дозволяє мінімізувати ризик витоку небезпечної речовини під час транспортування та проведення вантажно-розвантажувальних робіт.

Таким чином, проведений аналіз показав, що для удосконаленої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти найбільш доцільним є використання спеціалізованого автомобіля MAN TGS 26.440 з автоцистерною ADR, виготовленою з кислотостійкої сталі. Використання даного транспортного засобу дозволяє скоротити кількість рейсів, зменшити витрати палива, підвищити коефіцієнт використання вантажопідйомності та забезпечити необхідний рівень безпеки перевезення небезпечного вантажу відповідно до вимог ADR.

3.2 Розв'язання транспортної задачі розподілу перевезень між пунктами споживання.

Для оптимізації доставки сірчаної кислоти до пунктів споживання доцільно застосувати транспортну задачу лінійного програмування. Її використання дозволяє визначити такий план перевезень, за якого загальні транспортні витрати будуть мінімальними, а потреби всіх споживачів будуть повністю забезпечені.

Таблиця 3.3

Матриця вартості перевезення 1 т сірчаної кислоти

Постачальник	Калинівка	Літин	Жмеринка	Хмільник	Бар	Немирів	Гайсин	Тростянець	Тульчин	Бершадь	Запас
А1 Вінниця	1176	1470	1890	2856	3864	2016	3990	4620	5124	5670	160
А2 Ладижин	3360	3990	5040	5880	6720	2520	1680	1260	2100	3150	142
Потреба	42	24	30	38	28	22	35	25	30	28	302

Математична модель транспортної задачі має вигляд:

$$F = \Sigma\Sigma\, c_{ij}x_{ij} \rightarrow \min \qquad (3.2)$$

де F - загальні транспортні витрати; c_{ij} - вартість перевезення 1 т вантажу; x_{ij} - обсяг перевезення між пунктами.

Для побудови початкового плану використовується метод мінімального елемента. Спочатку заповнюються клітинки з найменшими транспортними витратами.

$$x_{11} = 42 \text{ т}$$
$$x_{28} = 25 \text{ т}$$
$$x_{12} = 24 \text{ т}$$

Таблиця 3.2.

План перевезень методом мінімального елемента

Постачальник	Калинівка	Літин	Жмеринка	Хмільник	Бар	Немирів	Гайсин	Тростянець	Тульчин	Бершадь	Запас
А1 Вінниця	42	24	30	38	4	22	0	0	0	0	160
А2 Ладижин	0	0	0	0	24	0	35	25	30	28	142
Потреба	42	24	30	38	28	22	35	25	30	28	302

Загальні транспортні витрати визначаються за формулою:

$F = \Sigma\, c_{ij}x_{ij}$

F = 712 488 грн

Отриманий план показує, що більшість північно-західних пунктів доцільно обслуговувати зі складу у м. Вінниця, а південно-східні - зі складу у м. Ладижин.

E = 969 360 − 712 488 = 256 872 грн

$$E\% = (256\ 872 / 969\ 360) \cdot 100 = 26{,}5\ \%$$

Таблиця 3.3

Порівняння базового та оптимізованого плану

Показник	Базова схема	Оптимізована схема	Зміна
Загальні витрати, грн/міс	969 360	712 488	−256 872
Кількість постачальників	1	2	+1
Рівень використання маршрутної мережі	середній	вищий	покращено
Навантаження на склад у Вінниці	високе	зменшене	покращено

У результаті розв’язання транспортної задачі було визначено раціональний розподіл перевезень сірчаної кислоти між двома пунктами відправлення та десятьма пунктами споживання. Отриманий план дозволяє зменшити загальні транспортні витрати та забезпечити ефективніше використання рухомого складу.

3.3. Проєктування оптимальних маршрутів з урахуванням вимог ADR на основі результатів транспортної задачі.

На основі розв’язання транспортної задачі було визначено раціональний розподіл перевезень сірчаної кислоти між двома пунктами відправлення та десятьма пунктами споживання. Проєктування маршрутів виконується з урахуванням вимог ADR щодо безпеки перевезення небезпечних вантажів.

Таблиця 3.4.

Розподіл пунктів доставки за маршрутами

Маршрут	Склад	Пункти доставки	Автомобіль	Обсяг, т/міс
Маршрут 1	А1 м. Вінниця	Калинівка, Літин, Жмеринка, Хмільник, Бар, Немирів	DAF XF ADR	160
Маршрут 2	А2 м. Ладижин	Гайсин, Тростянець, Тульчин, Бершадь, Бар	MAN TGS 26.440 ADR	142

$$Q_1 = 42 + 24 + 30 + 38 + 4 + 22 = 160 \text{ т}$$
$$Q_2 = 35 + 25 + 30 + 28 + 24 = 142 \text{ т}$$

Кількість рейсів визначається за формулою:

$$n = Q / q$$
$$n_1 = 160 / 18 = 8{,}89 \approx 9 \text{ рейсів}$$
$$n_2 = 142 / 20 = 7{,}1 \approx 8 \text{ рейсів}$$

Таблиця 3.5.

Характеристика оптимальних маршрутів

Показник	Маршрут 1	Маршрут 2
Склад відправлення	м. Вінниця	м. Ладижин
Автомобіль	DAF XF ADR	MAN TGS 26.440 ADR
Вантажопідйомність, т	18	20
Обсяг перевезень, т/міс	160	142
Кількість рейсів	9	8
Кількість пунктів доставки	6	5

Схема руху для маршруту 1:

А1 Вінниця → Калинівка → Літин → Жмеринка → Хмільник → Бар → Немирів → А1 Вінниця

Схема руху для маршруту 2:

А2 Ладижин → Тростянець → Гайсин → Тульчин → Бершадь → Бар → А2 Ладижин

Таблиця 3.6.

Оцінка маршрутів за вимогами ADR

Критерій ADR	Маршрут 1	Маршрут 2	Коментар
Уникнення центрів міст	частково	частково	потребує уточнення
Відсутність тунелів ADR	виконується	виконується	тунелі відсутні
Місця аварійної зупинки	достатньо	достатньо	позначити у маршрутному листі
Стан дорожнього покриття	задовільний	місцями складний	контроль перед рейсом
GPS-контроль	можливий	можливий	рекомендовано впровадити

Таблиця 3.7.

Порівняння базової та удосконаленої схем

Показник	Базова схема	Удосконалена схема	Результат
Кількість складів	1	2	покращено
Транспортні витрати, грн/міс	969 360	712 488	економія 256 872
Відносна економія, %	-	26,5	зменшення витрат
Рівень відповідності ADR	достатній	вищий	покращено

Запропонована маршрутна схема забезпечує скорочення транспортних витрат, раціональне використання рухомого складу та підвищення рівня безпеки перевезення сірчаної кислоти відповідно до вимог ADR.

3.4 Розробка документального забезпечення перевезення (ДОПНВ, аварійна картка, маршрутний лист)

Організація перевезення небезпечних вантажів автомобільним транспортом неможлива без належного документального забезпечення транспортного процесу. Для перевезення сірчаної кислоти, яка належить до небезпечних вантажів класу 8 ADR «Корозійні речовини», комплект документів є одним із ключових елементів забезпечення безпеки перевезення.У межах удосконаленої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти було розроблено комплект основних документів, необхідних для виконання перевезення небезпечного вантажу автомобілями MAN TGS 26.440 ADR та DAF XF ADR.

UN 1830, СІРЧАНА КИСЛОТА, 8, II

де UN 1830 — номер ООН; 8 — клас небезпеки; II — група пакування.

Таблиця 3.8.

Приклад транспортного документа ДОПНВ

Показник	Значення
Номер ООН	UN 1830
Найменування вантажу	Сірчана кислота
Клас небезпеки	8
Група пакування	II
Тип тари	Автоцистерна ADR
Кількість вантажу	20 т
Відправник	Склад А1, м. Вінниця
Транспортний засіб	MAN TGS 26.440 ADR

Одним із найважливіших документів під час перевезення небезпечних вантажів є аварійна картка. Її основне призначення полягає у наданні водію та аварійним службам інформації щодо дій у разі виникнення аварійної ситуації. Удосконалена схема також передбачає використання маршрутного листа, який забезпечує контроль проходження маршруту та дозволяє мінімізувати ризик відхилення транспортного засобу від погодженого напрямку руху.

Таблиця 3.9

Приклад маршрутного листа

Показник	Значення
Автомобіль	MAN TGS 26.440 ADR
Водій	Петров О.О.
Маршрут	Ладижин – Гайсин – Тростянець – Тульчин – Бершадь
Довжина маршруту	529 км
Час виїзду	06:00
Контрольні зупинки	Гайсин, Тростянець
Номер аварійної служби	101

Документ	Призначення
Транспортний документ ДОПНВ	Ідентифікація небезпечного вантажу
Аварійна картка	Дії при надзвичайній ситуації
Маршрутний лист	Контроль проходження маршруту
Свідоцтво ДОПНВ водія	Підготовка водія
Свідоцтво допуску ТЗ	Підтвердження ADR-відповідності
Товарно-транспортна накладна	Облік вантажу

Розроблене документальне забезпечення дозволяє забезпечити відповідність транспортного процесу вимогам ADR, підвищити рівень безпеки перевезення небезпечного вантажу та покращити контроль за виконанням маршрутів доставки.

3.5 Організація системи безпеки: підготовка водія-ДОПНВ, засоби захисту, дії при НС

Перевезення сірчаної кислоти автомобільним транспортом належить до перевезень підвищеної небезпеки, оскільки дана речовина є корозійною та у разі аварійної ситуації може становити серйозну загрозу для людей, транспортного засобу й навколишнього середовища.Основою безпечного перевезення небезпечного вантажу є належна підготовка водія. Відповідно до вимог ДОПНВ перевезення сірчаної кислоти можуть виконувати лише водії, які пройшли спеціальне навчання та отримали відповідне свідоцтво.

Удосконалена схема перевезення передбачає, що водій перед кожним рейсом проходить інструктаж щодо особливостей маршруту, можливих небезпечних ділянок дороги та порядку дій у разі витоку сірчаної кислоти.Для перевезення сірчаної кислоти транспортний засіб повинен бути забезпечений комплектом засобів індивідуального захисту. До комплекту входять кислотостійкий захисний костюм, гумові рукавиці, захисні окуляри, респіратор, гумове взуття та сигнальний жилет.

Крім засобів індивідуального захисту, автомобілі MAN TGS 26.440 ADR та DAF XF ADR повинні бути обладнані аварійним комплектом, який використовується для локалізації наслідків можливого витоку кислоти.У разі виникнення надзвичайної ситуації водій повинен діяти відповідно до аварійної картки ADR. Насамперед необхідно зупинити транспортний засіб, увімкнути аварійну сигналізацію та встановити попереджувальні знаки.Для підвищення рівня безпеки перевезення у межах удосконаленої транспортно-технологічної схеми передбачено використання GPS-моніторингу, що дозволяє контролювати рух транспортного засобу, швидкість руху та місця зупинок. Важливим елементом системи безпеки є також проведення регулярного технічного контролю транспортного засобу. Перед виїздом необхідно перевіряти герметичність цистерни, справність запірної арматури та комплектність аварійного оснащення.

Таблиця 3.10.

Основні заходи системи безпеки перевезення сірчаної кислоти

Напрям безпеки	Основні заходи
Підготовка персоналу	Навчання ДОПНВ, інструктажі, практичні тренування
Засоби захисту	Захисний костюм, рукавиці, окуляри, респіратор
Аварійне оснащення	Вогнегасники, нейтралізатори, сорбенти, аптечка
Технічний контроль	Перевірка цистерни, арматури та ADR-маркування
Контроль маршруту	GPS-моніторинг та контроль зупинок
Дії при НС	Локалізація витоку та взаємодія з аварійними службами

Таким чином, організація системи безпеки перевезення сірчаної кислоти повинна базуватися на комплексному поєднанні підготовки персоналу, технічного оснащення транспортного засобу, використання засобів індивідуального захисту та чітко визначеного алгоритму дій у разі надзвичайної ситуації.

Висновок до розділу 3.

У третьому розділі бакалаврської роботи було розроблено удосконалену транспортно-технологічну схему доставки сірчаної кислоти автомобільним транспортом з урахуванням вимог ADR, техніко-експлуатаційних показників перевезення та необхідності підвищення рівня безпеки транспортного процесу. У процесі дослідження обґрунтовано вибір спеціалізованого рухомого складу для перевезення небезпечного вантажу. Встановлено, що для удосконаленої схеми найбільш доцільним є використання автомобіля MAN TGS 26.440 ADR з автоцистерною, виготовленою з кислотостійких матеріалів. Порівняння з автомобілем DAF XF ADR показало, що використання MAN TGS дозволяє скоротити кількість рейсів, зменшити витрати палива та підвищити коефіцієнт використання вантажопідйомності.

У межах роботи виконано розв’язання транспортної задачі розподілу перевезень між пунктами споживання. На основі отриманих результатів сформовано оптимальний план доставки сірчаної кислоти від двох складів до десяти пунктів споживання. Оптимізація перевезень дозволила скоротити загальні транспортні витрати з 969 360 грн до 712 488 грн на місяць. Економічний ефект від впровадження удосконаленої схеми становить 256 872 грн, або 26,5 %. На основі результатів транспортної задачі було спроєктовано оптимальні маршрути перевезення з урахуванням вимог ADR. Під час формування маршрутної схеми враховано не лише мінімізацію відстані перевезення, але й рівень безпеки руху, стан дорожнього покриття, можливість використання контрольних зупинок та уникнення небезпечних ділянок.

Запропонований розподіл маршрутів дозволив більш раціонально використовувати рухомий склад та зменшити навантаження на один пункт відправлення. У роботі також розроблено комплект документального забезпечення перевезення небезпечного вантажу, до якого входять транспортний документ ДОПНВ, аварійна картка та маршрутний лист. Запропонована система документації забезпечує відповідність транспортного процесу міжнародним вимогам ADR та підвищує рівень контролю за перевезенням сірчаної кислоти.

Окрему увагу приділено організації системи безпеки перевезення. У межах удосконаленої схеми визначено вимоги до підготовки водія ДОПНВ, використання засобів індивідуального захисту, аварійного оснащення транспортного засобу та порядку дій у разі виникнення надзвичайної ситуації. Запропоновані заходи дозволяють мінімізувати ризик аварійних ситуацій та забезпечити належний рівень безпеки перевезення небезпечного вантажу.

Таким чином, результати третього розділу підтверджують ефективність запропонованої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти. Реалізація запропонованих заходів дозволяє підвищити економічну ефективність перевезень, скоротити транспортні витрати, покращити використання рухомого складу та забезпечити відповідність транспортного процесу сучасним вимогам ADR.

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СХЕМИ.

4.1. Порівняльний аналіз базової та удосконаленої схем доставки.

Ефективність функціонування транспортно-технологічної схеми доставки значною мірою визначається рівнем організації маршрутів, раціональністю використання рухомого складу, витратами на перевезення та рівнем безпеки транспортного процесу.

У межах дослідження базова схема передбачала доставку сірчаної кислоти від одного складу у м. Вінниця до десяти пунктів споживання із використанням автомобіля DAF XF ADR.

Удосконалена схема доставки передбачає використання двох складів відправлення — у м. Вінниця та м. Ладижин, а також застосування двох автомобілів ADR: DAF XF ADR та MAN TGS 26.440 ADR.

Для оцінки ефективності запропонованих рішень проведено порівняння основних техніко-експлуатаційних показників базової та удосконаленої схем доставки.

Таблиця 4.1.

Порівняння базової та удосконаленої схем доставки

Показник	Базова схема	Удосконалена схема	Відхилення
Кількість складів	1	2	+1
Кількість рейсів	17	16	-1
Загальний пробіг, км	6150	5260	-890
Транспортна робота, ткм	24560	23097	-1463
Витрати палива, л	1900,8	1631,9	-268,9
Транспортні витрати, грн	969 360	712 488	-256 872
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	0,94	1,00	+0,06
Рівень відповідності ADR	достатній	високий	покращено

Зменшення пробігу транспортних засобів визначається за формулою:

$$\Delta L = L_{баз} - L_{удоск}$$

$$\Delta L = 6150 - 5260 = 890 \text{ км}$$

Скорочення витрат палива визначається за формулою:

$$\Delta G = G_{баз} - G_{удоск}$$

$$\Delta G = 1900,8 - 1631,9 = 268,9 \text{ л}$$

Економічний ефект визначається як різниця між витратами базової та удосконаленої схем:

$$E = C_{баз} - C_{удоск}$$

$$E = 969360 - 712488 = 256872 \text{ грн}$$

$$E\% = (256872 / 969360) \cdot 100 = 26,5\ \%$$

Отримані результати підтверджують високу ефективність запропонованої схеми доставки. Основний економічний ефект досягається завдяки оптимізації маршрутів, використанню двох складів відправлення та більш раціональному використанню автомобілів ADR.

Таблиця 4.2.

Зміна основних показників після оптимізації

Показник	Зміна, %
Скорочення пробігу	14,5
Скорочення транспортної роботи	6,0
Скорочення витрат палива	14,1
Скорочення транспортних витрат	26,5
Підвищення використання вантажопідйомності	6,4

Таким чином, результати проведеного аналізу підтверджують, що удосконалена транспортно-технологічна схема доставки сірчаної кислоти є більш ефективною порівняно з базовою схемою.

4.2. Розрахунок транспортних витрат та економічного ефекту.

Розрахунок транспортних витрат є важливим етапом оцінки ефективності запропонованої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти.У роботі транспортні витрати розраховуються для базової та удосконаленої схем. До складу витрат включено витрати на паливо, технічне обслуговування, оплату праці водіїв та амортизацію транспортних засобів.

Загальні транспортні витрати визначаються за формулою:

$$C = L \cdot S$$

Де, C — транспортні витрати; L — загальний пробіг; S — собівартість 1 км пробігу.

$$C_{баз} = 6150 \cdot 157,6 = 969360 \text{ грн}$$

$$C_{удоск} = 5260 \cdot 135,45 = 712488 \text{ грн}$$

Економічний ефект визначається як різниця між витратами базової та удосконаленої схем:

$$E = C_{баз} - C_{удоск}$$

$$E = 969360 - 712488 = 256872 \text{ грн}$$

$$E\% = (256872 / 969360) \cdot 100 = 26,5\ \%$$

$$Еріч = 256872 \cdot 12 = 3082464 \text{ грн}$$

Таблиця 4.3.

Розрахунок транспортних витрат

Показник	Базова схема	Удосконалена схема
Загальний пробіг, км/міс	6150	5260
Собівартість 1 км, грн/км	157,6	135,45
Транспортні витрати, грн/міс	969 360	712 488
Економія, грн/міс	-	256 872
Відносна економія, %	-	26,5
Річний економічний ефект, грн	-	3 082 464

Для визначення економії палива використовується формула:

$$\Delta G = G_{баз} - G_{удоск}$$

$$\Delta G = 1900,8 - 1631,9 = 268,9 \text{ л}$$

$$E_{пал} = 268,9 \cdot 58 = 15596,2 \text{ грн}$$

Таблиця 4.4.

Розрахунок економії палива

Показник	Значення
Витрата палива у базовій схемі, л/міс	1900,8
Витрата палива в удосконаленій схемі, л/міс	1631,9
Економія палива, л/міс	268,9
Ціна дизельного палива, грн/л	58
Економія коштів на паливі, грн/міс	15 596,2

$$\Delta L = 6150 - 5260 = 890 \text{ км}$$

$$\Delta L\% = (890 / 6150) \cdot 100 = 14,5\ \%$$

Отже, проведений розрахунок підтверджує економічну доцільність впровадження удосконаленої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти.

4.3. Оцінка ризиків та рівня безпеки удосконаленої схеми

Перевезення сірчаної кислоти автомобільним транспортом характеризується підвищеним рівнем небезпеки, оскільки дана речовина належить до класу 8 ADR «Корозійні речовини».

У базовій схемі доставки основними проблемами були надмірна довжина маршрутів, збільшена кількість рейсів, високе навантаження на один склад відправлення та недостатній рівень контролю руху транспортних засобів.

Запропонована удосконалена схема доставки дозволила суттєво знизити рівень транспортних ризиків за рахунок використання двох складів відправлення, оптимізації маршрутів перевезення та впровадження сучасних засобів контролю транспортного процесу.

Одним із головних показників безпеки є скорочення пробігу транспортних засобів, оскільки зі зменшенням часу перебування автоцистерни на маршруті знижується ймовірність виникнення аварійної ситуації.

$$\Delta L = L_{баз} - L_{удоск}$$

$$\Delta L = 6150 - 5260 = 890 \text{ км}$$

$$\Delta n = n_{баз} - n_{удоск}$$

$$\Delta n = 17 - 16 = 1 \text{ рейс}$$

Таблиця 4.5.

Оцінка рівня ризиків базової та удосконаленої схем

Фактор ризику	Базова схема	Удосконалена схема
Загальний пробіг	високий	знижений
Кількість рейсів	більша	менша
Контроль маршруту	обмежений	GPS-моніторинг
Підготовка водіїв	стандартний	ДОПНВ
Відповідність ADR	часткова	повна
Рівень безпеки	достатній	високий

Одним із ключових елементів удосконаленої схеми є впровадження системи GPS-моніторингу. Використання супутникового контролю дозволяє відстежувати рух транспортного засобу в режимі реального часу.

Підвищення рівня безпеки також досягається завдяки використанню спеціалізованих автомобілів ADR, які обладнані системами аварійного захисту та аварійним оснащенням.

Таблиця 4.6.

Зміна показників безпеки після оптимізації

Показник	Базова схема	Удосконалена схема	Зміна
Загальний пробіг, км/міс	6150	5260	-14,5 %
Кількість рейсів	17	16	-5,9 %
Витрати палива, л/міс	1900,8	1631,9	-14,1 %
Рівень контролю	частковий	постійний	покращено
Рівень безпеки	достатній	високий	покращено

Отже, проведений аналіз підтверджує, що запропонована транспортно-технологічна схема доставки сірчаної кислоти є більш безпечною порівняно з базовою схемою.

4.4 Екологічна складова транспортування сірчаної кислоти.

У сучасних умовах організація транспортного процесу повинна враховувати не лише економічну ефективність перевезень, але й рівень впливу транспортної діяльності на навколишнє середовище. У базовій схемі доставки основними негативними факторами впливу на навколишнє середовище були значний пробіг транспортних засобів, підвищені витрати дизельного палива та збільшена тривалість перебування автоцистерн із небезпечним вантажем на маршрутах перевезення.
Запропонована удосконалена схема доставки дозволяє зменшити негативний вплив транспортного процесу на навколишнє середовище за рахунок оптимізації маршрутів, скорочення загального пробігу транспортних засобів та зниження витрат палива.

$$\Delta L = L_{баз} - L_{удоск}$$

$$\Delta L = 6150 - 5260 = 890 \text{ км}$$

У результаті оптимізації транспортного процесу витрати палива зменшилися з 1900,8 л до 1631,9 л на місяць.

$$\Delta G = G_{баз} - G_{удоск}$$

$$\Delta G = 1900,8 - 1631,9 = 268,9 \text{ л}$$

Для оцінки екологічного ефекту визначено скорочення викидів CO_2.

$$\Delta CO_2 = \Delta G \cdot k$$

$$\Delta CO_2 = 268,9 \cdot 2,68 = 720,65 \text{ кг}$$

Таблиця 4.7.

Порівняння екологічних показників базової та удосконаленої схем

Показник	Базова схема	Удосконалена схема	Зміна
Загальний пробіг, км/міс	6150	5260	-14,5 %
Витрати палива, л/міс	1900,8	1631,9	-14,1 %
Викиди CO_2, кг/міс	5094,1	4373,5	-720,6
Кількість рейсів	17	16	-5,9 %
Ризик аварійного забруднення	середній	знижений	покращено
Рівень екологічної безпеки	достатній	вищий	покращено

Отже, результати проведеної оцінки підтверджують, що удосконалена транспортно-технологічна схема доставки сірчаної кислоти має кращі екологічні показники порівняно з базовою схемою.

Висновок до розділу 4

У четвертому розділі бакалаврської роботи проведено оцінку ефективності запропонованої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти з урахуванням економічних, експлуатаційних, безпекових та екологічних показників.

У процесі дослідження виконано порівняльний аналіз базової та удосконаленої схем доставки. Встановлено, що використання двох складів відправлення, оптимізація маршрутів перевезення та раціональний розподіл транспортних потоків дозволили підвищити ефективність транспортного процесу. Удосконалена схема забезпечила скорочення загального пробігу транспортних засобів із 6150 км до 5260 км на місяць, що дало змогу зменшити навантаження на рухомий склад та скоротити час перебування небезпечного вантажу на маршрутах перевезення.

У межах роботи проведено розрахунок транспортних витрат та економічного ефекту від впровадження удосконаленої схеми. Результати розрахунків показали, що загальні транспортні витрати скоротилися з 969 360 грн до 712 488 грн на місяць. Отриманий економічний ефект становить 256 872 грн на місяць, або 26,5 %. Річний економічний ефект перевищує 3 млн грн, що підтверджує економічну доцільність впровадження запропонованих заходів.

Під час оцінки ризиків та рівня безпеки встановлено, що удосконалена схема має значно вищий рівень безпеки порівняно з базовою. Це досягається завдяки використанню автомобілів ADR, підготовці водіїв ДОПНВ, впровадженню GPS-моніторингу, використанню аварійного оснащення та оптимізації маршрутів перевезення. Скорочення кількості рейсів і пробігу транспортних засобів дозволяє знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій під час транспортування сірчаної

кислоти.

У роботі також проведено оцінку екологічної складової транспортного процесу. Встановлено, що оптимізація маршрутів та скорочення витрат дизельного палива дозволяють зменшити негативний вплив перевезення на навколишнє середовище. У результаті впровадження удосконаленої схеми витрати палива скоротилися на 268,9 л на місяць, а викиди діоксиду вуглецю — приблизно на 721 кг CO_2 на місяць. Крім того, знижується ризик аварійного забруднення довкілля у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Таким чином, результати четвертого розділу підтверджують ефективність запропонованої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти. Реалізація запропонованих заходів дозволяє забезпечити скорочення транспортних витрат, підвищення рівня безпеки перевезення небезпечного вантажу, покращення екологічних показників транспортного процесу та більш раціональне використання рухомого складу відповідно до вимог ADR.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі було досліджено транспортно-технологічний процес перевезення сірчаної кислоти автомобільним транспортом та розроблено удосконалену схему доставки небезпечного вантажу з урахуванням вимог ADR, техніко-експлуатаційних показників роботи рухомого складу, рівня безпеки перевезення та екологічної складової транспортного процесу.

У процесі дослідження проведено аналіз існуючої схеми доставки сірчаної кислоти, визначено її основні недоліки та проблемні зони. Встановлено, що базова схема характеризувалася значним пробігом транспортних засобів, збільшеною кількістю рейсів, підвищеними витратами дизельного палива та недостатнім рівнем контролю перевезення небезпечного вантажу. Загальний пробіг транспортних засобів у базовій схемі становив 6150 км на місяць, витрати палива — 1900,8 л, а транспортні витрати — 969 360 грн на місяць.

У межах роботи було виконано техніко-експлуатаційні розрахунки для двох маршрутів перевезення та двох автомобілів ADR - DAF XF ADR і MAN TGS 26.440 ADR. Проведений аналіз показав, що використання автомобіля MAN TGS 26.440 ADR є більш ефективним завдяки більшій вантажопідйомності, скороченню кількості рейсів та зменшенню витрат палива.

Для оптимізації транспортного процесу було розв’язано транспортну задачу розподілу перевезень між двома складами відправлення та десятьма пунктами споживання. На основі отриманих результатів сформовано удосконалену маршрутну схему доставки сірчаної кислоти з урахуванням вимог ADR. У результаті впровадження запропонованої схеми загальний пробіг транспортних засобів скоротився до 5260 км на місяць, тобто на 890 км або 14,5 %. Кількість рейсів зменшилася з 17 до 16 рейсів на місяць, а витрати дизельного палива скоротилися до 1631,9 л, що забезпечило економію 268,9 л палива щомісячно.

У роботі також було розроблено комплект документального забезпечення перевезення небезпечного вантажу, який включає транспортний документ ДОПНВ, аварійну картку та маршрутний лист. Крім того, запропоновано комплекс заходів із забезпечення безпеки перевезення, що передбачає використання автомобілів ADR, підготовку водіїв ДОПНВ, застосування засобів індивідуального захисту, аварійного оснащення та систем GPS-моніторингу.

Проведені економічні розрахунки підтвердили ефективність удосконаленої транспортно-технологічної схеми доставки. Встановлено, що після впровадження запропонованих заходів транспортні витрати скорочуються з 969 360 грн до 712 488 грн на місяць. Отриманий економічний ефект становить 256 872 грн на місяць, або 26,5 %, а річний економічний ефект перевищує 3 млн грн.

Під час оцінки ризиків встановлено, що удосконалена схема забезпечує вищий рівень безпеки перевезення небезпечного вантажу порівняно з базовою схемою. Це досягається за рахунок скорочення пробігу транспортних засобів, зменшення кількості рейсів, підвищення рівня контролю перевезення та використання спеціалізованих автомобілів ADR.

У роботі також проведено оцінку екологічної складової транспортного процесу. Результати дослідження показали, що скорочення витрат дизельного палива дозволяє зменшити викиди діоксиду вуглецю приблизно на 720,6 кг CO_2 на місяць, а також знизити ризик аварійного забруднення навколишнього середовища під час перевезення сірчаної кислоти.

Таким чином, результати бакалаврської кваліфікаційної роботи підтверджують ефективність запропонованої транспортно-технологічної схеми доставки сірчаної кислоти. Реалізація запропонованих заходів дозволяє підвищити економічну ефективність перевезень, скоротити транспортні витрати, покращити використання рухомого складу, забезпечити відповідність транспортного процесу вимогам ADR, підвищити рівень безпеки перевезення небезпечного вантажу та зменшити негативний вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про перевезення небезпечних вантажів» № 1644-III від 06.04.2000 р.

2. Закон України «Про автомобільний транспорт» № 2344-III від 05.04.2001 р.

3. Закон України «Про транспорт» № 232/94-ВР від 10.11.1994 р.

4. Європейська угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ADR).

5. Правила дорожнього перевезення небезпечних вантажів : наказ МВС України № 656 від 04.08.2018 р.

6. ДСТУ 4500-5:2005. Вантажі небезпечні. Маркування, пакування, транспортування.

7. ДСТУ 4278:2004. Транспорт дорожній. Знаки небезпеки. Загальні технічні умови.

8. Нагорний Є. В. Організація автомобільних перевезень : підручник. Київ : Кондор, 2018.

9. Дмитриченко М. Ф., Левковець П. Р., Ткаченко А. М. Транспортні технології в системах логістики : підручник. Київ : Інформавтодор, 2019.

10. Криворучко О. М., Шраменко Н. Ю. Транспортна логістика : навчальний посібник. Харків : ХНАДУ, 2021.

11. Вельможин А. В. Вантажні автомобільні перевезення : підручник. Харків : ХНАДУ, 2020.

12. Гудков В. А., Миротін Л. Б. Транспортно-технологічні системи перевезень : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2019.

13. Сумець О. М. Логістичні системи і ланцюги постачань : навчальний посібник. Київ : Хай-Тек Прес, 2020.

14. Транспортна логістика : підручник / за ред. М. Ф. Дмитриченка. Київ : НТУ, 2021.

15. Бойко Г. В. Організація перевезень небезпечних вантажів автомобільним транспортом : навч. посіб. Київ : Логос, 2021.

16. Левковець П. Р. Управління вантажними перевезеннями : навчальний посібник. Київ : Арістей, 2017.

17. Zagurskiy O., Savchenko L., Ohiienko A., Zagurska S., Domin O. Methodology for the formation of the company’s logistics service system // Proceedings of 23rd International Scientific Conference Engineering for Rural Development. Jelgava, Latvia, 2024. P. 105–112.

18. Кунда Н. Т. Організація міжнародних автомобільних перевезень : навчальний посібник. Київ : Слово, 2018.

19. Бідняк М. Н. Вантажні перевезення : навчальний посібник. Львів : Новий Світ-2000, 2019.

20. Бутенко О. П. Основи транспортно-експедиційного обслуговування : навчальний посібник. Харків : ХНАДУ, 2020.

21. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги.

22. ISO 39001:2012 Road Traffic Safety Management Systems.

23. ISO 14001:2015 Environmental management systems.

24. International Road Transport Union (IRU). Guidelines for the Transport of Dangerous Goods.

25. European Commission. Safe Transport of Dangerous Goods by Road.

26. UNECE. Recommendations on the Transport of Dangerous Goods. Model Regulations.

27. Ballou R. H. Business Logistics Management. New Jersey : Prentice Hall, 2004.

28. Christopher M. Logistics and Supply Chain Management. London : Pearson Education, 2016.

29. Bowersox D. J., Closs D. J. Logistical Management. New York : McGraw-Hill, 2008.

30. Lambert D. M. Supply Chain Management: Processes, Partnerships, Performance. Florida : SCMI, 2014.

31. Rushton A., Croucher P., Baker P. The Handbook of Logistics and Distribution Management. London : Kogan Page, 2017.

32. Rodrigue J.-P. The Geography of Transport Systems. New York : Routledge, 2020.

33. Taniguchi E., Thompson R. City Logistics: Network Modelling and Intelligent Transport Systems. Oxford : Pergamon, 2001.

34. Toth P., Vigo D. Vehicle Routing: Problems, Methods and Applications. Philadelphia : SIAM, 2014.

35. Dantzig G., Ramser J. The Truck Dispatching Problem // Management Science. 1959. Vol. 6. No. 1. P. 80–91

ДОДАТКИ

МАРШРУТИ ДОСТАВКИ СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ ПО ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ (10 ПУНКТІВ ДОСТАВКИ)

МАРШРУТ 1
Північно-західний напрямок

Вінниця – Калинівка – Літин – Жмеринка – Бар – Хмільник – Вінниця

Пункти доставки (5)

№	Пункт доставки	Відстань між пунктами, км	Накопичувальна відстань, км
1	Вінниця (склад)	0	0
2	Калинівка	28	28
3	Літин	32	60
4	Жмеринка	47	107
5	Бар	48	155
6	Хмільник	50	205
7	Вінниця (склад)	80	285

Загальна довжина маршруту: 285 км
Кількість пунктів доставки: 5
Місячний обсяг доставки: 162 т
Кількість рейсів на місяць: 9



МАРШРУТ 2
Південно-східний напрямок

Вінниця – Немирів – Гайсин – Тростянець – Бершадь – Тульчин – Вінниця

Пункти доставки (5)

№	Пункт доставки	Відстань між пунктами, км	Накопичувальна відстань, км
1	Вінниця (склад)	0	0
2	Немирів	48	48
3	Гайсин	50	98
4	Тростянець	45	143
5	Бершадь	55	198
6	Тульчин	82	280
7	Вінниця (склад)	105	385

Загальна довжина маршруту: 385 км
Кількість пунктів доставки: 5
Місячний обсяг доставки: 140 т
Кількість рейсів на місяць: 7

Автомобіль для маршруту 1
DAF XF 460 (Автоцистерна ADR)



Вантажопідйомність	18 т
Об'єм цистерни	20 м³
Норма витрати палива	30 л/100 км
Середня технічна швидкість	45 км/год
Тип приводу	4x2
Кількість рейсів на місяць	9
Місячний пробіг	2 565 км
Місячна витрата палива	769,5 л

Порівняння маршрутів

Показник	Маршрут 1	Маршрут 2
Довжина маршруту, км	285	385
Кількість пунктів доставки	5	5
Місячний обсяг, т	162	140
Кількість рейсів, шт.	9	7
Місячний пробіг, км	2 565	2 695
Місячна витрата палива, л	769,5	863,4

Автомобіль для маршруту 2
MAN TGS 26.440 (Автоцистерна ADR)



Вантажопідйомність	20 т
Об'єм цистерни	22 м³
Норма витрати палива	32 л/100 км
Середня технічна швидкість	45 км/год
Тип приводу	6x2
Кількість рейсів на місяць	7
Місячний пробіг	2 695 км
Місячна витрата палива	863,4 л

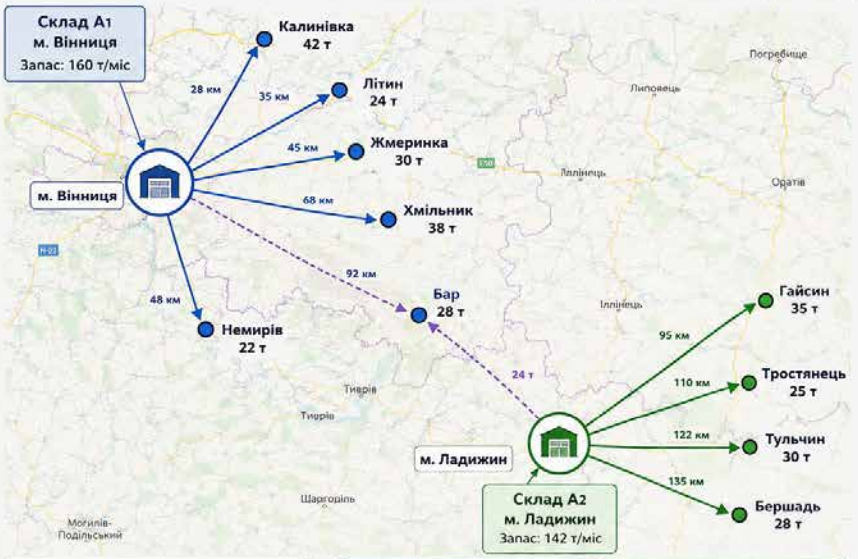
Пояснення до маршрутів

- Маршрути спроектовані з урахуванням розташування споживачів, стану доріг та мінімізації холостого пробігу.
- Усі пункти знаходяться поза межами щільної міської забудови, що відповідає вимогам перевезення небезпечних вантажів класу 8 (ADR).
- Завантаження здійснюється на складі у м. Вінниця. Повернення в кінцеву точку маршруту для зменшення порожнього пробігу.

Умовні позначення

1 – Порядковий номер пункту на маршруті 1
7 – Порядковий номер пункту на маршруті 2
– Склад (початок/кінець маршруту)
– Маршрут 1
– Маршрут 2

Схема маршрутів перевезення сірчаної кислоти
за оптимізованим планом (розв'язання транспортної задачі)



Розподіл перевезень між складами та пунктами споживання

Пункт споживання	Потреба, т	Обсяг перевезення, т		Відстань від постачальника, км
		А1 Вінниця	А2 Ладижин	
Калинівка	42	42	–	28
Літин	24	24	–	35
Жмеринка	30	30	–	45
Хмільник	38	38	–	68
Бар	28	4	24	92 / 67*
Немирів	22	22	–	48
Гайсин	35	–	35	95
Тростянець	25	–	25	110
Тульчин	30	–	30	122
Бершадь	28	–	28	135
Разом	**302**	**160**	**142**	**–**

* Для пункту Бар: 4 т зі складу Вінниця (92 км), 24 т зі складу Ладижин (67 км)

Умовні позначення

- Маршрут 1 (А1 – північно-західний напрямок)
- Маршрут 2 (А2 – південно-східний напрямок)
- Часткове постачання пункту Бар з двох складів
- Пункти споживання, що обслуговуються складом А1
- Пункти споживання, що обслуговуються складом А2
- Склади постачання

Маршрут 1 (А1 – м. Вінниця)
Пункти обслуговування: Калинівка, Літин, Жмеринка, Хмільник, Бар (частково), Немирів
Загальний обсяг: 160 т
Відстань маршруту (орієнтовно): ~316 км
Кількість рейсів (DAF XF, 18 т): 9 рейсів



Маршрут 2 (А2 – м. Ладижин)
Пункти обслуговування: Гайсин, Тростянець, Тульчин, Бершадь, Бар (частково)
Загальний обсяг: 142 т
Відстань маршруту (орієнтовно): ~529 км
Кількість рейсів (MAN TGS, 20 т): 7 рейсів



Порівняння схем перевезень

Показник	Базова схема (1 склад)	Оптимізована схема (2 склади)	Економія
Загальні транспортні витрати, грн/міс	969 360	712 488	256 872
Кількість рейсів	–	16	–
Загальний пробіг, км (орієнтовно)	–	–	–
Відносна економія, %	–	**26,5 %**	–

Оптимізація маршрутів дозволяє скоротити транспортні витрати на **26,5 %**, забезпечити раціональне використання автотранспорту та зменшити пробіг.

Рекомендований транспортний засіб для удосконаленої схеми доставки

Для перевезення сірчаної кислоти у межах удосконаленої транспортно-технологічної схеми запропоновано використання спеціалізованого автомобіля MAN TGS 26.440 ADR. Автомобіль має підвищену вантажопідйомність, відповідає вимогам ADR та забезпечує безпечне перевезення корозійних речовин класу 8.



Альтернативний транспортний засіб базової схеми

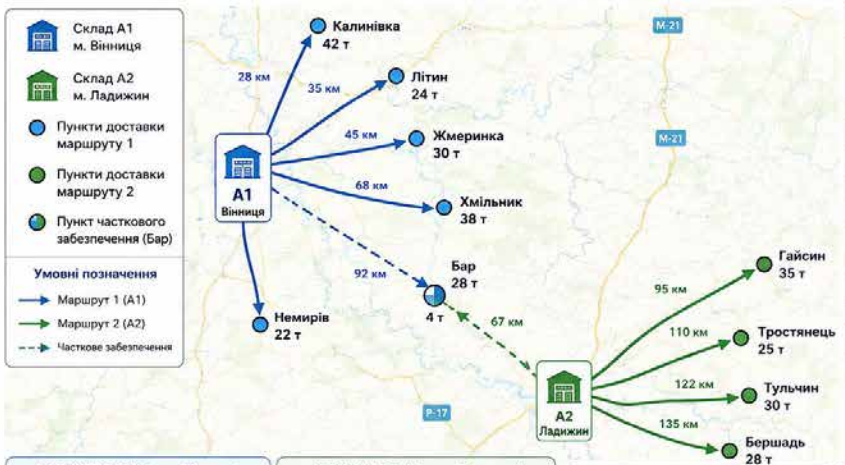
У базовій схемі доставки використовувався автомобіль DAF XF ADR, який має меншу вантажопідйомність та потребує більшої кількості рейсів для перевезення аналогічного обсягу сірчаної кислоти.



Порівняльний аналіз показав, що використання MAN TGS 26.440 дозволяє:

- скоротити кількість рейсів;
- зменшити загальний пробіг;
- знизити витрати палива;
- підвищити коефіцієнт використання вантажопідйомності;
- забезпечити вищий рівень безпеки перевезення небезпечного вантажу.

3.3 ПРОЄКТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ МАРШРУТІВ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ADR НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ



Розподіл перевезень між складами та пунктами споживання

Пункт споживання	Потреба, т/міс	Обсяг перевезення, т/міс		Відстань від складу, км
		А1 Вінниця	А2 Ладижин	
Калинівка	42	42	–	28
Літин	24	24	–	35
Жмеринка	30	30	–	45
Хмільник	38	38	–	68
Бар	28	4	24	92 / 67*
Немирів	22	22	–	48
Гайсин	35	–	35	95
Тростянець	25	–	25	110
Тульчин	30	–	30	122
Бершадь	28	–	28	135
Разом	**302**	**160**	**142**	–

* Для пункту Бар: 4 т зі складу Вінниця (92 км), 24 т зі складу Ладижин (67 км)

МАРШРУТ 1 (А1 – м. Вінниця)

Пункти доставки: Калинівка, Літин, Жмеринка, Хмільник, Бар (частково), Немирів

Загальний обсяг: 160 т/міс

Автомобіль: DAF XF ADR (18 т)

Кількість рейсів: 9 рейсів/міс

Орієнтовний пробіг за рейс: ~316 км

Послідовність руху:
Вінниця – Калинівка – Літин – Жмеринка – Хмільник – Бар – Немирів – Вінниця



МАРШРУТ 2 (А2 – м. Ладижин)

Пункти доставки: Гайсин, Тростянець, Тульчин, Бершадь, Бар (частково)

Загальний обсяг: 160 т/міс

Автомобіль: MAN TGS 26.440 ADR (20 т)

Кількість рейсів: 8 рейсів/міс

Орієнтовний пробіг за рейс: ~529 км

Послідовність руху:
Ладижин – Тростянець – Гайсин – Тульчин – Бершадь – Бар – Ладижин



Вимоги ADR при проєктуванні маршрутів

- Уникнення руху через центральні частини населених пунктів
- Відсутність тунелів категорій ADR, непридатних для перевезення
- Наявність місць для безпечної стоянки та аварійної зупинки
- Доступність підрозділів ДСНС та медичних служб
- Контроль технічного стану ТЗ, наявність аварійного комплекту
- Використання GPS-моніторингу та дотримання маршруту

Порівняння базової та оптимізованої схеми

Показник	Базова схема (1 склад)	Оптимізована схема (2 склади)	Економія
Загальні транспортні витрати, грн/міс	969 360	712 488	256 872
Кількість рейсів, од./міс	17	17	–
Загальний пробіг, км/міс (орієнтовно)	6150	5260	890
Витрати палива, л/міс (орієнтовно)	1900,8	1631,9	268,9
Відносна економія, %	–	26,5 %	–
Рівень відповідності ADR	достатній	вищий	покращено

Запропоновані маршрути забезпечують повне задоволення потреб споживачів, скорочення транспортних витрат на 26,5 %, підвищення безпеки перевезень та ефективне використання рухомого складу.