

«Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(назва факультету)
Автотранспорту та логістики
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра

бакалавр

(освітній рівень)

на тему: *Удосконалення організації міжнародного автомобільного
перевезення бензину автоцистернами з нафтопереробного комплексу
ORLEN (м. Плоцьк, Польща) до нафтобази поблизу м. Тернопіль*

Виконав: студент 4 курсу, групи МН-41
спеціальності 275 «Транспортні технології»
(шифр і назва спеціальності)

Студент	_____	<u>Войтович Н.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<u>Гевко Б.Р.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<u>Цьонь О.П.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<u>Комар Р.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Зав. каф.	_____	<u>Цьонь О.П.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2026

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра Автотранспорту та логістики

Освітній рівень бакалавр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Цьонь О.П.

«__»

2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Войтовича Назара Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення організації міжнародного автомобільного перевезення бензину автоцистернами з нафтопереробного комплексу ORLEN (м. Плоцьк, Польща) до нафтобази поблизу м. Тернопіль

керівник проекту (роботи) _____

Гевко Богдан Романович, к.е.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «21» січня 2026 року № 4/9-32

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 27 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Вид палива; маршрут перевезення палива; обсяги перевезень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ 1. Аналіз об'єкту дослідження; 2. Заходи із удосконалення транспортного процесу

3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Матеріали графічної частини – 10 слайдів

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1 Аналіз вихідних даних для проектування	10
1.2 Транспортна характеристика палива «бензин»	12
1.3 Нормативно-правові засади автомобільного перевезення бензину автоцистернами у міжнародному сполученні Польща–Україна	15
1.4 Характеристика пунктів завантаження та розвантаження як елементів транспортного процесу	19
1.5 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра	23
2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ	
2.1 Аналіз технічних засобів перевезення: автоцистерна та її критичні елементи безпеки	25
2.2 Розрахунок основних технічних характеристик автопоїзда	33
2.3 Вибір тягача для роботи з цистерною Kässbohrer K.STB E 39 / 5 (11/24)	37
2.4 Розрахунок максимально допустимого об’єму наливу бензину для зв’язки Mercedes-Benz Actros L 1845 LS 4×2 + Kässbohrer K.STB E 39/5–11/24 з перевіркою осьових/групових навантажень	42
2.5 Розроблення маршруту перевезення бензину автоцистерною ORLEN (м. Плоцьк, Польща) – нафтобаза поблизу м. Тернопіль (Україна) та орієнтовний графік рейсу	47
2.5.1 Вихідні дані та постановка задачі маршрутизації	47

2.5.2	Критерії вибору маршруту для перевезення бензину (ADR, клас 3)	48
2.5.3	Опис пунктів завантаження та розвантаження у складі маршруту	49
2.5.3.1	Пункт завантаження: ORLEN, м. Плоцьк (Польща)	49
2.5.3.2	Пункт розвантаження: нафтобаза поблизу м. Тернопіль (Україна)	49
2.5.4	Вибір основного транспортного коридору та альтернатив	50
2.5.4.1	Основний маршрут: Рюск – (коридор на Люблін) – Hrebenne – Рава-Руська – Львівський обхід – Тернопіль	50
2.5.4.2	Альтернативні маршрути на випадок перевантаження пункту пропуску	50
2.5.5	Планові зупинки, контрольні точки та оцінка ризиків на маршруті	51
2.5.6	Орієнтовний графік рейсу	52
2.5.6.1	Розрахункові припущення для часу руху	52
2.5.7	Підсумок та рекомендації для практичної диспетчеризації	54
3	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	
3.1	Безпека життєдіяльності при перевезенні бензину автомобільним транспортом	56
3.2	Охорона праці при завантаженні палива в цистерну	60
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	66
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню транспортного процесу міжнародного автомобільного перевезення бензину автоцистернами у сполученні Польща–Україна на прикладі доставки з комплексу ORLEN (м. Плоцьк) до нафтобази поблизу м. Тернопіль. Актуальність роботи зумовлена високою пожежо- та вибухонебезпекою бензину як вантажу класу 3 за ADR, необхідністю дотримання вимог безпеки, а також обмеженнями щодо повної маси автопоїзда і осьових навантажень, які безпосередньо впливають на допустимий обсяг наливу та економічність перевезення.

У першому розділі виконано аналіз вихідних даних для проєктування, наведено транспортну характеристику бензину та розглянуто нормативно-правові засади перевезення бензину автоцистернами у міжнародному сполученні Польща–Україна. Охарактеризовано пункти завантаження і розвантаження як елементи транспортного процесу та визначено їх вплив на організацію рейсу, тривалість операцій і документальний супровід. За результатами розділу сформульовано висновки й постановку завдання для виконання розрахунків і розроблення організаційно-технологічних рішень.

Другий розділ містить інженерні заходи з удосконалення транспортного процесу. Проаналізовано технічні засоби перевезення, зокрема автоцистерну та критичні елементи її безпеки, що визначають ризики витoku, розливу та займання. Виконано розрахунок основних технічних характеристик автопоїзда та обґрунтовано вибір тягача для роботи з цистерною Kässbohrer K.STB E 39 / 5 (11/24) із прийняттям зв'язки Mercedes-Benz Actros L 1845 LS 4×2 + Kässbohrer K.STB E 39/5–11/24 як базової. Проведено розрахунок максимально допустимого об'єму наливу бензину з перевіркою осьових і групових навантажень, що дозволяє встановити реальний експлуатаційний режим завантаження без порушення нормативів. Розроблено маршрут перевезення ORLEN (Плоцьк) – нафтобаза поблизу Тернополя, обґрунтовано основний транспортний коридор через пункт пропуску Hrebenne – Рава-Руська та визначено альтернативи на

випадок ускладнення пропуску. Сформовано контрольні точки, планові зупинки, виконано оцінку ризиків на маршруті та складено орієнтовний графік рейсу з рекомендаціями для практичної диспетчеризації.

У третьому розділі розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці при перевезенні бензину і під час завантаження палива в цистерну. Узагальнено основні небезпеки, пов'язані з утворенням пароповітряних сумішей, статичною електрикою, витоками та людським фактором, і визначено організаційні та технічні заходи запобігання аваріям і травматизму.

За результатами роботи сформовано комплексне рішення, що поєднує аналіз властивостей вантажу та нормативних вимог, інженерні розрахунки автопоїзда і режимів наливу, розроблення маршруту і графіка рейсу та заходи з безпеки й охорони праці для міжнародного перевезення бензину автоцистерною.

Ключові слова: бензин, автоцистерна, ADR, клас 3, автопоїзд, осьові навантаження, налив, маршрутизація, диспетчеризація, охорона праці.

ВСТУП

Стабільне та безпечне забезпечення України моторними паливами є одним із ключових чинників функціонування економіки, транспорту та критичної інфраструктури. За умов обмежених внутрішніх можливостей виробництва особливого значення набувають імпортні поставки бензину, які потребують чітко організованої логістики від нафтопереробного підприємства або паливного терміналу за межами України до регіональних нафтобаз і далі до кінцевих споживачів. При цьому бензин належить до легкозаймистих рідин (ADR, клас 3), що обумовлює підвищені вимоги до транспортного засобу, персоналу, документального оформлення, вибору маршруту, режимів руху та аварійної готовності. Будь-які порушення технології наливу, транспортування чи зливу можуть призвести до розливів, пожеж, вибухонебезпечних ситуацій, значних матеріальних збитків та ризиків для населення і довкілля, особливо під час проходження населених пунктів, складних транспортних вузлів та ділянок з інтенсивним рухом.

Актуальність теми зумовлена необхідністю поєднання двох взаємопов'язаних цілей: забезпечення безперебійних поставок бензину та мінімізація ризиків, притаманних перевезенню небезпечних вантажів. Організація міжнародного автомобільного перевезення бензину автоцистернами ускладнюється додатковими факторами, серед яких прикордонні процедури, вимоги до режимів руху та стоянок, неоднорідність дорожніх умов і обмежень на маршруті, а також потреба у стандартизованому реагуванні на потенційні аварійні події. Тому розроблення прикладних організаційно-технічних рішень для такого перевезення є практично важливим завданням і має безпосередню цінність для підприємств-перевізників та операторів паливної інфраструктури.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення організації міжнародного автомобільного перевезення бензину (небезпечний вантаж ADR, клас 3) автоцистернами з нафтопереробного підприємства/терміналу за межами України до нафтобази, розташованої в місті Тернопіль або найближчій до нього, шляхом

обґрунтування раціонального маршруту, режимів руху, порядку контролю та комплексу заходів аварійної готовності.

Об'єктом дослідження є транспортний процес міжнародного перевезення бензину автоцистернами за схемою «пункт завантаження за межами України – міжнародний рейс – нафтобаза регіону Тернопіль». Предметом дослідження є організаційні та технічні рішення, що визначають безпечність і ефективність перевезення бензину, зокрема вимоги до транспортного засобу й екіпажу, технологія виконання операцій наливу/транспортування/зливу, маршрутизація, режимні обмеження руху та система реагування на аварійні ситуації.

Для досягнення мети у роботі передбачається виконати комплекс взаємопов'язаних завдань: надати транспортну характеристику бензину як наливного небезпечного вантажу і сформувати паспорт вантажу для цілей планування перевезення; визначити вимоги до автоцистерни, її оснащення та підготовки персоналу відповідно до правил перевезення небезпечних вантажів; розробити маршрут міжнародного перевезення до нафтобази, виділити потенційно ризикові ділянки та обґрунтувати вибір маршруту за критеріями безпеки та ефективності; встановити рекомендовані режими руху, умови зупинок і контрольних оглядів, а також сформувати орієнтовний графік рейсу; розробити заходи аварійної готовності для типових сценаріїв інцидентів із бензином (витік, розлив, займання, ДТП без витоку) з визначенням алгоритмів дій персоналу та необхідного оснащення.

Методологічну основу роботи становлять нормативно-правовий аналіз вимог до перевезення небезпечних вантажів, транспортно-логістичне обґрунтування маршруту та режимів руху, аналітичне оцінювання ризиків на маршруті, а також розроблення організаційних регламентів і технологічних карт для критичних операцій та аварійних сценаріїв. Практичне значення результатів полягає у формуванні цілісного пакета рішень для реального транспортного процесу: узгодженого маршруту міжнародного перевезення, регламенту режимів руху і стоянок, паспорта вантажу та алгоритмів аварійної готовності.

1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз вихідних даних для проектування

Як пункт відвантаження приймається нафтопереробний комплекс/виробнича база групи ORLEN у м. Плоцьк (Польща), який у відкритих офіційних даних компанії ідентифікується адресою ul. Chemików 7, 09-411 Płock. Пунктом призначення приймається нафтобаза в Тернопільській області, максимально наближена до м. Тернопіль, з відкритих даних підприємства ПП «Укр-Петроль»: Тернопільський район, с. Березовиця-Острів, вул. Промислова, 5 (умовно в роботі - «нафтобаза м. Тернопіль» як кінцева точка логістичного ланцюга). Вантажем є автомобільний бензин як легкозаймиста рідина (клас 3 за ADR), перевезення здійснюється автоцистерною (тягач + напівпричіп-цистерна) з відповідним ADR-оснащенням, маркуванням і допуском, а організація перевезення виконується з дотриманням вимог ADR та Закону України «Про перевезення небезпечних вантажів».

Мета роботи полягає у розробленні та обґрунтуванні організаційно-технічних рішень, які забезпечують безпечне, нормативно коректне та економічно доцільне міжнародне автомобільне перевезення бензину автоцистернами з Плоцька до нафтобази поблизу Тернополя, із визначенням раціонального маршруту, режимів руху, порядку контролю та аварійної готовності.

Об'єктом дослідження є транспортний процес міжнародного автомобільного перевезення бензину автоцистернами (ланцюг «завантаження на виробничій/складській базі → міжнародний рейс → розвантаження на нафтобазі»). Предметом дослідження є методи й засоби організації такого перевезення, зокрема вибір маршруту і часових «вікон», регламентація режимів руху, технологія зупинок і контролю, вимоги до транспортного засобу та екіпажу, а також система аварійної готовності для вантажів класу 3.

Завдання роботи формуються так, щоб їх можна було прямо покласти в структуру пояснювальної записки. Передусім описується вантаж (бензин) як небезпечний вантаж класу 3 та наводиться нормативна рамка перевезення на основі ADR і національного законодавства України. Далі визначаються вимоги до автоцистерни і екіпажу для виконання міжнародного рейсу, включно з принциповими вимогами до обладнання, маркування, перевізних документів та підготовки персоналу. Після цього розробляється та обґрунтовується маршрут «Плоцьк → (транзит територією Польщі) → пункт перетину кордону → (транзит територією України) → Березовиця-Острів (нафтобаза)», причому в роботі доцільно задати щонайменше дві альтернативи (наприклад, через різні прикордонні переходи або з обходом крупних міських вузлів) і порівняти їх за показниками часу, витрат та ризику. На основі обраного маршруту встановлюються режими руху (обмеження швидкості на типових ділянках, правила проходження населених пунктів і складних розв'язок, умови та місця зупинок, погодні обмеження), а також розробляється орієнтовний графік рейсу з урахуванням контрольних оглядів і технологічних операцій. Окремим блоком формується пакет аварійної готовності для бензину як вантажу класу 3: типові сценарії (ДТП без витоку, витік через арматуру, розлив, займання), алгоритм дій водія та диспетчера, порядок виклику служб, первинні заходи локалізації та мінімізації наслідків, перелік необхідного оснащення і чек-листи контролю.

Методи та підхід до дослідження доцільно задати як поєднання нормативного аналізу (вимоги ADR та національних актів), транспортно-логістичного моделювання маршруту (порівняння альтернатив за критеріями «час–вартість–ризик»), розрахунково-аналітичних оцінок режимів руху (обґрунтування обмежень швидкості, умов зупинок і контролю), а також ризик-орієнтованого підходу до аварійної готовності (сценарії, профілактика, регламенти реагування). Нормативну основу перевезення в дипломі логічно підкріпити посиланням на чинний ADR (актуальна редакція публікується UNECE) та закон України про небезпечні вантажі.

Очікувані результати роботи мають виглядати як практичний комплект для перевізника. На виході проєкту отримується обґрунтований маршрут міжнародного перевезення бензину від Плоцька до нафтобази поблизу Тернополя; регламент режимів руху й зупинок; орієнтовний графік рейсу; перелік вимог до автоцистерни та екіпажу; узгоджений із ризиками маршруту план аварійної готовності з алгоритмами дій і контрольними листами. Практичне значення полягає у зменшенні імовірності інцидентів (витоки, розливи, займання), підвищенні дисципліни виконання вимог ADR, скороченні невикористаних простоїв (у т.ч. через неправильну організацію зупинок/контролю) та у забезпеченні прозорості й відтворюваної процедури планування рейсів для перевезення бензину автоцистернами.

1.2 Транспортна характеристика палива «бензин»

Бензин є світлою нафтопродуктовою сумішшю легких вуглеводнів із високою леткістю та дуже низькою температурою спалаху, тому при розливі або під час наливу/зливу швидко утворює пароповітряні суміші, здатні до займання від найменших джерел запалювання (іскра, статична електрика, нагріті поверхні). За фізико-хімічними властивостями бензин є рідиною, що плаває на воді та практично не змішується з нею, а це збільшує площу розтікання та ускладнює локалізацію розливів, особливо поблизу ливневої каналізації та водойм.

Для транспортних умов важливими є показники, які прямо впливають на пожежо- та вибухонебезпеку, а також на вимоги до герметичності і вентиляції: типова відносна густина порядку 0,72–0,735 при 15 °С, тиск пари близько 53,33 кПа при 20 °С, температура спалаху нижче –30 °С, межі вибуховості парів у повітрі орієнтовно 1,1–1,3 % (нижня) та 6,0–7,6 % (верхня), температура самозаймання в діапазоні приблизно 280–456 °С, діапазон кипіння близько 30–228 °С, низька в'язкість (порядку 0,5–0,75 мм²/с при 40 °С). У практиці це означає, що навіть при помірній температурі доквілля випаровування

інтенсивне, концентрації парів у замкнених/слабовентильованих зонах можуть швидко стати небезпечними, а отже контроль герметичності, справності дихальних клапанів/арматури (для цистерн) і дотримання протиіскрових заходів є критичними.

Як небезпечний вантаж для дорожнього перевезення бензин класифікується як UN 1203 GASOLINE, клас безпеки 3 (легкозаймисті рідини), група пакування II, ідентифікаційний номер безпеки 33; для ADR також застосовуються маркування «3» і вимоги до оформлення транспортного документа з записом у форматі «UN1203, GASOLINE, 3, II» (у т.ч. з урахуванням обмежень тунелів D/E, якщо це релевантно маршруту).

З точки зору сумісності та запобігання аваріям бензин не допускає контакту з сильними окисниками; при організації перевезення також закладають обмеження щодо виконання робіт поблизу відкритого вогню, зварювання, абразивного різання, куріння. Типовими транспортними ризиками є витік через арматуру/з'єднання, розлив під час наливу/зливу, накопичення статичної електрики, порушення режиму руху з різкими маневрами, а також ДТП із подальшим загорянням. Тому для автоцистерн ключовими є протиаварійна підготовка екіпажу, наявність первинних засобів реагування (вогнегасники, сорбент/абсорбуючі матеріали, засоби огороження), регламент оглядів і підтяжки з'єднань, а також організація зупинок тільки у безпечних місцях.

Паспорт вантажу (приклад для дипломного проєкту): бензин автомобільний (налив)

Найменування вантажу: бензин автомобільний (gasoline, petrol), наливом.

Категорія вантажу: небезпечний вантаж, легкозаймиста рідина.

UN-номер: UN 1203.

Належне відвантажувальне найменування (ADR): GASOLINE.

Клас безпеки (ADR): 3.

Група пакування (ADR): II.

Ідентифікаційний номер безпеки (Kemler): 33.

Код обмеження проїзду тунелями (для ADR-маршрутів, якщо застосовно):
D/E.

Транспортна категорія (ADR): 2.

Маркування/знаки небезпеки: знак небезпеки «3» (легкозаймиста рідина);
оранжеві таблички на транспортній одиниці згідно ADR для цистерн.

Агрегатний стан: рідина, летка, легкозаймиста.

Зовнішній вигляд і запах: безбарвна/забарвлена летка рідина з характерним
запахом; плаває на воді.

Густина (орієнтовно): 0,72–0,735 при 15 °С.

Температура спалаху: < –30 °С.

Тиск пари: близько 53,33 кПа при 20 °С.

Межі вибуховості парів у повітрі: нижня 1,1–1,3 %, верхня 6,0–7,6 %.

Температура самозаймання: орієнтовно 280–456 °С.

Розчинність у воді: не змішується (immiscible).

Рекомендований спосіб перевезення: автомобільна цистерна/напівпричіп-
цистерна, допущена до перевезення небезпечних вантажів (ADR) для
легкозаймистих рідин; перевезення наливом із забезпеченням герметичності,
справності запірної арматури та заземлення під час наливу/зливу.

Основні вимоги до умов перевезення: виключення джерел запалювання і
статичних розрядів; контроль герметичності люків, клапанів і з'єднань;
дотримання регламентованих зупинок у безпечних місцях; заборона розміщення
поблизу сильних окисників; недопущення потрапляння в ливневу каналізацію та
водойми у разі розливу; постійний нагляд за транспортною одиницею на
стоянках.

Запис у транспортному документі (шаблон для пояснювальної записки):
«UN1203, GASOLINE, 3, II, (D/E)» із зазначенням кількості/об'єму (л або кг) та
типу перевезення «цистерна».

1.3 Нормативно-правові засади автомобільного перевезення бензину автоцистернами у міжнародному сполученні Польща–Україна

Організація міжнародного автомобільного перевезення бензину автоцистернами на маршруті «Польща → Україна» ґрунтується на багаторівневій системі правового регулювання, у межах якої поєднуються міжнародні стандарти безпеки перевезень небезпечних вантажів, норми права Європейського Союзу (для ділянок маршруту на території держав-членів ЄС) та національне законодавство Польщі й України. Такий підхід є принциповим для бензину як легкозаймистої рідини (ADR, клас 3), оскільки ризики пожежі й вибуху, а також масштаб можливих наслідків у разі ДТП або розливу потребують уніфікованих технічних вимог до транспортної одиниці та чітких процедур допуску, контролю, документування і реагування.

Визначальним міжнародним документом для дорожнього перевезення небезпечних вантажів є Європейська угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ADR), яка встановлює комплекс вимог до класифікації небезпечних речовин, типів перевезень (у тому числі перевезення в цистернах), маркування, документального супроводу, оснащення транспортних одиниць, підготовки водіїв, правил виконання вантажних операцій і дій у разі аварійних подій. Практична важливість ADR полягає в тому, що вона виступає єдиним технічним «каркасом» для всього міжнародного маршруту, а чинність відповідних редакцій угоди визначається датами застосування; зокрема, ADR 2025 є застосовною з 1 січня 2025 року.

Паралельно з ADR у міжнародних автомобільних перевезеннях вантажів діє Конвенція CMR (Конвенція про договір міжнародного автомобільного перевезення вантажів), яка регулює правовий режим договору перевезення, використання накладної CMR та розподіл відповідальності сторін у разі втрати, пошкодження або затримки доставки вантажу. Для перевезення бензину це має прикладне значення, оскільки юридичне оформлення вантажопотоку (від

відправника до одержувача через кордон) повинно бути узгоджене з режимом небезпечного вантажу та митно-логістичними процедурами.

На території Європейського Союзу ADR «вбудована» у правопорядок ЄС через Директиву 2008/68/ЄС щодо внутрішнього перевезення небезпечних вантажів. Її сутність полягає у встановленні єдиних правил безпеки для перевезення небезпечних вантажів у межах і між державами-членами, з опорою на міжнародні режими ADR (для автодоріг), RID та ADN. Таким чином, у польській частині маршруту вимоги ADR застосовуються не лише як міжнародний стандарт, але і як елемент права ЄС, обов'язковий у національному регулюванні держави-члена.

Окремим правовим блоком, який істотно впливає на організацію рейсу бензовоза, є соціальне законодавство ЄС щодо режимів праці та відпочинку водіїв і тахографічного контролю. Регламент (ЄС) № 561/2006 встановлює правила щодо часу керування, перерв і відпочинку, а Регламент (ЄС) № 165/2014 визначає вимоги до встановлення, використання, перевірки та контролю тахографів, що підтверджують дотримання режимів праці. Для перевезення бензину це є не формальною, а ризик-орієнтованою вимогою: втома водія є одним із факторів ДТП, а наслідки аварії з цистерною бензину потенційно мають підвищений масштаб.

У частині доступу до професії та ринку міжнародних вантажних перевезень у межах ЄС застосовуються Регламенти (ЄС) № 1071/2009 (умови доступу до професії автомобільного перевізника) та № 1072/2009 (правила доступу до ринку міжнародних вантажних автоперевезень). У дипломній роботі ці акти доцільно враховувати як правове тло для легітимності діяльності перевізника на європейській ділянці маршруту та для узгодження статусу перевізника з виконанням міжнародного рейсу.

Специфічною для взаємодії ЄС та України є Угода між ЄС та Україною про вантажні автомобільні перевезення (2022), метою якої є тимчасове сприяння перевезенням між і через території сторін в умовах порушення логістики внаслідок війни. Для практичного планування рейсу це означає, що дозвільно-

організаційний режим міжнародного перевезення може визначатися не лише традиційними двосторонніми квотами, а й спеціальним режимом, закріпленим у вказаній угоді та рішеннях ЄС щодо її застосування.

Оскільки міжнародний рейс охоплює територію України, у роботі доречно відзначити й існування АЕТР (Європейської угоди щодо роботи екіпажів транспортних засобів, що виконують міжнародні автомобільні перевезення), яка за змістом спрямована на запобігання надмірній тривалості керування та встановлює мінімальні стандарти режимів праці/відпочинку у міжнародних перевезеннях.

В Україні базовим законом, що визначає правові та організаційні засади діяльності у сфері перевезення небезпечних вантажів, є Закон України «Про перевезення небезпечних вантажів» (№ 1644-III). Він формує рамку державного регулювання, встановлює загальні обов'язки суб'єктів перевезення та закріплює необхідність дотримання спеціальних вимог безпеки.

Прикладним «процедурним» ядром саме для автомобільних перевезень небезпечних вантажів виступає наказ МВС України № 656 від 04.08.2018, яким затверджено нормативно-правові акти з питань дорожнього перевезення небезпечних вантажів, зокрема порядок погодження та оформлення маршруту руху в передбачених випадках. Саме цей акт у національній площині деталізує механізми організації перевезення, вимоги до документального супроводу та порядок взаємодії з органами контролю на маршруті.

Загальні правила дорожнього режиму визначаються постановою Кабінету Міністрів України № 1306 «Про Правила дорожнього руху». Для бензовоза ці норми є базовими, оскільки спеціальні вимоги до перевезення небезпечних вантажів реалізуються у межах загального дорожнього регулювання: швидкісні режими, правила маневрування, виконання вимог знаків, безпека зупинок та стоянок, пріоритети і обмеження руху.

На території Польщі ключовим національним актом є Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych (Закон про перевезення небезпечних вантажів), який визначає правила здійснення діяльності у сфері

перевезень небезпечних вантажів і систему державного нагляду. Важливою з практичної точки зору є наявність актуального консолідованого тексту закону (tekst jednolity), оприлюдненого в Dziennik Ustaw 2024 poz. 643, що дозволяє коректно посилатися на чинну редакцію при підготовці дипломної роботи.

З огляду на правову конструкцію ADR та національні механізми її реалізації, найсуттєвіші вимоги для перевезення бензину автомобільним транспортом концентруються навколо трьох взаємопов'язаних блоків: придатності транспортної одиниці (цистерни) та її допуску до перевезення, компетентності водія і персоналу, а також безперервної документально-маркувальної дисципліни на маршруті разом з аварійною готовністю.

У технічній площині визначальною є вимога використання транспортної одиниці, придатної для перевезення легкозаймистих рідин у цистернах відповідно до ADR. Це означає, що конструкція цистерни, арматура, запобіжні пристрої, елементи маркування та інше спеціальне обладнання мають відповідати ADR, а сам транспортний засіб допускається до перевезення за встановленими процедурами контролю. В українському праві механізми організації дорожнього перевезення небезпечних вантажів і пов'язані з ними управлінські процедури систематизовано у нормативних актах, затверджених наказом МВС № 656.

У кадровій площині перевезення бензину зумовлює обов'язок забезпечення спеціальної підготовки водіїв та членів екіпажу відповідно до ADR, а також дотримання режимів праці/відпочинку, підтверджених тахографами на ділянках маршруту, де діють правила ЄС. Сукупно ці норми формують правову гарантію того, що керування транспортною одиницею з високими потенційними наслідками ДТП здійснюється підготовленим персоналом без перевантаження робочим часом.

У документально-організаційній площині для міжнародного рейсу бензовоза правомірність перевезення підтверджується належно оформленими перевізними документами за ADR, а також документами, що оформлюють договірне перевезення у міжнародному сполученні відповідно до CMR.

Водночас маркування транспортної одиниці, наявність і правильність знаків небезпеки, а також дотримання правил зупинок/стоянок набувають функції не лише юридичної відповідності, але й безпеки реагування: у разі аварійної ситуації саме ці елементи дозволяють компетентним службам коректно ідентифікувати небезпеку та застосувати адекватні заходи.

Особливістю розглянутого маршруту є також вплив спеціального режиму перевезень між ЄС та Україною, закріпленого в Угоді 2022 року про вантажні автомобільні перевезення. У дипломному проєкті цей аспект доцільно розглядати як зовнішню інституційну умову організації рейсів, що визначає доступ до перевезень і організаційні рамки виконання міжнародних перевезень у конкретний період.

Нормативно-правове забезпечення перевезення бензину автоцистернами у сполученні Польща–Україна вимагає одночасного дотримання технічних норм ADR як базового стандарту безпеки, виконання права ЄС на ділянках маршруту в межах Союзу (зокрема в частині інтеграції ADR у внутрішні перевезення, режимів праці/відпочинку та контролю тахографами), а також виконання національних процедур України і Польщі щодо організації, контролю та відповідальності при перевезенні небезпечних вантажів.

1.4 Характеристика пунктів завантаження та розвантаження як елементів транспортного процесу

Пункти завантаження та розвантаження у процесі перевезення бензину автоцистернами виконують роль критичних вузлів транспортного ланцюга, оскільки саме на цих етапах відбуваються технологічні операції, що формують найбільшу частку виробничих ризиків. На відміну від ділянки руху маршрутом, де ризики переважно пов'язані з дорожніми умовами та поведінкою транспортного потоку, у пунктах наливу/зливу домінують ризики, зумовлені фізико-хімічними властивостями бензину (висока леткість, пожежо- та вибухонебезпека пароповітряних сумішей), необхідністю виконання операцій з

відкритими технологічними комунікаціями, а також впливом людського фактора і організаційної дисципліни. У зв'язку з цим характеристика пунктів завантаження та розвантаження повинна охоплювати не лише опис технологічних операцій, але й аналіз процедур допуску, контролю безпеки, документального оформлення і типових організаційних обмежень, які визначають пропускну спроможність і стабільність логістики.

На пункті завантаження (нафтопереробне підприємство або паливний термінал) транспортний процес починається з прибуття автоцистерни до контрольо-пропускного пункту, де здійснюються ідентифікація транспортної одиниці та водія, перевірка права на виконання операцій і відповідності графіку відвантаження. На цьому етапі підприємство, як правило, застосовує внутрішні регламенти доступу, що передбачають попередню реєстрацію рейсу, перевірку технічної справності та допуску транспортного засобу до перевезення небезпечних вантажів, а також контроль наявності супровідних документів. Після проходження КПП автоцистерна прямує до зони наливу, де виконується передопераційний огляд: візуальна перевірка цілісності цистерни, люків, арматури, зливних пристроїв, стану шин, наявності та доступності аварійного оснащення. Цей огляд має подвійне значення: підтвердження готовності транспортного засобу до наливу та раннє виявлення потенційних відхилень, які у разі ігнорування можуть трансформуватися у витік під час наливу або на маршруті.

Ключовою технологічною операцією, що передує наливу бензину, є заземлення (вирівнювання потенціалів) автоцистерни та, у разі застосування відповідних систем, підтвердження працездатності блокувальних пристроїв, які не дозволяють почати налив без забезпечення антистатичного захисту. Заземлення є принциповим елементом безпеки через небезпеку накопичення статичної електрики під час перекачування легкозаймистих рідин, що може спричинити іскровий розряд і займання парів. Далі виконуються операції підключення наливних рукавів (або наливних стояків), перевірка герметичності з'єднань і запуск наливу у встановленому режимі витрати. Налив бензину в

сучасній практиці супроводжується комерційним обліком (лічильники, масові витратоміри, зважування), контролем рівня та запобіганням переповненню, а також, за наявності технології рекуперації парів, - підключенням контурів відведення парів (що знижує емісії та ризики утворення вибухонебезпечних концентрацій у зоні наливу). Після завершення наливу виконується від'єднання комунікацій, контроль відсутності підтікання, приведення арматури у транспортне положення, пломбування (за потреби - окремо для секцій цистерни) та оформлення супровідних документів. Документальна частина включає відображення найменування вантажу, ідентифікаційних ознак небезпечної речовини, кількості, а також відміток, необхідних для простежуваності партії й контролю відповідності перевезення вимогам безпеки.

На пункті розвантаження (нафтобаза або склад ПММ) транспортний процес містить процедури допуску на територію, технологічні операції зливу і завершальне документальне оформлення. Допуск на нафтобазу зазвичай включає реєстрацію прибуття, перевірку документів та узгодження місця зливу з урахуванням типу продукту, призначених резервуарів і поточного режиму роботи підприємства. На цьому етапі важливими є вимоги внутрішніх регламентів нафтобази щодо обов'язкового інструктажу водія, правил руху територією, швидкісних обмежень, використання засобів індивідуального захисту, а також дотримання порядку виконання пожежобезпечних робіт.

Безпосередньо перед зливом здійснюється постановка автоцистерни на визначене місце із забезпеченням протиаварійних умов: наявність вільного доступу аварійних служб, використання противідкотних упорів, встановлення попереджувальних знаків (за потреби), перевірка готовності приймального резервуара та справності зливної інфраструктури. Як і при наливі, заземлення автоцистерни та зливного обладнання є базовою умовою безпеки. Далі проводиться підключення зливних рукавів до приймального колектора, перевірка стану ущільнень, правильності напрямку зливу та сумісності продукту з призначеним резервуаром. Злив бензину може виконуватися самопливом або з використанням насосного обладнання (залежно від технології нафтобази та типу

цистерни), при цьому контроль герметичності з'єднань і відсутності підтікання здійснюється протягом усього процесу. Важливою є також організація контролю “до” і “після” зливу: перевірка показників рівня у резервуарі, комерційного обліку, а також контроль повного спорожнення секцій цистерни в межах допустимих технологічних процедур. Після завершення зливу здійснюється від'єднання рукавів, закриття арматури, контроль чистоти майданчика і відсутності слідів розливу, після чого оформлюються приймально-здавальні документи та дозвіл на виїзд транспортної одиниці з території.

Окрему увагу у характеристиці пунктів завантаження та розвантаження доцільно приділяти діям персоналу при підозрі на витік. Ознаками, що потребують негайної реакції, є запах пального, візуально помітні підтікання, сліди розливу на покритті, незвичні показники тиску/витрати, а також будь-які ознаки несправності арматури. У таких випадках технологічний процес повинен бути негайно зупинений, зона - ізольована, джерела запалювання - виключені, а подальші дії виконуються відповідно до аварійних процедур підприємства із повідомленням відповідальних осіб. Для магістерської роботи важливо підкреслити, що ефективність реагування визначається не лише наявністю засобів локалізації (сорбенти, перекриття ливневої каналізації, первинні засоби пожежогасіння), але й організаційною готовністю: чітким розподілом ролей, наявністю стандартних інструкцій та відпрацьованими комунікаціями між водієм, оператором наливу/зливу і службами безпеки.

Організаційні ризики у пунктах наливу/зливу формуються насамперед пропускною спроможністю майданчиків і нерівномірністю потоку транспортних засобів. Черги на в'їзді або в зоні наливу підвищують імовірність порушень дисципліни, “прискорення” технологічних операцій і, як наслідок, помилок при підключенні рукавів, пломбуванні чи перевірці арматури. Обмежені майданчики маневрування збільшують ризики контакту автоцистерни з перешкодами, що критично для безпеки арматури та зливних вузлів. Суттєвим фактором є людський фактор, який проявляється у формальному ставленні до передопераційних перевірок, недотриманні регламентів заземлення, поспішному

виконанні операцій або комунікаційних помилок щодо резервуара призначення. Додатковим обмеженням є відмінності внутрішніх регламентів підприємств: різні вимоги до порядку допуску, оформлення документів, використання ЗІЗ та алгоритмів аварійного реагування можуть ускладнювати стандартизацію процесу, особливо в міжнародній логістиці, де водій працює з різними операторами й процедурами.

Таким чином, пункти завантаження та розвантаження в системі міжнародного перевезення бензину автоцистернами є не лише технологічними етапами перекачування продукту, але й організаційно-правовими «контрольними точками» транспортного процесу. Їхня ефективність і безпечність визначаються якістю процедур допуску, дисципліною виконання операцій заземлення та герметизації, достатністю документального супроводу, а також здатністю підприємства управляти ризиками, пов'язаними з чергами, обмеженнями майданчиків і людським фактором. Саме тому в подальших розділах доцільно розглядати пункти наливу/зливу як елементи, що потребують не лише опису, а й цілеспрямованого удосконалення через регламентацію, контроль та стандартизацію операцій.

1.5 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення транспортного процесу міжнародного перевезення бензину автоцистерною шляхом техніко-експлуатаційного обґрунтування складу автопоїзда, визначення допустимого режиму завантаження за масовими та осьовими обмеженнями і розроблення безпечного маршруту та графіка рейсу відповідно до вимог ADR для вантажів класу 3. Для досягнення мети необхідно проаналізувати технічні засоби перевезення і встановити критичні елементи безпеки автоцистерни, що потребують пріоритетного контролю, виконати розрахунок основних технічних характеристик автопоїзда та обґрунтувати вибір тягача для роботи з

напівпричепом-цистерною Kässbohrer K.STB E 39 / 5 (11/24) із прийняттям зв'язки Mercedes-Benz Actros L 1845 LS 4x2 + Kässbohrer K.STB E 39/5–11/24 як базової для подальших розрахунків. У межах роботи слід розрахувати максимально допустимий об'єм наливу бензину за умовами 40 т/44 т з перевіркою осьових і групових навантажень та визначити прийнятний режим завантаження без порушення нормативів, сформувані вихідні дані для маршрутизації та критерії вибору маршруту, описати пункти завантаження ORLEN у м. Плоцьк і розвантаження на нафтобазі поблизу м. Тернопіль, обґрунтувати основний транспортний коридор і передбачити альтернативні варіанти на випадок перевантаження пункту пропуску. Також необхідно визначити контрольні точки, планові зупинки та оцінити ризики на маршруті, розробити орієнтовний графік рейсу і практичні рекомендації для диспетчеризації, опрацювати вимоги безпеки життєдіяльності при перевезенні бензину та сформувані заходи охорони праці під час завантаження палива в цистерну з акцентом на попередження займань, розливів і впливу статичної електрики. Очікуваним результатом є обґрунтований склад автопоїзда і режим наливу, розроблений маршрут перевезення з графіком рейсу та комплекс практичних рекомендацій із безпеки й охорони праці, що забезпечують виконання перевезення згідно з ADR.

2. ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Аналіз технічних засобів перевезення: автоцистерна та її критичні елементи безпеки

Перевезення бензину автомобільним транспортом у наливному виконанні здійснюється, як правило, автопоїздом у складі сідельного тягача та напівпричепа-цистерни. Така схема є технологічно доцільною завдяки високій вантажомісткості, універсальності в логістичних операціях «нафтопереробне підприємство/термінал – нафтобаза – мережа АЗС», а також можливості оснащення транспортної одиниці спеціальними системами безпеки, які прямо зумовлені небезпечними властивостями бензину як легкозаймистої рідини. У контексті перевезення бензину технічні засоби розглядаються не лише як носій вантажу, а як комплексна інженерна система, в якій працездатність окремих вузлів визначає рівень ризику витoku, розливу, утворення вибухонебезпечних пароповітряних сумішей та ймовірність їх займання.

Типова конструктивна компоновка автопоїзда передбачає, що тягач забезпечує тягово-динамічні характеристики, гальмівну ефективність і стійкість керування, тоді як напівпричіп-цистерна відповідає за безпечне зберігання та контрольоване транспортування продукту. Для бензину широко застосовуються алюмінієві цистерни (з огляду на корозійну стійкість, масову ефективність і теплопровідність), хоча можливі й інші конструктивні рішення залежно від вимог виробника та експлуатаційних умов. У будь-якому випадку цистерна є герметизованою посудиною зі спеціальною арматурою, розрахованою на роботу з летким продуктом, що створює помітний паровий тиск і здатен швидко утворювати небезпечні концентрації парів у зоні технологічних операцій.

З позицій організації перевезень розрізняють односекційні та багатосекційні цистерни. Односекційна цистерна конструктивно простіша та потенційно має менше з'єднань і вузлів, які можуть стати джерелом витoku, а також дозволяє перевозити великий обсяг однієї фракції з мінімальним ризиком

змішування. Водночас за певних режимів руху (особливо при частковому заповненні) вона може бути більш чутливою до хвильових явищ рідини (sloshing), що впливають на поздовжню та поперечну стійкість автопоїзда під час гальмування, прискорення або проходження поворотів. Багатосекційна цистерна забезпечує гнучкість доставки (розвезення на кілька пунктів, транспортування різних марок палива або партій), а також може частково зменшувати інтенсивність хвильових коливань завдяки перегородкам між секціями. Проте збільшення кількості секцій означає зростання кількості люків, клапанів, з'єднань і контурів керування, тобто збільшення потенційних місць розгерметизації та помилки персоналу під час наливу/зливу. Отже, вибір між односекційною і багатосекційною конструкцією прямо впливає на профіль ризиків: у першому випадку домінують ризики, пов'язані зі стійкістю та поведінкою рідини в об'ємі, у другому – ризики помилок керування арматурою та герметичністю численних вузлів.

Критичним вузлом безпеки цистерни є запірно-регулювальна арматура, яка формує «бар'єр герметичності» між продуктом та зовнішнім середовищем. До неї належать донні (зливні) клапани, міжсекційні клапани (для багатосекційних цистерн), запірні пристрої на трубопроводах, а також швидкодіючі аварійні відсічні механізми. Небезпека бензину полягає в тому, що навіть незначне підтікання у зоні арматури може супроводжуватися інтенсивним випаровуванням і накопиченням парів у приземному шарі повітря, де за наявності джерела запалювання можливе миттєве займання. Тому технічний стан ущільнень, сідла клапанів, різьбових/фланцевих з'єднань і механізмів фіксації є визначальним показником безпечності транспортної одиниці. Саме арматура, а не корпус цистерни, на практиці найчастіше стає первинним джерелом розгерметизації через знос прокладок, механічні пошкодження, неправильне закриття після зливу, вібраційне послаблення з'єднань або порушення регламенту технічного обслуговування.

Не менш важливим елементом є дихальні (запобіжні) клапани, призначені для вирівнювання тиску в цистерні при зміні температури, під час наливу/зливу

та в умовах змін атмосферного тиску. Для бензину ця система є принциповою, оскільки коливання температури та інтенсивне випаровування створюють надлишковий тиск парів, а вакуумні явища можуть виникати під час зливу або охолодження. Несправність дихального клапана має дві небезпечні крайності: при «заклинюванні» в закритому положенні зростає ризик перевищення допустимого тиску з наслідками для герметичності (витіснення через ущільнення, пошкодження вузлів), а при порушенні герметичності клапана або його некоректній роботі можливі неконтрольовані викиди парів у зону обслуговування. Оскільки пари бензину утворюють вибухонебезпечні суміші в широкому діапазоні концентрацій, працездатність дихальних клапанів є одним з ключових чинників як екологічної, так і пожежної безпеки.

Система наливу та зливу визначає технічну реалізованість перевезення і водночас концентрує основні виробничі небезпеки. Зливні пристрої можуть бути виконані у вигляді нижнього зливу через донні вузли або через верхні люки (менш бажано з позицій сучасних стандартів безпеки та гігієни праці). Нижній злив, за умови правильної конструкції, дозволяє зменшити роботу персоналу на висоті та підвищує керованість процесу, однак збільшує значущість захисту донної арматури від механічних пошкоджень і потребує особливої уваги до стану швидкороз'ємних з'єднань, рукавів та блокувальних елементів. Верхній налив і обслуговування через люки можуть підвищувати ризики контакту з парами, падіння персоналу, а також ускладнюють контроль за випаровуваннями. У сучасній логістиці пального додатковим критичним елементом стає система рекуперації парів (паровідвід), яка зменшує викиди летких органічних сполук і одночасно знижує ймовірність утворення вибухонебезпечних концентрацій у робочій зоні, проте додає ще один контур з'єднань, що підлягає контролю герметичності.

Особливу роль у безпеці перевезення бензину відіграє захист від статичної електрики та електроіскрових джерел запалювання. Під час перекачування легкозаймистих рідин у трубопроводах і рукавах виникає електростатичне зарядження, яке при недостатньому вирівнюванні потенціалів може

реалізуватися іскровим розрядом. Саме тому цистерни обладнуються заземлювальними елементами та точками приєднання заземлювальних кабелів, а технологічний процес наливу/зливу передбачає обов'язкове заземлення транспортної одиниці перед початком операцій. У транспортному вимірі важливими є також електричні контури автопоїзда: стан проводки, відсутність пошкоджених ізоляцій, коректне підключення електрообладнання, відповідність використаних ліхтарів і переносних засобів освітлення вимогам безпечної експлуатації в потенційно вибухонебезпечних зонах. Усе це має пряме відношення до ймовірності займання парів у разі витоку або під час робіт з арматурою.

До інженерних факторів ризику належать не лише «паливні» вузли, а й елементи, що визначають динамічну стійкість автопоїзда. Для цистерн характерним є високий центр мас у порівнянні зі звичайними напівпричепами, а також можливий ефект переміщення рідини в об'ємі при неповному заповненні. Тому гальмова система (ABS/EBS), стан шин, підвіска, п'яте колесо, зчеплення та стабілізаційні елементи опосередковано впливають на ризик аварії, яка для бензовоза має якісно вищий рівень небезпеки через можливість розливу й пожежі. Відповідно, технічний стан ходової частини та гальмівної системи є не менш критичним, ніж герметичність арматури: у логіці управління ризиками саме ДТП є подією, яка часто запускає каскад «механічне пошкодження → витік/розлив → утворення парів → займання».

Противарійне оснащення транспортної одиниці слід розглядати як інструмент первинного реагування до прибуття спеціалізованих служб. Воно не «ліквідує» небезпеку, але дозволяє локалізувати наслідки, позначити місце події та запобігти розвитку інциденту в катастрофічний сценарій. Для бензовоза вирішальне значення мають первинні засоби пожежогасіння, засоби огороження/позначення, інструменти для мінімізації наслідків дрібних витоків і засоби індивідуального захисту для водія/екіпажу. Ефективність такого оснащення прямо залежить від його справності, доступності та наявності регламенту застосування, оскільки у ситуації стресу або при нестачі часу навіть

формально наявні засоби можуть бути не використані або використані неправильно.

Узагальнюючи, критичні елементи безпеки автоцистерни для бензину формують кілька взаємопов'язаних бар'єрів: бар'єр герметичності (корпус, люки, ущільнення, арматура), бар'єр тискового захисту та керування паровою фазою (дихальні клапани, паровідвід), бар'єр безпечного виконання вантажних операцій (зливні пристрої, рукави, блокування, контроль переповнення, технологічні процедури), бар'єр протиіскрового захисту (заземлення, вирівнювання потенціалів, електробезпека) та бар'єр аварійної готовності (протиаварійне оснащення й підготовка персоналу). Саме порушення працездатності одного або кількох таких бар'єрів є типовим механізмом виникнення витоку, розливу або займання під час транспортування бензину.

З огляду на це пріоритетний контроль у складі технічного огляду транспортної одиниці доцільно концентрувати на вузлах, що статистично і технологічно є найбільш «уразливими» та наслідково значущими. До таких належать запірна арматура й ущільнення зливних вузлів, дихальні клапани та елементи керування паровою фазою, справність і герметичність швидкокороз'ємних з'єднань та рукавів, працездатність заземлювальних елементів і наявність надійного електричного контакту для вирівнювання потенціалів, а також справність гальмівної системи й шин як ключових елементів запобігання ДТП. У практичному вимірі це означає, що контроль має бути спрямований на раннє виявлення мікропідтікань, ослаблення з'єднань, ознак зносу прокладок, відхилень у роботі клапанів і будь-яких дефектів, які можуть у русі перетворитися на інцидент із виходом небезпечного продукту назовні.

Автоцистерна для бензину є складною технічною системою, де безпека визначається не одним елементом, а сукупністю взаємодіючих вузлів і процедур їх контролю. Для кваліфікаційної роботи бакалавра принципово показати причинно-наслідковий зв'язок між технічним станом критичних елементів і ризиками витоку/розливу/займання, а також обґрунтувати, чому саме арматура, дихальні клапани, системи наливу/зливу, заземлення та протиаварійне

оснащення повинні підлягати першочерговому контролю в межах організації перевезення бензину автомобільним транспортом.

Як основну (референтну) пропоную прийняти Kässbohrer K.STB E 39 (паливна цистерна, ADR клас 3), оскільки для неї доступні відносно чіткі заводські/каталожні параметри (геометрія, тара, ADR-класифікаційні ознаки) у відкритому технічному матеріалі виробника, що дуже зручно для дипломного проектування. У брошурі зазначено, що серія K.STB E призначена для перевезення паливних продуктів, виконується в діапазоні 39–45 м³, може мати 1–7 відсіків, і передбачає функції безпеки на кшталт захисту від переповнення, при цьому наводяться ключові розміри й тара для варіанту “39”.

Для моделі K.STB E 39 у тій же таблиці наведені орієнтири, які можна напряму закласти в розрахункову частину: зовнішня довжина 11 250 мм, діаметр цистерни 2 350 мм, висота СЗП (fifth wheel) 1 220 мм, тара 5 650 кг, а також ADR-ідентифікація (зокрема ADR tank code L4BH і ADR class 3 у продуктовому рядку K.STB E 39).

Саме цю модель логічно зробити “базою” для курсового/дипломного проектування, а інші варіанти використовувати як альтернативи для чутливості результатів (обсяг, кількість відсіків, тара, розподіл навантажень).

Альтернативи для порівняння і варіативних розрахунків

Як альтернатива, максимально близька до реальної практики ринку Центрально-Східної Європи, доцільно взяти Stokota FUEL TANK 42000 L – 5 COMPARTMENTS (паливний напівпричіп-цистерна на 42 м³ з 5 відсіками). У публікації по конкретній одиниці техніки вказані об’єм 42 м³, повна маса 38 000 кг, власна маса 5 960 кг і вантажопідйомність 32 040 кг, а також прямо зазначено “5 compartments”, що зручно для моделювання секційного розвантаження на нафтобазі/АЗС та оцінки організаційних ризиків помилок арматури між відсіками.

Цей варіант я рекомендую використовувати як “польсько-ринкову” альтернативу: він добре підходить для порівняння з Kässbohrer за критеріями

“секційність → складність арматури → ризики/час операцій” та для розрахунків заповнення відсіків.

Як третій, “компактніший” сценарій для порівняння (наприклад, коли обмежена інфраструктура наливу або потрібні менші партії), можна прийняти LAG Tank trailer ADR – 30 000 L (1 compartment). На сторінці виробника наведено базову комплектацію: ADR 30 000 L, 1 відсік, 3 перегородки (baffles), 3 осі BPW-ECO PLUS, пневмопідвіска з підйомною віссю.

Ця модель зручна для розрахунків впливу об’єму та секційності на логістику (частота рейсів, графік, витрати часу на налив/злив), а також для якісного аналізу стійкості рідини в об’ємі (наявність baffles як елементу зменшення хвильових явищ).

У проєкті раціонально зафіксувати таку логіку: “референтна” цистерна Kässbohrer K.STB E 39 як основа всіх подальших розрахунків (маса вантажу за густиною бензину, заповнення, корисне навантаження, оцінка осьових навантажень автопоїзда в межах допустимих повних мас, організація зупинок/перевірок, план аварійної готовності), а Stokota 42 000 L (5 відсіків) і LAG 30 000 L (1 відсік) як два контрольні сценарії, що дозволяють порівняти “більший секційний паливоз” проти “меншої/простішої цистерни” з точки зору часу операцій, ризиків людського фактора на арматурі, а також економіки (тонно-кілометр, витрати на рейс, кількість рейсів для заданого місячного обсягу).

Для розрахунків прийнято такі робочі припущення: бензин має густину 0,72–0,775 кг/л при 15 °C; ступінь заповнення для базового сценарію прийнято 95% (як консервативний рівень заповнення з урахуванням «вільного об’єму» та практики запобігання переповненню/тепловому розширенню; у правилах ADR/RID зустрічаються вимоги/обмеження на кшталт TU28: не більше 95% при 15 °C для окремих випадків) (OTIF). Власну масу сидельного тягача прийнято 7 500 кг (типове значення для 4×2 без надбудов).

Таблиця 2.1. Порівняльна таблиця моделей і розрахунок навантаження (95% заповнення)

№	Модель	Об'єм, л	Секційність	Тара напівпричепи, кг	Маса бензину при 95%, кг (діапазон для 0,72–0,775 кг/л)	Повна маса автопоїзда, кг (за тягача 7 500 кг)
1	Kässbohrer K.STB E 39/5-11/24	39 000	5	5 650	26676 – 28714	39 826 – 41 864
2	Stokota FUEL TANK 42 000 L (5 compartments)	42 000	5	5 960	28728 – 30922	42 188 – 44 382
3	LAG O-3-ST ADR Tank 30 000 Ltr (1 compartment)	30 000	1	7 020	20520 – 22088	35 040 – 36 608

Як орієнтир по масі автопоїзда в ЄС для 5–6-вісного сидельного автопоїзда широко застосовується ліміт 40 т; в Україні «поріг 40 т» також відображений у підходах до габаритно-вагового контролю (у ставках плати за перевищення нормативних параметрів шкала за загальну масу стартує з інтервалу 40–44 т). Тому вже на етапі вибору моделі корисно оцінювати, наскільки реально працювати без “перевищення” або з яким ступенем заповнення.

За прийнятої густини 0,74 кг/л (середнє в межах діапазону) і тягача 7,5 т, щоб тримати $\leq 40\,000$ кг, орієнтовно виходить так:

- для 39 000 л Kässbohrer потрібне заповнення близько $\leq 93\%$;
- для 42 000 л Stokota заповнення має бути суттєво нижчим, близько $\leq 85\%$;
- для 30 000 л LAG обмеження по 40 т не є критичним навіть при високому ступені заповнення.

Як базову приймаємо напівпричіп-цистерну Kässbohrer K.STB E 39 / 5 (11/24) (ADR, клас 3). Для цієї моделі виробник наводить технічні параметри, які можна напряму закласти у вихідні дані: gross volume 39 м³, net volume 36 м³, тара

5 650 кг, діаметр 2 350 мм, висота СЗП (fifth wheel height) 1 220 мм, “wheelbase” 6 700 мм та розподіл об’єму за 5 секціями (6 400 / 5 700 / 6 000 / 10 000 / 8 000 л).



Рисунок 1. Напівпричіп-цистерна Kässbohrer K.STB E 39 / 5 (11/24) (ADR, клас 3)

У подальших розрахунках це означає, що робочий об’єм для наливу ми приймаємо $V_{net} = 36 \text{ м}^3$ (36 000 л), а секційність дозволяє моделювати часткове розвантаження та варіанти заповнення.

2.2 Розрахунок основних технічних характеристик автопоїзда

Для перерахунку «літри в кілограми» приймаємо густину бензину за $15 \text{ }^\circ\text{C}$ у вигляді діапазону $\rho = 720\text{--}775 \text{ кг/м}^3$ $15 \text{ }^\circ\text{C}$, що типово наводиться у паспортах/листах безпеки для бензину. Для “розрахункового” значення (номінал) доцільно використовувати середину діапазону $\rho_{nom} = 750 \text{ кг/м}^3$, а перевірку (гірший випадок за масою) робити для $\rho_{max} = 775 \text{ кг/м}^3$.

Прийнята схема автопоїзда і масова модель

Для виконання «балансу мас» приймаємо типову схему сидельний тягач 4×2 + напівпричіп-цистерна 3-осьовий. Оскільки у відкритих специфікаціях маса тягача суттєво залежить від комплектації (бак, кабіна, ретардер, РТО тощо), у дипломному проєктуванні коректно задати її як параметр, а для базового сценарію прийняти робоче припущення:

Маса тягача в спорядженому стані з водієм і паливом для рейсу (без напівпричепа) $m_{tr} = 7,8$ т (припущення для розрахункового прикладу).

Маса напівпричепа-цистерни (тара за виробником) $m_{semi} = 5,65$ т.

Тоді повна маса автопоїзда визначається як

$$M = m_{tr} + m_{semi} + m_{cargo}.$$

Конструктивна місткість цистерни (за net volume)

За прийнятого $V = 36$ м³ (тобто заповнення до net volume) маса вантажу становитиме:

при $\rho_{min} = 720$ кг/м³:

$$m_{cargo} = 36 \cdot 720 = 25\,920 \text{ кг (25,92 т)}$$

при $\rho_{nom} = 750$ кг/м³:

$$m_{cargo} = 36 \cdot 750 = 27\,000 \text{ кг (27,00 т)}$$

при $\rho_{max} = 775$ кг/м³:

$$m_{cargo} = 36 \cdot 775 = 27\,900 \text{ кг (27,90 т)}$$

Цей режим є “технічно можливим” з точки зору об’єму, але не завжди автоматично означає виконання обмежень по повній масі та навантаженнях на осі.

Режим за обмеженням повної маси 40 т на території ЄС.

Для розрахунків міжнародного рейсу через Польщу важливо тримати орієнтир: загальноєвропейський ліміт повної маси автопоїзда у стандартному режимі становить 40 т (44 т допускається для окремих інтермодальних сценаріїв).

Отже, максимально допустима маса вантажу за умовного ліміту 40 т дорівнює:

$$m_{cargo,max40} = 40,00 - 7,80 - 5,65 = 26,55 \text{ т.}$$

Відповідний допустимий об'єм наливу:

при $\rho_{nom} = 750 \text{ кг/м}^3$:

$$V_{max40} \approx 26\,550 / 750 = 35,4 \text{ м}^3$$

при $\rho_{max} = 775 \text{ кг/м}^3$ (гірший випадок, коли маса найбільша):

$$V_{max40} \approx 26\,550 / 775 = 34,3 \text{ м}^3$$

Практично це означає, що якщо ми хочемо “не ловити” перевищення повної маси при коливанні густини, у проєкті варто фіксувати консервативний робочий об'єм наливу $V_{work} \approx 34,0 \text{ м}^3$ (34 000 л) для сценарію 40 т з 4×2 тягачем. Це ще потрібно підтвердити перевіркою осьових навантажень, бо навіть при 40 т можна вийти за ліміти по окремих осях.

Шаблон розрахунку осьових навантажень (статична схема)

Щоб у наступних підрозділах (режими руху, безпека, вибір маршруту) мати однакову “базу”, пропоную закласти у роботу саме таку методику, з чіткими позначеннями.

Для напівпричепа-цистерни розглядаємо систему з двома опорами: шкворень (kingpin) і група трьох осей напівпричепа. Позначимо:

$W = (m_{semi} + m_{cargo}) \cdot g$ - вага напівпричепа з вантажем
 L - відстань від шкворня до геометричного центра групи осей напівпричепа (для Kässbohrer у характеристиках наведено 6 700 мм як “wheelbase”, що можна прийняти як базову геометричну відстань у першому наближенні) x - відстань від шкворня до центра мас «напівпричіп + вантаж» (у проєкті її або задають припущенням, або визначають з балансування під осьові ліміти)

Тоді статичні реакції:

Навантаження на групу осей напівпричепа:

$$R_{tridem} = W \cdot x / L$$

Навантаження на шкворень:

$$R_{kingpin} = W - R_{tridem} = W \cdot (L - x) / L$$

Для переходу до мас (тонн) зручно ділити на g і працювати в тоннах:

$$P_{tridem} = (m_{semi} + m_{cargo}) \cdot x / L$$

$$P_{kingpin} = (m_{semi} + m_{cargo}) - P_{tridem}$$

Далі реакцію шкворня треба “розкласти” на осі тягача. Для тягача 4×2 беремо просту важільну модель між керованою (передньою) та ведучою (задньою) осями:

WB_tr - колісна база тягача

a - відстань від ведучої осі до точки прикладання шкворневого навантаження (зазвичай шкворень розташований трохи попереду ведучої осі)

Тоді приріст навантаження на осі тягача від шкворня:

$$\Delta F_{front} = P_{kingpin} \cdot a / WB_{tr}$$

$$\Delta F_{drive} = P_{kingpin} \cdot (1 - a / WB_{tr})$$

І повні навантаження:

$$F_{front} = F_{front,0} + \Delta F_{front}$$

$$F_{drive} = F_{drive,0} + \Delta F_{drive}$$

де $F_{front,0}$ і $F_{drive,0}$ - навантаження на осі тягача в спорядженому стані без напівпричепа (їх можна прийняти типовим співвідношенням, наприклад близько 40/60 або уточнити для конкретної моделі тягача, якщо ви захочете її зафіксувати в роботі).

Критично важливий момент для дипломного проектування тут такий: навіть якщо загальна маса автопоїзда укладається в 40 т, “вузьким місцем” може стати ведуча вісь тягача, яка за правилами ЄС має типовий ліміт 11,5 т (а керована - близько 10 т), тому величина $P_{kingpin}$ і положення шкворня (параметр a) потребують обов’язкової перевірки при виборі режиму наливу.

Отже в результаті розрахунків прийнято наступні значенням.

Модель напівпричепа: Kässbohrer K.STB E 39 / 5 (11/24)

$m_{semi} = 5,65$ т; $V_{net} = 36$ м³; секції: 6,4 / 5,7 / 6,0 / 10,0 / 8,0 м³; $L \approx 6,7$ м)

Густина бензину для масових розрахунків: $\rho = 720-775$ кг/м³ 15 °С, $\rho_{nom} = 750$ кг/м³

Тягач: схема 4×2, маса приблизно $m_{tr} = 7,8$ т.

Режими наливу для подальших порівнянь: “макс. по об’єму” $V = 36 \text{ м}^3$ і “консервативний під 40 т” $V_{work} = 34 \text{ м}^3$ (після цього обов’язково робимо перевірку осей за наведеною схемою).

2.3 Вибір тягача для роботи з цистерною Kässbohrer K.STB E 39 / 5 (11/24)

Нижче подано порівняння сідлових тягачів (переважно 4×2) для роботи в парі з напівпричепом-цистерною Kässbohrer K.STB E 39 / 5 (11/24) ключові параметри для стикування: висота ССУ Н5 = 1 220 мм, база цистерни 6 700 мм, довжина 11 420 мм, тара $\approx 5\,650$ кг, об’єм 39 м^3 (нетто 36 м^3).

Увага: у реальній експлуатації вирішальними є “платингові” маси/осі у вашій країні та конкретна комплектація тягача (бак/кабіна/ССУ/ретардер тощо). Технічні листи нижче дають “паспортні” межі для типових конфігурацій.

Таблиця 2.1. Порівняльна таблиця тягачів під бензовоз Kässbohrer K.STB E 39/5

Тягач (приклад конфігурації)	Колісна формула	Техн./допустим а маса тягача (GVW)	Техн./допустим а маса автопоїзда (GCW/GCM)	Макс. навантаженн я на осі (перед/зад)	Що важливо саме для роботи з ADR- цистерною
Volvo FH 13 4×2 Tractor (FH 42T 3A, rear air)	4×2	18.0–20.5 т	40.0–44.0 т	7.5 т / 11.5– 13.0 т	Є “дорожня” конфігурація з пневмопідвіскою; у листі прямо прив’язано позицію ССУ до норм 96/53/ЕС (корисно для компонування автопоїзда).
DAF XFC FT 4×2	4×2	18.0 т	44.0 т (GCM)	8.0 т / 11.5 т	У специфікації прямо є “ADR”/підготовка

Тягач (приклад конфігурації)	Колісна формула	Техн./допустим а маса тягача (GVW)	Техн./допустим а маса автопоїзда (GCW/GCM)	Макс. навантаженн я на осі (перед/зад)	Що важливо саме для роботи з ADR- цистерною
(NewGen, приклад зі spec sheet)					під спецсвітлотехніку, є опції для “liquid transport” (типово: EBS, контролі стійкості, ретардер як опція тощо).
MAN TGX 18.470 4x2 BLS (приклад конфігурації)	4x2	18.0 т	44.0 т	7.5 т / 13.0 т (техн.)	Документ показує типові “важкі” мости/шинування та 44 т автопоїзда, що добре лягає під 5- осьовий бензовозний автопоїзд; потрібна коректна “платингова” прив’язка під ваші ліміти осей.
Mercedes- Benz Actros L 1845 LS 4x2	4x2	18.0 т	44.0 т	8.0 т / 11.5 т	У листі окремо наведено “payload/fifth-wheel load” (корисно для оцінки навантаження на ССУ/шкворінь); є EBS/ABS/ASR та високопродуктивне моторне гальмо.
Scania R 450 A4x2NA	4x2	18.0 т (legal))	40.0 т	7.5 т / 11.5 т	Як “база” під розрахунки придатна, але в наведеному

Тягач (приклад конфігурації)	Колісна формула	Техн./допустим а маса тягача (GVW)	Техн./допустим а маса автопоїзда (GCW/GCM)	Макс. навантаженн я на осі (перед/зад)	Що важливо саме для роботи з ADR- цистерною
(конфігураці я з PDF)					документі фігурує 40 т автопоїзда - для 44 т потрібна інша комплектація/ринков а специфікація (перевіряється за VIN/spec).

Як базовий тягач для роботи в парі з напівпричепом-цистерною Kässbohrer K.STB E 39/5–11/24 доцільно прийняти Mercedes-Benz Actros L 1845 LS 4x2 (BM 96340312) і надалі виконувати всі розрахунки (маса автопоїзда, шкворневе навантаження, перевірка осей, режим завантаження “під 40/44 т”, графік рейсу та ризик-аналіз) саме для цієї зв’язки.

Першою причиною вибору є те, що Kässbohrer у технічних даних чітко задає параметри стикування та “геометрію” напівпричепа: висота ССУ Н5 = 1 220 мм, база напівпричепа 6 700 мм, зовнішня довжина 11 420 мм, тара ≈ 5 650 кг, а також корисний (net) об’єм 36 м³. Для коректного проектування критично, щоб тягач дозволяв працювати з такою висотою ССУ (через вибір висоти шасі/ССУ та пневмопідвіску) і забезпечував достатню несучу здатність у зоні шкворня без перевищення допустимих навантажень на осі.

Другою, вирішальною причиною є те, що для Actros L 1845 LS у відкритому технічному листі наведені саме ті характеристики, які “закривають” основні перевірки для бензовоза. У документі вказано технічно допустимі навантаження на осі 8 000 кг (передня) та 11 500 кг (задня) і технічно допустиму повну масу тягача 18 000 кг, а також технічно допустиму масу автопоїзда 44 000 кг. Для дипломного проектування це зручно, бо дозволяє одразу обґрунтовано закладати режим експлуатації на міжнародних напрямках, де для 5-осьового

автопоїзда типово орієнтуються на 40–44 т залежно від правового режиму і сценарію перевезення.

Третьою причиною є наявність у цьому ж технічному листі параметра, який найчастіше “випадає” з публічних специфікацій, але є ключовим саме для цистерн, - $\text{payload/fifth-wheel load} = 9\ 638$ кг (допустиме корисне навантаження/навантаження на ССУ). Для напівпричепа-цистерни це принципово: шкворневе навантаження визначає розкладку мас по осях тягача і прямо впливає на ризик перевищення лімітів по ведучій осі (що є типовим “вузьким місцем” бензовозних автопоїздів). Фактично, обравши тягач із чітко задокументованим fifth-wheel load, ми отримуємо коректну основу для подальших розрахунків статичної рівноваги і перевірки осьових навантажень, замість вимушених припущень.

Четверта причина - технічні системи активної безпеки, важливі саме для перевезення легкозаймистих рідин: у специфікації Astros зазначені дискові гальма на передній і задній осі, електронна гальмівна система (EBS) з ABS та ASR, а також High Performance Engine Brake. У випадку бензину (ADR, клас 3) ці компоненти мають не “комфортне”, а ризик-орієнтоване значення: стабільність автопоїзда при гальмуванні, контроль пробуксовки, зменшення навантаження на робочі гальма на затяжних спусках та підвищення керованості є прямими чинниками зниження ймовірності ДТП, яка для цистерни може мати наслідки у вигляді розливу та займання.

П’ята причина - узгодженість масової моделі для обраної теми кваліфікаційної роботи. Для Astros у документі наведено споряджену масу (kerb weight) і розкладку по осях у спорядженому стані, що полегшує формування “балансу мас” і дає можливість відтворити порівнювати режими завантаження цистерни (наприклад, 36 м³ як технічна місткість проти консервативного наливу під масові/осьові обмеження).



Рисунок 2. Mercedes-Benz Actros L 1845 LS 4x2

Таким чином Mercedes-Benz Actros L 1845 LS 4x2 є найкращим вибором для вашої роботи не тому, що він “найпотужніший”, а тому, що він забезпечує найбільш коректну й прозору інженерну базу для розрахунків саме бензовозного автопоїзда: сумісність зі стикувальними параметрами Kässbohrer (зокрема H5 = 1 220 мм), наявність у відкритих даних повного набору допустимих мас/осьових навантажень та допустимого навантаження на ССУ, а також наявність систем гальмування та стабілізації, які критично важливі для ризик-профілю ADR класу 3.

2.4 Розрахунок максимально допустимого об'єму наливу бензину для зв'язки Mercedes-Benz Actros L 1845 LS 4×2 + Kässbohrer K.STB E 39/5–11/24 з перевіркою осьових/групових навантажень

Для виконання розрахунків прийнято базову транспортну одиницю у складі сідлового тягача Mercedes-Benz Actros L 1845 LS 4×2 та напівпричепи-цистерни Kässbohrer K.STB E 39/5–11/24. Технічні параметри тягача беруться з заводського технічного листа: колісна база 3,85 м, споряджена маса 8,362 т із розподілом по осях 5,639 т (передня) та 2,723 т (задня), технічно допустимі навантаження на осі 8,0 т (передня) і 11,5 т (задня), технічно допустима повна маса тягача 18,0 т і допустима маса автопоїзда 44,0 т.

Для напівпричепи-цистерни приймається тара 5,650 т та корисний (net) об'єм 36 м³ при п'яти секціях (6,4/5,7/6,0/10,0/8,0 м³).

Для перерахунку «об'єм–маса» бензину приймається діапазон густини за 15 °С: $\rho=720\dots775$ кг/м³.

Для перевірки групового навантаження на осі напівпричепи використовується підхід за 96/53/ЕС, де для трьохосьової групи напівпричепи ліміт залежить від міжосьової відстані і становить 21 т (як жорсткіший випадок) або 24 т (як типовий для класу 1,3–1,4 м). У подальшому розрахунку базово приймається 24 т, а випадок 21 т розглядається як перевірочний, що задає межі застосовності результатів.

Розрахункова схема і позначення

Нехай m - маса бензину в цистерні т, K - вертикальне навантаження на сідельно-зчіпний пристрій (ССУ) тягача, т, T - навантаження на трьохосьову групу напівпричепи, т. Тоді маси у тоннах для автопоїзда описуються співвідношеннями

$$M_{\text{поїзд}} = m_{\text{тягач}} + m_{\text{напівпричіп}} + m$$

$$M_{\text{тягач, з ССУ}} = 8,362 + K$$

$$M_{\text{напівпричіп, з вантажем}} = 5,650 + m$$

$$T = (5,650 + m) - K$$

де 8,362 т - споряджена маса тягача, 5,650 т - тара цистерни.

Для перевірки перерозподілу навантаження між осями тягача застосовується балкова модель двовісного шасі. Позначимо $L=3,85L = 3,85L=3,85$ м - база тягача, a - відстань від задньої осі до точки прикладання результуючого навантаження від ССУ, відлічена вперед. У технічному листі наведено діапазон положення центра мас «body and payload» від 0,344 до 0,943 м попереду задньої осі; для розрахунку найгіршого випадку за навантаженням на задню вісь приймається мінімальне значення $a=0,344a = 0,344a=0,344$ м. Тоді коефіцієнт перерозподілу на передню вісь

$$\alpha = \frac{a}{L} = \frac{0,344}{3,85} = 0,08935$$

а навантаження на осі тягача при прикладанні K дорівнюють

$$F_1 = 5,639 + \alpha K$$

$$F_2 = 2,723 + (1 - \alpha)K$$

де F_1 - передня вісь, F_2 - задня (ведуча) вісь.

Обмеження, що визначають максимально допустимий налив

По тягачу діють одночасно три обмеження: $F_1 \leq 8,0$ т, $F_2 \leq 11,5$ т і $M_{\text{тягач, з ССУ}} \leq 18,0$ т. Найжорсткішим тут є обмеження по повній масі тягача, що задає верхню межу для K :

$$K_{\text{max}} = 18,0 - 8,362 = 9,638 \text{ т.}$$

По напівпричепу критичним є обмеження навантаження на трьохосьову групу:

$$T = (5,650 + m) - K \leq T_{\text{lim}}$$

де $T_{\text{lim}}=24$ т (базовий випадок) або 21 т (жорсткий випадок). Звідси впливає необхідна мінімальна величина навантаження на ССУ, щоб не перевантажити триде́м:

$$K \geq (5,650 + m) - T_{lim}$$

Таким чином, зі збільшенням наливу зростає потреба у вищому шкворневому навантаженні, а верхня межа K_{max} обмежує максимально можливу масу наливу ще до того, як буде вичерпана загальна маса автопоїзда.

Режим 40 т: максимальний допустимий об'єм наливу та перевірка осей.

Умова по повній масі автопоїзда 40 т задає граничну масу бензину:

$$8,362 + 5,650 + m \leq 40 \Rightarrow m \leq 25,988 \text{ т}$$

Перехід до об'єму виконується через $V = \frac{m}{\rho}$. Для найгіршого випадку за масою (висока густина) при $\rho=775 \text{ кг/м}^3$ отримаємо

$$V_{max,40} = \frac{25,988 \cdot 1000}{775} = 33,53 \text{ м}^3$$

Для $\rho=720 \text{ кг/м}^3$ виходить $36,09 \text{ м}^3$, але фактична межа тоді визначається місткістю цистерни $V_{net}=36 \text{ м}^3$.

Перевірка осьових навантажень у режимі 40 т виконується через контроль тридему. При $m=25,988 \text{ т}$ і $T_{lim}=24 \text{ т}$ мінімальна вимога до навантаження на ССУ становить

$$K_{min} = (5,650 + 25,988) - 24 = 7,638 \text{ т}$$

Тоді навантаження на осі тягача (в найгіршому за задньою віссю припущенні $a=0,344 \text{ м}$ дорівнюють

$$F_1 = 5,639 + 0,08935 \cdot 7,638 = 6,32 \text{ т} \leq 8,0 \text{ т}$$

$$F_2 = 2,723 + 0,91065 \cdot 7,638 = 9,68 \text{ т} \leq 11,5 \text{ т}$$

а маса тягача з навантаженням на ССУ становить $8,362+7,638=16,00 \text{ т}$, що також не перевищує 18 т .

Отже, у режимі 40 т вирішальним обмеженням виступає саме загальна маса автопоїзда, тоді як по осях (за умови тридему 24 т) формується помітний запас.

Режим 44 т: максимальний допустимий об'єм наливу та перевірка осей.

З формальної умови 44 т випливало б $m \leq 29,988 \text{ т}$, однак ця величина не досягається через обмеження місткістю цистерни та реальними значеннями

густини. При максимальному наливі за місткістю $V_{net}=36 \text{ м}^3$ маса бензину в найгіршому випадку $\rho=775 \text{ кг/м}^3$ становить

$$m_{36}=36 \cdot 0,775=27,90 \text{ т}$$

а повна маса автопоїзда тоді дорівнює

$$8,362+5,650+27,90=41,912 \text{ т, тобто нижче 44 т.}$$

Критичним стає не 44 т як такі, а спроможність «розмістити» масу так, щоб не перевищити тридем 24 т і одночасно не вийти за можливе шкворневе навантаження тягача. Для $m=27,90 \text{ т}$ дає

$$K_{min}=(5,650+27,90)-24=9,55 \text{ т.}$$

Порівняння з межею тягача $K_{max}=9,638 \text{ т}$ показує, що режим повного наливу 36 м^3 за високої густини можливий, але працює практично «впритул» до граничного шкворневого навантаження і є чутливим до фактичної геометрії ССУ, налаштувань висоти та розподілу заповнення секцій.

При $K=9,55 \text{ т}$ навантаження на осі тягача (для $a=0,344 \text{ м}$) становлять

$$F_1=5,639+0,08935 \cdot 9,55 = 6,49 \text{ т} \leq 8,0 \text{ т}$$

$$F_2=2,723+0,91065 \cdot 9,55=11,42 \text{ т} \leq 11,5 \text{ т}$$

а маса тягача з навантаженням на ССУ дорівнює $8,362+9,55=17,912 \text{ т}$ і також не перевищує 18 т.

Таким чином, повний налив 36 м^3 за високої густини бензину є допустимим з позицій осьових навантажень лише за умови забезпечення шкворневого навантаження не менше 9,55 т, тобто фактично близького до максимального для цього тягача.

Для підвищення надійності (наявність запасу за K) доцільно встановити верхній «проектний» об'єм, за якого тридем 24 т забезпечується вже при $K \approx 9,0 \text{ т}$, що є більш типовим та менш чутливим режимом для 4×2 . Тоді максимально допустима маса вантажу визначається як

$$m_{max}(K=9,0)=24+9,0-5,650=27,35 \text{ т}$$

а відповідний об'єм при $\rho=775 \text{ кг/м}^3$ дорівнює

$$V_{рек} = \frac{27,35 \cdot 1000}{775} = 35,29 \text{ м}^3$$

Це значення забезпечує запас щодо розподілу мас і знижує ризик перевантаження тридему внаслідок відхилення фактичного ККК від розрахункового.

Межі застосування результатів: випадок тридему 21 т.

Якщо трьохосьова група напівпричепа підпадає під більш жорсткий ліміт 21 т (залежно від міжосьових відстаней), то умова

$$T \leq 21$$

суттєво змінює допустимі режими. У такому випадку навіть при максимальному можливому для тягача $K_{max}=9,638$ т максимальна маса бензину становитиме

$$m_{max,21}=21+9,638-5,650=24,988 \text{ т}$$

що відповідає

$$V_{max,21}(\rho = 775) = \frac{24,988 \cdot 1000}{775} = 32,24 \text{ м}^3$$

і, відповідно, не дозволяє виходити на великі об'єми наливу. У кваліфікаційній роботі це слід зафіксувати як умову, що потребує уточнення паспортного значення міжосьових відстаней тридему.

Підсумковий висновок щодо прийнятного режиму завантаження

Для режиму експлуатації з обмеженням повної маси автопоїзда 40 т максимально допустимий об'єм наливу, що гарантує відсутність перевищення маси навіть за високої густини бензину $\rho \approx 775 \text{ кг/м}^3$, становить $V_{max,40} \approx 33,5 \text{ м}^3$. Перевірка осьових навантажень при цьому показує запас по передній і задній осях тягача та виконання ліміту тридему 24 т за шкворневого навантаження від 7,64 т і вище.

Для режиму 44 т (як розрахункового сценарію) обмеженням фактично виступає не 44 т, а сумісність вимоги тридему 24 т із максимально допустимим шкворневим навантаженням тягача. Повний налив 36 м³ при високій густині бензину можливий лише за умови $K \geq 9,55$ т, тобто за дуже малих резервів до межі $K_{max}=9,638$ т. Як інженерно обґрунтований «проектний» режим із запасом доцільно приймати верхній налив близько $V_{рек} \approx 35,3 \text{ м}^3$, що зменшує чутливість

до реального розподілу мас та налаштувань ССУ і забезпечує стійке виконання осьових/групових лімітів.

2.5 Розроблення маршруту перевезення бензину автоцистерною ORLEN (м. Плоцьк, Польща) – нафтобаза поблизу м. Тернопіль (Україна) та орієнтовний графік рейсу

2.5.1 Вихідні дані та постановка задачі маршрутизації

Перевезення бензину як небезпечного вантажу класу 3 (легкозаймиста рідина) виконується автопоїздом у складі сідлового тягача Mercedes-Benz Actros L 1845 LS 4×2 та напівпричепа-цистерни Kässbohrer K.STB E 39/5–11/24. Цистерна є п'ятисекційною; корисний (нетто) об'єм для наливу приймається 36 м³. Режим завантаження для планування рейсу розглядається у двох варіантах: (а) «європейський» режим обмеження повної маси автопоїзда 40 т, що приводить до консервативного наливу близько 33,5 м³ для «важкого» бензину; (б) «розширений» режим до 44 т, який у практиці може застосовуватися за наявності відповідних дозволів/умов експлуатації, з рекомендованим верхнім наливом близько 35,3 м³ для забезпечення запасу по осьових навантаженнях. Пункт завантаження – виробничий комплекс ORLEN у м. Плоцьк (Польща). Пункт розвантаження у проєкті приймається як нафтобаза в промисловій зоні поблизу м. Тернопіль (Україна).

Задача маршрутизації полягає у виборі транспортного коридору «Плоцьк – кордон Польща/Україна – Тернопіль», який забезпечує мінімізацію ризиків дорожньо-транспортних пригод та наслідків аварійних подій (витік/розлив/займання), прогнозованість часу доставки та можливість організації регламентних зупинок і відпочинку водія в умовах перевезення ADR-вантажів.

2.5.2 Критерії вибору маршруту для перевезення бензину (ADR, клас 3)

При виборі маршруту для перевезення бензину визначальними є поєднання вимог безпеки та практичних логістичних критеріїв. З позицій безпеки пріоритет надається дорогам вищих категорій із розділеними потоками, прогнозованими радіусами кривих і меншою частотою конфліктних маневрів. Маршрут має мінімізувати проходження через щільно забудовані центральні частини міст, ділянки зі складним профілем, а також вузькі місця (ремонти, односмугові мости, складні розв'язки), де різко зростає імовірність аварійної ситуації та утруднюється евакуація/локалізація наслідків.

З позицій організації перевезення небезпечних вантажів критичним є забезпечення планових зупинок та відпочинку водія. Зупинки бажано планувати на охоронюваних або контрольованих майданчиках, віддалених від джерел запалювання, із можливістю огляду арматури, пломб, стану шин і гальмівної системи. Також враховується фактор кордону як потенційного «вузького місця»: час проходження пункту пропуску є стохастичним, тому в графіку рейсу обов'язково закладається часовий буфер та резервний сценарій маршруту.

З економічної точки зору обирається коридор із найменшим відхиленням від прямої, але без компромісів щодо безпеки. Для бензовозного автопоїзда також важливе дотримання обмежень маси та осьових навантажень; надмірне перевантаження призводить до штрафів, затримок, підвищеного зношування ходової частини та зростання аварійності. У цьому підрозділі далі наводиться маршрут, який є доцільним як базовий для проектування, а також альтернативні варіанти на випадок ускладнення прикордонної ситуації.

2.5.3 Опис пунктів завантаження та розвантаження у складі маршруту

2.5.3.1 Пункт завантаження: ORLEN, м. Плоцьк (Польща)

Пункт завантаження розглядається як промисловий термінал/НПЗ з регламентованою процедурою допуску автоцистерни під налив. Послідовність операцій у проєкті приймається такою: прибуття на КПП, ідентифікація транспортної одиниці та водія, перевірка документів і допусків, направлення на наливну естакаду, заземлення автоцистерни, виконання наливу з контролем рівня та запобіганням переповненню, від'єднання комунікацій, контроль герметичності, пломбування відсіків і оформлення супровідних документів.

Для графіка рейсу тривалість комплексу операцій «допуск – налив – пломбування – документи» приймається в межах 1,5–2,5 год залежно від завантаженості терміналу і специфіки обліку (об'ємний/масовий). У плані безпеки ключовими контрольними точками є наявність заземлення, відсутність підтікання в зоні донних клапанів і швидкороз'ємних з'єднань, а також коректність пломбування кожної секції.

2.5.3.2 Пункт розвантаження: нафтобаза поблизу м. Тернопіль (Україна)

Пункт розвантаження приймається як нафтобаза в промисловій зоні, що забезпечує організований прийом бензовозних автоцистерн, контроль якості/кількості та безпечне виконання зливу. Технологічні операції включають: реєстрацію прибуття, перевірку документів, направлення до зливної естакади, заземлення, підключення зливних рукавів, злив бензину в призначений резервуар, контроль герметичності та відсутності розливу, від'єднання рукавів і оформлення актів приймання.

У графіку рейсу тривалість операцій «допуск – злив – оформлення» приймається 2,0–3,0 год, оскільки злив може супроводжуватися контрольними замірами та організаційними затримками. У разі підозри на витік (запах

пального, підтікання, сліди розливу) операції зупиняються, зона ізолюється, усуваються джерела запалювання і застосовується регламент аварійного реагування підприємства.

2.5.4 Вибір основного транспортного коридору та альтернатив

2.5.4.1 Основний маршрут: Рюск – (коридор на Люблін) – Нгебенне – Рава-Руська – Львівський обхід – Тернопіль

Як базовий маршрут прийнято коридор із виходом на східний напрямок Польщі до пункту пропуску Нгебенне (Польща) – Рава-Руська (Україна) та подальшим рухом на Львівський обхід і Тернопіль. Така конфігурація є доцільною через переважання доріг вищих категорій, відносно коротке «плече» після перетину кордону та можливість організувати логічні точки контролю і відпочинку. На українській ділянці пріоритетом є уникнення центральної частини Львова за рахунок об'їзної дороги з подальшим виходом на напрямок Тернополя.

Орієнтовні довідкові значення протяжності та часу руху за ділянками приймаються для розрахунку графіка: Рюск – Люблін близько 279 км (порядку 3 год 20 хв руху), Люблін – Нгебенне близько 146 км (порядку 2 год 10 хв), Львів – Тернопіль близько 128 км (порядку 2 год). У реальній диспетчеризації ці параметри уточнюються за актуальними дорожніми умовами, але для дипломного проєкту вони придатні як обґрунтована база.

2.5.4.2 Альтернативні маршрути на випадок перевантаження пункту пропуску

У зв'язку з тим, що прикордонний перехід є системним джерелом часової невизначеності, у плані перевезення необхідно передбачити альтернативні коридори з виходом на Львівський напрямок. Як альтернативи доцільно розглядати: (а) перехід у коридорі через північ Волині з подальшим виходом на

Рівненський напрямок і Тернопіль; (б) перехід у коридорі через південніші підходи до Львівської області з подальшим рухом на об'їзну Львова і Тернопіль. Перемикання на альтернативу доцільно виконувати лише за умови підтвердженого прогнозу значних затримок на основному пункті пропуску і за наявності прийняттого вікна руху з урахуванням режимів праці та відпочинку водія.

2.5.5 Планові зупинки, контрольні точки та оцінка ризиків на маршруті

Для перевезення бензину важливе поєднання двох типів зупинок: регламентних перерв водія (за правилами робочого часу) та технічних оглядів транспортної одиниці. Огляд доцільно виконувати після проходження значних ділянок і після кордону, оскільки саме на цих етапах зростають ризики пошкодження арматури та ослаблення з'єднань через вібрації і перепади температур.

У проєкті приймаються такі контрольні точки: (1) завершення наливу і пломбування в Плоцьку; (2) перша перерва після 4,5 год керування на польській ділянці; (3) передкордонний огляд у зоні підходу до Hrebenne; (4) контроль після перетину кордону та виходу на українську мережу; (5) контроль перед в'їздом у Тернопільську агломерацію. Кожна контрольна точка включає візуальну перевірку донних клапанів і зливного колектора, стану пломб і люків, відсутності підтікання, а також загальний огляд ходової частини та шин.

До основних ризиків маршруту відносяться: затори й інтенсивний рух на підходах до великих міст, складні розв'язки, ремонтні ділянки, а також невизначеність часу проходження кордону. Для зниження ризиків у графіку закладається часовий резерв, а рух через Львів виконується обхідним коридором. Додатково у плані рейсу слід передбачити заборону зупинок у місцях з підвищеною пожежною небезпекою (поблизу АЗС, складів ЛЗР без необхідності,

місць масового скупчення людей) та вибір стоянок із можливістю контролю доступу до транспортної одиниці.

2.5.6 Орієнтовний графік рейсу

Графік рейсу сформовано як проєктний (орієнтовний) із урахуванням технологічних операцій на старті та фініші, режимів керування і відпочинку, а також часової невизначеності на кордоні. Час наведено у часовій зоні України (EET). Для операцій у Польщі під час зимового періоду фактичний місцевий час зазвичай на 1 годину менший, що враховується диспетчером при погодженні слотів на налив та в'їзд у пункт пропуску.

2.5.6.1 Розрахункові припущення для часу руху

Для розрахунку часу руху прийнято такі узагальнені припущення: середня швидкість на магістральних ділянках 65–75 км/год, у передмістях і на під'їздах до кордону 35–55 км/год. Тривалість перетину кордону приймається як інтервал 3–6 год з буфером, оскільки фактичний час визначається чергою та контрольними процедурами. Тривалість наливу в Плоцьку прийнята 2 год, тривалість зливу на нафтобазі 2,5 год.

Таблиця 2.3 Таблиця графіка рейсу (базовий 2-денний сценарій)

День/час (EET)	Етап	Орієнтовна тривалість	Примітки (ADR, організація)
День 1 07:00–09:00	Допуск під налив, заземлення, налив, пломбування, документи (Плоцьк)	2:00	Перевірка герметичності донних вузлів і пломб по секціях
День 1 09:00–13:00	Рух у напрямку коридору на Люблін	4:00	Магістральні ділянки; уникати

			центральних районів міст
День 1 13:00–13:45	Регламентна перерва	0:45	Планова перерва водія; короткий огляд арматури
День 1 13:45–17:30	Рух Люблін – передкордонна зона	3:45	Зменшення швидкості на під'їздах; контроль дистанції
День 1 17:30–18:30	Сервісний буфер, огляд, підготовка документів	1:00	Перевірка пломб, арматури, зв'язок з брокером
День 1 18:30–05:30	Добовий відпочинок	11:00	Стоянка бажано охоронювана/контрольована
День 2 05:30–06:30	Під'їзд до пункту пропуску Hrebenne	1:00	Вхід у чергу, фінальний передкордонний огляд
День 2 06:30–12:00	Перетин кордону (Hrebenne – Рава-Руська)	5:30	Інтервал 3–6 год + буфер; можливі затримки
День 2 12:00–15:30	Рух Рава-Руська – Львівський обхід – напрямом Тернополя	3:30	Уникати центру Львова; контроль

			швидкості на розв'язках
День 2 15:30–16:15	Перерва/контроль	0:45	Перерва водія та контроль стану
День 2 16:15–18:30	Рух до Тернополя та під'їзд до нафтобази	2:15	Рух приміською зоною з підвищеною обережністю
День 2 18:30–21:00	Допуск, злив, оформлення приймання	2:30	Контроль герметичності, відсутності розливу, оформлення актів

З наведеного графіка випливає, що доставка у двохденному сценарії є досяжною навіть за наявності відчутної невизначеності на кордоні, оскільки основні часові резерви формуються за рахунок передкордонної підготовки, планування нічного відпочинку до перетину кордону та буфера на контрольні процедури.

2.5.7 Підсумок та рекомендації для практичної диспетчеризації

Запропонований маршрут «Плоцьк – Люблін – Нгебенне/Рава-Руська – Львівський обхід – Тернопіль» є доцільним як базовий проектний коридор для перевезення бензину автоцистерною, оскільки забезпечує переважання доріг вищих категорій, відносно короткий пробіг українською ділянкою та можливість організації планових зупинок і контрольних оглядів. Графік рейсу сформовано з урахуванням технологічних операцій на старті й фініші, режимів роботи водія та

ризик затримок на кордоні, що відповідає ризик-орієнтованому підходу до перевезення небезпечних вантажів.

Для реального виконання перевезення рекомендовано уточнювати: актуальні дорожні обмеження на дату рейсу; фактичну пропускну здатність пункту пропуску; перелік допустимих стоянок (із урахуванням вимог ADR та внутрішніх регламентів компанії); а також наявність/готовність приймальної ємності на нафтобазі. У випадку суттєвого зростання черги на кордоні слід завчасно застосовувати резервний маршрут, забезпечивши при цьому дотримання режимів керування та обов'язковість планових оглядів арматури й пломб.

3 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Безпека життєдіяльності при перевезенні бензину автомобільним транспортом

У системі безпеки життєдіяльності при перевезенні бензину автомобільним транспортом найкритичнішим сценарієм надзвичайної ситуації є займання палива або пароповітряної суміші. Небезпека полягає в тому, що бензин швидко випаровується, пари стеляться біля землі, можуть “тікати” на десятки метрів до джерела запалювання, а після спалаху полум’я здатне миттєво поширюватися по розливу та по парах у приземному шарі. Тому рекомендації щодо дій при займанні мають бути максимально конкретними, прив’язаними до типових умов рейсу та технологічних операцій нафтоналиву/зливу, і орієнтованими на пріоритет збереження життя, попередження вибухового розвитку події та швидку локалізацію невеликого осередку лише за умови відсутності загрози для водія й оточуючих.

Першочерговий принцип реагування такий: якщо є реальна небезпека розгортання пожежі (полум’я біля цистерни, у зоні арматури, під днищем, біля коліс, на зливних рукавах, біля дихальних клапанів), водій не “рятує вантаж”, а рятує людей і запобігає ураженню інших учасників руху. Найчастіше критичною помилкою стає спроба одразу “погасити будь-що” без оцінки обстановки: це призводить до опіків, отруєння парами та блокування шляхів відступу. Тому алгоритм починається з оцінки масштабу: невелике локальне горіння (наприклад, запалення пролитого бензину на землі на кількох квадратних метрах, без нагріву цистерни) може бути локалізоване первинними засобами пожежогасіння; натомість полум’я в зоні цистерни, арматури або значний розлив, що горить, розглядається як подія, де самостійне гасіння є вкрай ризикованим і пріоритетом стає евакуація та виклик служб.

Якщо займання сталося під час руху, безпечна зупинка має виконуватися максимально швидко, але без панічного маневрування. Автопоїзд зупиняють у

місці, яке мінімізує ризики для оточення: по можливості подалі від скупчення людей, АЗС, складів, тунелів, мостів, щільної забудови, а також подалі від ливневих решіток, кюветів із водою та місць, де паливо може потрапити в каналізацію. Двигун необхідно вимкнути, запалювання відключити, але при цьому не виконувати зайвих операцій, які можуть спричинити іскру, якщо полум'я вже біля кабіни або електропроводки. Після зупинки водій організовує попередження інших: аварійна сигналізація, виставлення знаків на безпечній дистанції з урахуванням вітру та видимості, і негайний виклик 101 та 102 із чітким повідомленням, що перевозиться бензин, із зазначенням місця, напрямку руху, наявності цистерни, чи є розлив і чи є постраждалі. Одночасно слід повідомити диспетчера/перевізника відповідно до внутрішніх інструкцій, але це не повинно затримувати виклик рятувальників.

Дуже важливо правильно оцінити напрямок вітру. Усі дії виконують із навітряного боку, тобто так, щоб вітер відносив пари й дим від людини. Це суттєво знижує ризик отруєння парами та попадання у зону повторного спалаху. Людей, які опинилися поруч, необхідно відвести проти вітру та на відстань, яка гарантує безпечність у разі спалахування парів або розширення пожежі. Якщо в місці події є загроза для інших транспортних засобів, потрібно по можливості зупинити рух на під'їзді до місця пожежі, але без самовільного ризикованого перекриття траси, якщо це створює загрозу водієві.

Гасіння первинними засобами доцільне лише за сукупності умов: осередок невеликий, є чіткий шлях відступу, немає нагріву цистерни або арматури, горіння не "підбирається" до зливних/наливних точок, немає інтенсивного виходу парів, а саме полум'я не розвивається лавиноподібно. У таких ситуаціях найефективнішими є порошкові вогнегасники або піноутворювальні засоби, якщо вони передбачені оснащенням і справні. Порошок працює як швидкий "збивач" полум'я, а піна створює покривний шар, який ізолює бензин від кисню та зменшує випаровування. Воду у вигляді струменя для бензину застосовувати не можна, бо вона, як правило, сприяє розтіканням ЛЗР і збільшує площу горіння. Якщо водій використовує порошковий вогнегасник, правильна тактика полягає

в подачі порошку короткими порціями, прицілюючись у “корінь” полум’я, просуваючись лише за умови, що полум’я зменшується, і постійно зберігаючи можливість відійти. Якщо полум’я збили, але бензин продовжує випаровуватись, ризик повторного займання залишається, тому зона має бути ізольована, а будь-які іскроутворювальні дії заборонені до прибуття пожежних.

Якщо займання сталося під час зливу або наливу на нафтобазі чи АЗС, перша дія - зупинка технологічного процесу штатними засобами. Це означає припинення перекачування (кнопка аварійної зупинки, перекриття насосів, закриття запірної арматури у визначеній регламентом послідовності), але лише якщо це можна зробити без входження в зону полум’я. Наступний крок - негайне від’єднання людей від джерела небезпеки: евакуація персоналу та сторонніх, огороження, повідомлення відповідального за пожежну безпеку об’єкта та виклик 101. На таких майданчиках зазвичай є власні первинні засоби пожежогасіння та локалізації розливів, і діяти потрібно згідно з їх технологічною картою, однак водій повинен мати базове правило: якщо полум’я в зоні рукавів, арматури чи горловини, підходити близько не можна, оскільки можливе раптове факельне горіння або прогрів парового простору з різким збільшенням тиску. У разі загоряння проливу на майданчику доцільним є накриття поверхні піною або використання порошку для збиття полум’я, після чого пролив локалізують сорбентом і не допускають його потрапляння у зливову каналізацію.

При пожежі в зоні двигуна тягача або електропроводки кабіни, коли цистерна ще не залучена, допустима обережна спроба гасіння підкапотного простору порошком, але з дуже важливою деталлю: капот не відкривають різко повністю, бо приплив кисню може спричинити спалах. Його прочиняють мінімально, спрямовують струмінь вогнегасника у щілину, після чого оцінюють ефект. Якщо вогонь швидко наростає або є ознаки, що полум’я може перекинутися на зону цистерни, гасіння припиняють і відходять на безпечну відстань. Додатковою небезпекою є розігрів шин і гальмівних механізмів: у разі горіння колеса або гальм підходити збоку ризиковано, оскільки можливий вибух шини, який може травмувати навіть на відстані кількох метрів.

Окремо слід зафіксувати заборонені дії, які найчастіше призводять до тяжких наслідків. Не можна намагатися “від’їхати ближче” до місця гасіння, якщо вже є розлив і горіння - рух може рознести вогонь і спричинити займання парів. Не можна використовувати відкритий вогонь чи іскроутворювальні інструменти поруч із зоною проливу навіть після видимого припинення горіння, оскільки пари зберігаються. Не допускається злив бензину “щоб полегшити вагу” у випадку пожежі: це різко збільшує площу горючої поверхні. Не можна залишатися в низинах і з підвітряного боку, де накопичуються пари. Не можна заходити між автопоїздом і джерелом вогню так, щоб втратити шлях відступу. Не можна гасити бензин водою струменем; якщо й застосовується вода, то у професійних підрозділів вона використовується як захисне охолодження конструкцій або як водяна завіса для осадження парів, але це вже тактика пожежних.

Після первинних дій обов’язковим є утримання зони до прибуття служб і передача інформації: що саме горіло (пролив, підкапотний простір, рукав, арматура), чи є витік, якого орієнтовно масштабу, у якому напрямку вітер, чи є ливнева каналізація/водойма поруч, чи є постраждалі, які дії вже виконані (насос зупинено, арматура перекрита, застосовано вогнегасники). Ця інформація дає змогу пожежним одразу обрати правильну тактику - пінну атаку по площі проливу, охолодження, встановлення водяної завіси або роботи з ліквідації витоку.

У підсумку, конкретні рекомендації при займанні бензину зводяться до чіткої послідовності: швидко зупинити джерело ризику (рух/насос) лише безпечними діями, негайно викликати рятувальні служби, діяти з навітряного боку, організувати евакуацію та ізоляцію зони, застосовувати порошок або піну тільки для малого осередку і лише за наявності безпечного відступу, не використовувати водяний струмінь, не виконувати іскроутворювальних дій і не намагатися “вирішити все самому”, якщо полум’я залучає цистерну, арматуру або значний розлив. Саме така дисциплінована модель поведінки найбільш

ефективно зменшує ризик тяжких наслідків для життя і здоров'я при перевезенні бензину автотранспортом.

3.2 Охорона праці при завантаженні палива в цистерну

Завантаження бензину в автоцистерну належить до робіт підвищеної небезпеки, оскільки поєднує одночасну дію кількох критичних чинників: високу пожежо- та вибухонебезпечність пароповітряних сумішей, токсичну дію вуглеводневих парів, ризик утворення статичної електрики, імовірність аварійного розливу та вплив транспортних ризиків на майданчику (рух техніки, маневрування, обмежені габарити). Саме на етапі наливу формується найбільша концентрація парів і найвища ймовірність неконтрольованого джерела займання, тому вимоги охорони праці тут мають бути максимально конкретними, процедурними та технічно підкріпленими.

Практика організації безпечного наливу спирається на поєднання організаційних заходів (допуск персоналу, інструктажі, технологічна дисципліна), технічних бар'єрів (заземлення/зрівнювання потенціалів, системи проти переливу, герметичні з'єднання, рекуперація парів) і режимних обмежень (контроль джерел займання, вибухозахищене електрообладнання, порядок дій при відхиленнях).

В Україні пожежна безпека на об'єктах зберігання/транспортування/реалізації нафтопродуктів регламентується профільними правилами, затвердженими наказом Мінпаливенерго № 658 (чинний документ), які прямо задають вимоги до організації пожежобезпечної експлуатації технологічних об'єктів, у тому числі зливно-наливних операцій на естакадах і майданчиках. Одночасно застосовуються загальні «Правила пожежної безпеки в Україні» (наказ МВС № 1417; актуальна редакційність у реєстрі Верховної Ради відображається як чинна), що задають базові вимоги до режиму, інструкцій, евакуаційних та первинних засобів пожежогасіння, нарядів-допусків на вогневі роботи тощо.

Для міжнародних автомобільних перевезень небезпечних вантажів (і як найкраща практика для внутрішніх перевезень) застосовують ADR у чинній редакції (2025), де визначено вимоги до цистерн, їхнього обладнання, маркування та процедур безпеки. Класифікація вибухонебезпечних зон і принципи вибору вибухозахищеного обладнання базуються на серії стандартів EN/IEC 60079, зокрема на підходах до зонування газових вибухонебезпечних атмосфер (в Україні діє відповідний ДСТУ EN 60079-10-1 у редакціях національного прийняття).

Окремий важливий блок технічної безпеки наливу - це вузли нижнього наливу, рекуперації парів та системи запобігання переливу (overfill prevention), для яких існують профільні технічні вимоги/настанови європейської практики та сертифікаційних органів (як приклад - узагальнені вимоги до розташування адаптерів нижнього наливу, вузла рекуперації парів і роз'єма системи проти переливу).

З екологічної та санітарної точки зору, зменшення викидів парів бензину під час наливу та розподілу пального є загальновизнаною вимогою «стадії І» рекуперації парів, коли пари повертають у резервуар/цистерну або в систему терміналу.

Провідним небезпечним фактором є утворення вибухонебезпечної пароповітряної суміші в зоні дихальних отворів, люків, місць приєднання рукавів/наливних пристроїв та в разі будь-якої негерметичності. Це безпосередньо пов'язано з імовірністю займання від статичної іскри, електричної іскри, нагрітих поверхонь, відкритого полум'я, а також від іскроутворення при ударах металевими предметами.

Другий блок ризиків - токсикологічний. Пари бензину подразнюють слизові, можуть викликати головний біль, запаморочення, зниження уваги й координації, що прямо підвищує травмонебезпеку в зоні руху техніки та біля арматури. Окремо враховують вміст ароматичних компонентів у бензині (зокрема бензену), що обумовлює потребу в дисципліні герметизації, вентиляції та обмеженні часу перебування у «парній» зоні.

Третій блок - механічні та організаційні ризики. Це наїзд/притискання під час маневрування, падіння з висоти (особливо при верхньому наливі), травмування при роботі з рукавами/телескопічними трубами, розрив рукава під тиском, «хлистовий» ефект рукава, розлив із подальшим ковзанням і падінням, а також ризики ураження електричним струмом у разі несправності обладнання або неправильного заземлення.

Безпечна організація наливу починається з правильно визначених вибухонебезпечних зон та підбору обладнання відповідного рівня вибухозахисту. Підхід до класифікації зон (типово зони 0/1/2 для газо-парових середовищ) ідентифікує простір, у якому вибухонебезпечна атмосфера присутня постійно/часто/епізодично, та визначає вимоги до електрообладнання, освітлення, засобів зв'язку та інструменту.

У зоні наливу мають бути жорстко виключені будь-які неконтрольовані джерела займання. Це означає заборону куріння та відкритого вогню, обмеження використання несертифікованих електроприладів і телефонів у небезпечній зоні, заборону іскроутворювальних робіт без наряду-допуску і спеціальних протипожежних заходів, а також контроль стану поверхонь і агрегатів, які можуть нагріватися. Загальні вимоги до такого режиму та документування процедур пожежної безпеки задаються національними правилами пожежної безпеки.

До наливу бензину допускають працівників, які пройшли навчання з охорони праці, первинний/повторний інструктаж, цільовий інструктаж перед виконанням робіт за необхідності, а також перевірку знань щодо дій у разі аварійної ситуації. Працівник повинен розуміти технологічну схему наливу, призначення арматури та запірних пристроїв, порядок роботи системи рекуперації парів і проти переливу, і вміти безпечно зупинити налив у будь-який момент.

Критично важливою є вимога тверезого та працездатного стану, оскільки навіть короткочасне зниження уваги в зоні наливу бензину різко підвищує ймовірність помилки: передчасне від'єднання рукава, відсутність контролю

герметичності, переповнення секції, неправильна послідовність операцій із заземленням.

Під час наливу застосовують антистатичний спецодяг і спецвзуття (з електропровідними/антистатичними властивостями), захист очей (окуляри або щиток) від бризок, рукавички, сумісні з нафтопродуктами, а за умов відсутнього парового навантаження або роботи в місцях із недостатнім повітрообміном - фільтрувальні засоби захисту органів дихання від органічних парів. Наявність ЗІЗ не замінює технічних бар'єрів (герметизації та рекуперації парів), але зменшує наслідки інцидентів на рівні людини.

Майданчик наливу має забезпечувати керованість ризику розливу і займання: організований рух транспорту з розділенням потоків, достатнє освітлення вибухозахищеного виконання, наявність засобів локалізації розливу (сорбенти, ємності для забруднених матеріалів), справні первинні засоби пожежогасіння і доступність аварійного відключення насосів/наливного поста відповідно до вимог пожежної безпеки на об'єктах нафтопродуктів.

Як базова безпечніша технологія розглядається нижній налив із герметичним під'єднанням, рекуперацією парів і системою запобігання переливу. У практиці технічних вимог до цих вузлів окремо підкреслюють важливість коректного розміщення і сумісності адаптерів нижнього наливу, лінії рекуперації парів та роз'єма системи проти переливу, оскільки це впливає і на швидкість операції, і на ймовірність помилок під'єднання/пошкодження.

Рекуперація парів є не лише екологічною, а й безпековою мірою: що менше парів виходить у зону робіт, то нижчий ризик утворення вибухонебезпечної атмосфери.

Перед початком наливу автоцистерну встановлюють у визначене місце, забезпечують її нерухомість, виконують вимоги місцевого режиму безпеки (обмеження швидкості, сигнали, знаки), після чого переводять транспорт у безпечний стан: двигун зупиняють, сторонні електроспоживачі вимикають, доступ сторонніх осіб у небезпечну зону припиняють. На цьому етапі персонал зобов'язаний оглянути цистерну та наливні вузли на предмет підтікання,

механічних пошкоджень, відсутності заглушок/кришок, несправності арматури та ознак попереднього розливу, що може створити «дзеркало» бензину й різко підвищити пожежний ризик.

Далі виконується ключова операція електростатичної безпеки: зрівнювання потенціалів і заземлення автоцистерни (під'єднання заземлювального затискача до визначеної точки). Саме ця дія повинна передувати будь-якому відкриванню люків або під'єднанню рукавів, оскільки рух пального та тертя в потоці генерують статичні заряди. У міжнародній практиці ADR окремо приділяється увага маркуванню/символіці заземлення на цистернах, що підкреслює принципову роль правильної процедури заземлення як бар'єра займання.

Після підтвердження заземлення під'єднують лінії наливу (переважно нижній налив) і, якщо передбачено, лінію рекуперації парів. Далі перевіряють герметичність з'єднань, правильність вибору секції/відсіку, положення запірної арматури та готовність системи запобігання переливу. У разі використання системи проти переливу налив дозволяється лише при справному з'єднанні сигнального контуру; це не «опція комфорту», а функціональна вимога, що запобігає найтипівішій аварії наливу - переповненню секції з викидом бензину та парів у зону робіт. Наявність і роль таких систем, як і технічні настанови щодо їх застосування під час наливу/зливу цистерн з ЛЗР класу 3 ADR, підкреслюються у профільних документах і стандартах наливних операцій.

Під час самого наливу працівник веде безперервний нагляд за процесом: контролює показники витрати/тиску (за наявності), стан з'єднань, появу запаху, туману або ознак підтікання, відстежує, чи не виникає вібрація або натяг рукавів, і тримає доступним аварійний «стоп». Будь-яке відхилення - навіть «незначне підкапування» - розглядають як сигнал до негайного припинення подачі, оскільки для бензину характерне швидке випаровування і формування горючої хмари біля землі.

Після завершення наливу спочатку зупиняють подачу, забезпечують стік залишків у технологічну систему, виконують операції розгерметизації лише

після зняття тиску в лініях, від'єднують рукави/адаптери, встановлюють заглушки та кришки, перевіряють відсутність підтікання. Принципово важливо, що заземлення знімають в останню чергу, коли всі з'єднання вже розімкнені й цистерна герметизована; така послідовність мінімізує ризик іскри в момент, коли пари ще можуть бути присутні в небезпечній концентрації.

При виявленні витоку або розливу першою дією є негайна зупинка наливу (аварійне відключення подачі), припинення будь-яких робіт і усунення джерел займання. Далі зона ізолюється: обмежується доступ, організовується попереджувальне огороження, персонал виводиться з низинних ділянок, де можуть накопичуватися пари. Розлитий бензин локалізують сорбентом або іншими штатними засобами локалізації; змивання в каналізацію є неприпустимим, бо переносить пожежний ризик у колектори та створює екологічні наслідки.

У разі загоряння діють відповідно до інструкцій об'єкта і плану реагування, який має бути розроблений на підставі вимог пожежної безпеки для об'єктів нафтопродуктів та загальних правил пожежної безпеки в Україні. Вогнегасні речовини та тактика залежать від масштабу осередку; у будь-якому випадку пріоритетом є зупинка подачі пального і захист людей, а гасіння без припинення подачі розглядається як малоефективне й небезпечне.

Охорона праці при завантаженні бензину в автоцистерну має будуватися як система взаємопідсилювальних бар'єрів: чіткий допуск і дисципліна персоналу, технологічно правильна послідовність операцій, обов'язкове заземлення та зрівнювання потенціалів, герметичний нижній налив із рекуперацією парів і справною системою запобігання переливу, зонування та вибухозахищене обладнання відповідно до стандартів вибухонебезпечних середовищ. У сукупності ці заходи зменшують ймовірність ключових аварійних сценаріїв наливу - переповнення, розливу, займання від статичної електрики та ураження персоналу токсичними парами - і забезпечують прийнятний рівень професійного ризику при роботі з бензином як ЛЗР.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне завдання удосконалення організації міжнародного автомобільного перевезення бензину автоцистернами за маршрутом нафтопереробний комплекс ORLEN (м. Плоцьк, Польща) – нафтобаза поблизу м. Тернопіль.

У процесі дослідження встановлено, що бензин як небезпечний вантаж класу 3 за ADR характеризується високою пожежо- та вибухонебезпечністю, значною леткістю та схильністю до утворення вибухонебезпечних пароповітряних сумішей. Це обумовлює підвищені вимоги до організації транспортного процесу, технічного стану автоцистерни, підготовки персоналу та дотримання нормативно-правових вимог.

У першому розділі виконано комплексний аналіз об'єкта дослідження, сформовано транспортну характеристику бензину та визначено ключові фактори ризику при його перевезенні. Встановлено, що найбільш критичними етапами транспортного процесу є операції наливу та зливу, а також проходження складних ділянок маршруту. Узагальнення нормативно-правової бази показало, що ефективна організація перевезення можлива лише за умови одночасного дотримання вимог ADR, міжнародних угод та національного законодавства України і Польщі.

У другому розділі обґрунтовано вибір складу автопоїзда у конфігурації сідлового тягача Mercedes-Benz Actros L 1845 LS 4×2 та напівпричепа-цистерни Kässbohrer K.STB E 39 / 5 (11/24), що забезпечує відповідність вимогам вантажопідйомності, безпеки та нормативних обмежень. Проведені розрахунки технічних характеристик дозволили визначити максимально допустимий об'єм наливу бензину з урахуванням обмежень по повній масі автопоїзда та осьових навантаженнях. Це забезпечує експлуатацію транспортного засобу без порушення нормативів і з мінімізацією ризику перевантаження.

Розроблений маршрут перевезення з урахуванням міжнародного сполучення Польща–Україна дозволив визначити раціональний транспортний

коридор через пункт пропуску Hrebenne – Рава-Руська. Виконаний аналіз альтернативних маршрутів і оцінка ризиків підтвердили доцільність вибору основного варіанту за критеріями безпеки, часу доставки та надійності. Складений графік руху та визначені контрольні точки забезпечують ефективну диспетчеризацію перевезення та підвищують керованість транспортного процесу.

У роботі встановлено, що ключовими факторами безпеки перевезення бензину є технічна справність цистерни та її арматури, контроль герметичності, дотримання режимів руху, правильна організація зупинок, а також наявність ефективної системи аварійного реагування. Особливу роль відіграють заходи щодо запобігання утворенню статичної електрики та виключення джерел запалювання.

У третьому розділі визначено основні небезпеки при перевезенні бензину та виконанні вантажних операцій, а також розроблено комплекс заходів з охорони праці та безпеки життєдіяльності. Доведено, що впровадження регламентованих процедур контролю, використання засобів індивідуального захисту, дотримання технології наливу/зливу та підготовка персоналу дозволяють суттєво знизити ймовірність аварійних ситуацій і травматизму.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що запропоновані організаційно-технічні рішення забезпечують підвищення ефективності, безпеки та керованості процесу міжнародного перевезення бензину автоцистернами. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів транспортними підприємствами для оптимізації перевезень небезпечних вантажів, зниження експлуатаційних ризиків та забезпечення відповідності вимогам ADR.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ширін Л. Н., Денищенко О. В., Барташевський С. Є., Коровяка Є. А., Расцветаєв В. О. Транспортування нафти, нафтопродуктів і газу : навч. посіб. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. 203 с.
2. Вільковський Є. К., Кельман І. І., Бакуліч О. О. Вантажознавство (вантажі, правила перевезень, рухомий склад). Львів : Інтеллект-Захід, 2007. 496 с.
3. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення : навч. посіб. Київ : Видавничий дім «Слово», 2010. 408 с.
4. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Варчук В. В. Організація автомобільних перевезень : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2015. 139 с.
5. Панченко С. В., Каграманян А. О., Блиндюк В. С. та ін. Вантажні перевезення. Управління вантажною і комерційною роботою : підручник. Харків : УкрДУЗТ, 2016.
6. Данько М. І. Перевезення небезпечних вантажів : підручник. Харків : УкрДУЗТ, 2019.
7. Горяїнов О. М. Транспортні технології і логістика. Книга 1. Теорія і практика вантажних перевезень : підручник. Харків : ХНТУСГ, 2013. 490 с.
8. Пахно О., Шок В. Перевезення нафтопродуктів в автоцистернах : посібник для водіїв. Київ : ADR Lab, 2021. 231 с.
9. Convention concerning International Carriage by Road of Dangerous Goods (ADR). Geneva : United Nations, 2021.
10. McKinnon A., Browne M., Whiteing A. Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics. 3rd ed. London : Kogan Page, 2015.
11. Carson P. A., Mumford C. J. Hazardous chemicals handbook. 3rd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002.