

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГИЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **«Удосконалення конструкції автомобіля-паливозаправника
шляхом додаткового оснащення системою подачі рідини AdBlue»**

Виконав: студент IV курсу групи Ат-41

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”

(шифр і назва)

Артур КУЗЬМИК

(ім'я та прізвище)

Керівник: Ігор ДУФАНЕЦЬ

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

Кузьмик А. Ю. Удосконалення конструкції автомобіля-паливозаправника шляхом додаткового оснащення системою подачі рідини AdBlue. Дубляни, ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького, 2025. 64 с.

Рисунок 11, табл. 1, бібл. посилань 31.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення експлуатаційної ефективності автомобіля-паливозаправника шляхом його конструктивного удосконалення, зокрема — оснащенням додатковою автономною системою перевезення та заправки рідини AdBlue. Реалізація такого технічного рішення дозволяє забезпечити комплексне обслуговування сучасних дизельних транспортних засобів, які відповідають вимогам екологічних стандартів Euro-5 та Euro-6.

У процесі виконання роботи передбачається вирішення таких завдань:

- провести аналіз існуючих конструкцій паливозаправників та систем подачі AdBlue;
- обґрунтувати доцільність удосконалення конструкції автомобіля-паливозаправника з урахуванням сучасних екологічних вимог;
- розробити конструктивне рішення щодо інтеграції додаткової системи перевезення та подачі AdBlue до складу автомобіля-паливозаправника;
- здійснити розрахунки основних параметрів вузлів розробленої системи AdBlue;
- виконати техніко-економічне обґрунтування впровадження запропонованого удосконалення.

Об'єкт дослідження - автомобіль-паливозаправник, призначений для транспортування та дозування пального на місцях експлуатації техніки.

Предмет дослідження - конструктивні особливості системи перевезення та подачі рідини AdBlue, інтегрованої в конструкцію автомобіля-паливозаправника.

Практичне значення роботи полягає у модеонізації автомобіля-паливозаправника з метою одночасної заправки паливом та рідиною та AdBlue, що скорочує час обслуговування техніки, знижує витрати на окрему логістику і підвищує рівень екологічної відповідності експлуатації автотранспорту.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. РОЗДІЛ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	9
1.1 Аналіз існуючих автомобілів-паливозаправників.....	9
1.2 Огляд властивостей та призначення AdBlue	16
1.3 Огляд технічних характеристик тягачів і причепів для транспортування AdBlue.....	21
2.РОЗДІЛ. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	23
2.1 Обґрунтування доцільності розробки додаткової ємності для AdBlue..	23
2.2 Розробка додаткової ємності Adblue для паливозаправника.	27
2.3 Розрахунок основних елементів та вузлів системи AdBlue.....	33
3.РОЗДІЛ. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.	40
3.1. Монтаж ємності AdBlue у конструкцію паливозаправника.	40
3.1Обслуговування ємності AdBlue.....	45
4.РОЗДІЛ. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	49
4.1. Заходи безпеки при експлуатації паливозаправника.....	49
4.2. Специфічні заходи охорони праці при роботі з ємністю для AdBlue.....	52
5.РОЗДІЛ. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	56
5.1. Економічна доцільність використання комбінованого паливозаправника.	56
5.2. Витрати на виготовлення та монтаж ємності AdBlue.....	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

В сучасних умовах експлуатації дизельної техніки з використанням технологій зниження шкідливих викидів (SCR – селективного каталітичного відновлення) забезпечення транспортних засобів розчином AdBlue є так само критичною потребою, як і постачання основного пального. Отже, для підприємств, що експлуатують сучасну дизельну техніку, наявність своєчасного постачання AdBlue на рівні з дизельним паливом є об'єктивною необхідністю.

Традиційно заправка машин розчином AdBlue здійснюється або на стаціонарних АЗС (обладнаних окремими насосами для цього реагенту), або шляхом привезення AdBlue у каністрах чи бочках до місця експлуатації техніки. У випадку віддалених або польових умов (кар'єри, будівельні майданчики, фермерські господарства тощо) компаніям доводиться організовувати мобільну заправку. Найчастіше це відбувається за допомогою автомобілів-заправників – спеціальних машин, обладнаних цистернами для перевезення пального і заправним обладнанням (насоси, рукави, паливні колонки). Проте стандартні паливозаправники, розраховані на дизель чи бензин, як правило не мають окремої ємності для AdBlue. Якщо виникає потреба заправляти на об'єкті і пальне, і реагент AdBlue, доводиться або залучати два окремих транспортних засоби (один везе пальне, інший – бочку чи ємність з AdBlue), або здійснювати дозаправку AdBlue вручну з ємностей малої місткості. Обидва підходи є неефективними: вимагають додаткового персоналу, збільшують витрати часу, пального і трудові затрати, а також підвищують ризики розливів реагенту.

Для вирішення цієї проблеми деякі виробники і оператори пального запроваджують комбіновані заправники, здатні перевозити дизельне паливо та AdBlue одночасно одним автомобілем. Зокрема, компанії, що спеціалізуються на виїзній заправці техніки, обладнують всі свої паливозаправні машини

окремим відсіком для AdBlue. Наприклад, у Нідерландах оператор FullTank на своїх мобільних заправниках 4×4 передбачив двосекційні цистерни: окремий відсік для дизелю та окремий – для AdBlue, що дає змогу заправляти генератори, насоси, будівельну техніку двома видами рідини одночасно. Такий підхід підвищує ефективність логістики і дозволяє оперативніше обслуговувати машини на віддалених об'єктах. Проте більшість існуючих паливозаправників все ще не мають вбудованих резервуарів для реагенту. Як наслідок, назрілою є потреба в модернізації паливозаправної техніки – інтеграції додаткових ємностей для AdBlue у їх конструкцію.

Метою даного проекту є розробка конструкції додаткової ємності для розчину AdBlue, яку можна вбудувати в автомобіль-паливозаправник. Така конструкція повинна забезпечити одночасне транспортування дизельного пального і AdBlue одним автомобілем, що зменшить експлуатаційні витрати та час простою техніки.

1. РОЗДІЛ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

1.1 Аналіз існуючих автомобілів-паливозаправників.

Автомобілі-паливозаправники є спеціалізованими транспортними засобами, призначеними для транспортування, зберігання та роздачі світлих нафтопродуктів, переважно дизельного пального або бензину. Їх використовують у сільському господарстві, будівництві, транспортній логістиці, авіації, військовій справі та інших галузях, де необхідне мобільне забезпечення техніки паливом.

Основні функції паливозаправників це:

- транспортування пального коли авто-паливозаправники здійснюють доставку нафтопродуктів від місць зберігання (нафтобаз, терміналів) до споживачів, забезпечуючи безпечне перевезення небезпечних вантажів відповідно до вимог ADR.

- зберігання пального а саме цистерна паливозаправника дозволяє тимчасово зберігати паливо без погіршення його якості. Конструкція цистерн передбачає герметичність, антикорозійне покриття, наявність декількох секцій для роздільного зберігання різних продуктів.

- роздача пального (заправка техніки) за допомогою насосного обладнання, шлангів і роздавальних пістолетів паливозаправник виконує функцію мобільної АЗС, здійснюючи заправку техніки безпосередньо на місці її експлуатації.

- облік та контроль витрати пального, сучасні паливозаправники оснащуються системами обліку, що дозволяють точно вимірювати обсяг виданого пального. Це можуть бути електронні витратоміри, дисплеї, системи GPS-контролю та звітності.

- автономна робота в польових умовах, завдяки автономності та мобільності, паливозаправники можуть працювати у віддалених районах, де

немає доступу до стаціонарної інфраструктури, забезпечуючи безперервну роботу техніки.

Окрім пального, деякі моделі паливозаправників мають резервуари для рідин типу AdBlue, що є важливим для сучасної дизельної техніки з системою SCR.

Сфери застосування: сільське господарство — для заправки тракторів, комбайнів, оприскувачів; будівництво — забезпечення паливом екскаваторів, бульдозерів, генераторів; транспорт і логістика — автономна заправка вантажівок, автобусів; авіація — заправка літаків у регіональних аеропортах; військова справа — мобільне постачання пального в зонах бойових дій; енергетика — заправка дизель-генераторів та іншого обладнання.

Переваги паливозаправників: можливість заправки техніки без виїзду до АЗС; економія часу і ресурсів; точний облік витрат пального; висока мобільність та продуктивність; безпечне транспортування пального відповідно до міжнародних стандартів.

Таким чином, автомобілі-паливозаправники є незамінними в умовах, де потрібне швидке, надійне і автономне забезпечення техніки паливом. Їх використання дозволяє зменшити простої, оптимізувати логістику пального і підвищити ефективність виробничих процесів.

Існує багато різних автомобілі-паливозаправників які розроблені на базі різних шасі автомобілів до прикладу: IVECO Trakker, MAZ та MAN тощо.

Автопаливозаправник на базі IVECO Trakker є одним із найпоширеніших і технічно досконалих спеціалізованих автомобілів для транспортування та роздачі світлих нафтопродуктів. Завдяки своїм технічним характеристикам, надійності та високій прохідності, він широко використовується в енергетичному, аграрному, будівельному та військовому секторах.



Рисунок 1.1 Паливозаправник на базі IVECO Trakker.

IVECO Trakker — це лінійка важких вантажівок виробництва компанії IVECO (Італія), спеціально розроблена для роботи в умовах підвищених навантажень та на бездоріжжі. В основі автопаливозаправника лежить шасі цієї серії, на яке встановлюється цистерна з насосно-роздавальним обладнанням.

Технічні характеристики (на прикладі моделі IVECO Trakker AD380T41):

- Колісна формула: 6×4
- Двигун: Cursor 13, дизельний, 410 к.с., з турбонаддувом, стандарт Euro 5/6
- Коробка передач: 16-ступенева механічна або автоматизована
- Повна маса: до 33 000 кг
- Кабіна: двомісна або тримісна, з кондиціонером і автономним обігрівачем
- Шасі має підвіску з посиленими ресорами, що забезпечує експлуатацію у важких умовах

Надбудова автопаливозаправника: місткість цистерни: 10 000 – 20 000 літрів (залежно від модифікації), матеріал цистерни: алюмінієвий сплав або спеціальна сталь, система наливу: верхній або нижній налив, насосне обладнання: з продуктивністю 400–700 л/хв, шланги: з ручною або автоматичною катушкою, довжина до 20 м, система обліку: цифровий витратомір, можливість інтеграції з GPS.

Переваги автопаливозаправника на базі IVECO Trakker: потужне та надійне шасі, придатне до роботи у важких умовах, велика вантажопідйомність та місткість цистерни, можливість перевезення декількох типів пального одночасно, висока продуктивність насосу та точність дозування, відповідність вимогам ADR — безпечне транспортування нафтопродуктів, зручність обслуговування та наявність сервісної підтримки.

Недоліки: висока вартість як самого автомобіля, так і обслуговування, складність у ремонті складних електронних систем у польових умовах.

Автопаливозаправник на базі IVECO Trakker — це універсальне рішення для підприємств і служб, яким необхідне ефективне та мобільне забезпечення пально-мастильними матеріалами. Його технічні характеристики дозволяють здійснювати автономну заправку великої кількості техніки у віддалених або важкодоступних районах, що робить його незамінним у багатьох сферах економіки та оборони.

Паливозаправник на шасі Mercedes-Benz Arocs 2033-A 4x4 призначений для перевезення та заправки транспортних засобів дизельним паливом, бензином, AdBlue або іншими легкозаймистими та технічними рідинами в умовах важкопрохідних ділянок, будівельних майданчиків, кар'єрів та віддалених об'єктів. Завдяки повному приводу і високій прохідності дана модель здатна працювати в складних дорожніх умовах [1].

Модель побудована на базі двовісного шасі з колісною формулою 4×4, що забезпечує максимальну тягу та стійкість на бездоріжжі. Автомобіль обладнаний сучасним дизельним двигуном екологічного класу Євро-6, що

відповідає європейським нормам щодо викидів та забезпечує економічну експлуатацію.

Технічні характеристики шасі Mercedes-Benz Arocs 2033-A 4x4:

- Колісна формула: 4×4
- Двигун: Mercedes-Benz OM 470, 6-циліндровий турбодизель
- Потужність: 326–330 к.с.
- Коробка передач: автоматизована Mercedes PowerShift 3, 12-ступенева
- Вантажопідйомність шасі: до 11 000 кг
- Повна маса: до 20 000 кг
- Кабіна: ClassicSpace, 2-місна, з комфортним сидінням водія



Рисунок 1.2 Паливозаправник Mercedes-Benz Axor.

Надбудова паливозаправника: об'єм цистерни: від 8 000 до 12 000 літрів (в залежності від комплектації), матеріал цистерни: алюмінієвий сплав або вуглецева сталь з антикорозійним покриттям, вбудована насосна система:

шестеренчастий насос або мембранний насос, продуктивність насоса: 300–700 л/хв, система видачі: гнучкі рукави з автоматичними котушками довжиною до 15 м, облік виданої рідини: електронний лічильник із можливістю інтеграції в систему обліку, електрообладнання: вибухозахищене, згідно з нормами ADR

Переваги паливозаправника Mercedes-Benz Arocs 2033-A 4x4: висока прохідність завдяки повному приводу, потужний та економічний двигун нового покоління, надійна конструкція ходової частини для роботи в складних умовах, сучасна система обліку та контролю виданого пального, відповідність сучасним екологічним нормам, зручна кабіна з хорошою оглядовістю та комфортом для водія

Недоліки: вища вартість обслуговування порівняно з простішими моделями, висока маса самого автомобіля може обмежувати корисне навантаження на м'яких ґрунтах, обмежена маневреність у дуже тісних умовах через великі габарити

Паливозаправник на базі Mercedes-Benz Arocs 2033-A 4x4 є ефективним рішенням для енергетичних компаній, будівельно-дорожніх підприємств, агропромислових холдингів та військових підрозділів, що працюють у важкодоступних районах. Його висока надійність, сучасні системи контролю та безпеки дозволяють швидко та безпечно здійснювати заправку техніки в польових умовах.

Паливозаправник на базі MAN є сучасним і надійним рішенням для транспортування та роздачі світлих нафтопродуктів. Завдяки своїм високим технічним характеристикам, витривалості та прохідності, він знайшов широке застосування в енергетичному, аграрному, будівельному та військовому секторах.

MAN — це відомий німецький виробник важких вантажівок, що спеціалізується на створенні техніки, яка відповідає найвищим стандартам якості та витривалості. Автопаливозаправник базується на їхньому потужному шасі, на яке встановлюється цистерна з насосно-роздавальним обладнанням.



Рисунок 1.3 Паливозаправник на базі MAN.

Технічні характеристики:

- Колісна формула: 6×4
- Двигун: MAN D26, дизельний, 400 к.с., з турбонаддувом, стандарт Euro 5/6
- Коробка передач: 16-ступенева механічна або TipMatic (автоматизована)
- Повна маса: до 33 000 кг
- Кабіна: ергономічна, двомісна або тримісна, оснащена кондиціонером та автономним обігрівачем
- Підвіска: посилена ресорна або пневматична підвіска, що дозволяє працювати у важких умовах

Надбудова автопаливозаправника: місткість цистерни: 10 000 – 20 000 літрів (залежно від модифікації), кількість секцій: 2–5 (для зберігання різних типів пального), матеріал цистерни: алюмінієвий сплав чи спеціальна сталь, система наливу: верхній або нижній налив з вибухозахисним обладнанням, насосне обладнання: продуктивність насосів 400–700 л/хв, шланги: ручна чи

автоматична котушка, довжина до 20 м, система обліку: цифровий витратомір із можливістю інтеграції з бортовим комп'ютером та GPS.

Переваги автопаливозаправника на базі MAN: надійне та потужне шасі, розраховане для роботи у складних експлуатаційних умовах, велика вантажопідйомність та можливість перевезення значного об'єму пального, секційна конструкція цистерни для одночасного транспортування різних типів нафтопродуктів, висока продуктивність насосного обладнання та точність дозування пального, відповідність стандартам ADR — безпечне транспортування небезпечних вантажів. економічний та екологічний двигун з низьким споживанням пального, широка дилерська мережа та сервісна підтримка.

Недоліки: висока вартість автомобіля та його спеціалізованих компонентів, деякі складності у ремонті сучасних електронних систем поза сервісними центрами, необхідність навчання персоналу для обслуговування та експлуатації автозаправника.

Автопаливозаправник на базі MAN є надійним та ефективним рішенням для компаній, які шукають мобільний та функціональний засіб для транспортування та роздачі пально-мастильних матеріалів. Така техніка здатна забезпечувати автономією роботу машин і механізмів у важкодоступних районах, що робить її надзвичайно популярною у будівельній, фермерській, нафтовій та оборонній сферах. Потужність, універсальність та надійність автозаправника MAN гарантують високу ефективність та тривалий термін служби навіть у найскладніших умовах.

1.2 Огляд властивостей та призначення AdBlue

Для обґрунтування проекту розглянемо детальніше, що собою являє реагент AdBlue та які вимоги ставляться до ємностей для його транспортування. Сьогодні використання AdBlue — це не лише технічна вимога, а й показник корпоративної відповідальності. Підприємства, які

організують належне забезпечення своєї техніки AdBlue, демонструють дотримання міжнародних норм, дбають про навколишнє середовище та отримують переваги у формуванні позитивного іміджу.



Рисунок 1.4 Каністра з рідиною AdBlue.

Цей прозорий або злегка жовтий розчин із неприємним запахом є добавкою, яка впорскується безпосередньо у вихлопну систему автомобіля. Сприяє нейтралізації шкідливих оксидів з вихлопних газів. Тому, якщо ви хочете подбати про навколишнє середовище, а також про власне здоров'я, варто використовувати рідину AdBlue. Безсумнівно, багато водіїв замислюються над питанням про те, що насправді дає використання системи SCR і рідини AdBlue. Тривале перебування в середовищі, насиченому вихлопними газами, сприяє підвищенню ризику респіраторних інфекцій, захворювань серця та кровоносної системи і навіть деяких онкологічних хвороб. Організації, які досліджують вплив шкідливих речовин у вихлопних газах на довкілля і здоров'я людини, показали, що використання технологій SCR і AdBlue допомагає зменшити кількість оксидів азоту в газовій суміші, що виходить з вихлопної труби.

На початку варто сказати про склад AdBlue: це 67,5% демінералізованої води (H_2O) і 32,5% сечовини (NO_3). Тобто загальна хімічна назва AdBlue – 32,5% розчин сечовини (розчин карбаміду).

Сечовина не належить до небезпечних продуктів. Більше того – її активно застосовують у сільському господарстві, текстильній, фармацевтичній, хімічній промисловості та косметичі.

Умовою використання розчину AdBlue в автомобілі є наявність системи селективного каталітичного відновлення (SCR). Вона була представлена на ринку приблизно в 1950 році як реакція на проблему високого рівня вихлопних газів від фургонів. Використання цієї системи в автомобілях з дизельним двигуном стало обов'язковим у 2011-му, після встановлення нових стандартів викидів. Норми допустимої кількості оксидів азоту у вихлопних газах зменшено з 0,18 до 0,06 г/км. Роль AdBlue полягає у зменшенні викидів оксиду азоту, що вивільняються під час спалювання дизельного палива, тому AdBlue використовується лише в дизельних двигунах. AdBlue і пальне мають окремі заливні горловини та окремі баки. У зв'язку з тим, що вони виконують абсолютно різні функції, їх у жодному разі не можна змішувати. Якщо ви помилково залєте AdBlue в пальне, воно кристалізується у двигуні автомобіля і, таким чином, завадить йому працювати.

Дехто помилково вважає, що AdBlue змішується з паливом у камерах згоряння. Насправді він дозується в каталітичний нейтралізатор SCR. Останній, своєю чергою, встановлений у такому місці, щоб відпрацьовані гази, які проходять через нього, мали потрібну температуру. Завдяки цьому забруднення швидко реагують з рідиною AdBlue. Далі аміак виділяється із сечовини в резервуарі під впливом тепла. Коли всі вищезазначені умови виконуються, аміак вступає в хімічну реакцію з оксидом азоту, що міститься у вихлопних газах. Під час цього процесу шкідливі хімічні речовини нейтралізуються та перетворюються на летючий азот і водяну пару. Рідина

заливається у призначений для цього бак, зазвичай розташований поблизу паливної горловини.



Рисунок 1.5 Бак для заливки AdBlue.

Також варто знати, як виглядає індикатор AdBlue в окремих моделях авто і чому він загорається. Значок, що відображається на приладовій панелі автомобіля, зазвичай має вигляд характерної хмари вихлопних газів і двох крапель. Іноді відразу під ними з'являється невелика хвиля, яка символізує занадто мало рідини в резервуарі. Це досить чіткий знак, який вказує на необхідність додавання рідини найближчим часом. Одна з найголовніших переваг використання AdBlue – значне зниження викиду токсичних сполук в атмосферу. Вихлопні гази автомобіля збільшують ризик розвитку багатьох захворювань. Основними шкідливими речовинами, які утворюються в результаті згоряння палива, є вуглекислий газ, метан, аміак, оксид азоту. Завдяки розчину AdBlue, а також каталізатора, вихлопні гази містять менший

відсоток оксиду азоту. Ще однією перевагою використання автомобіля з баком AdBlue є зниження витрати дизельного палива приблизно на 5 %. Статистика також показує, що власники автомобілів, оснащених цією системою, рідше скаржаться на несправності трансмісії.

Важлива проблема – замерзання AdBlue. Фахівці попереджають, що розчин замерзне, якщо температура всередині бака автомобіля опуститься нижче -11°C . Щоб вирішити проблему, виробники почали встановлювати в автомобілі спеціальні обігрівачі, які швидко розморожують замерзлу рідину. Проте паркувати машину поза гаражем у морозні дні ризиковано. У результаті всередину насоса може потрапити не повністю розморожена рідина AdBlue, що призведе до несправностей, які потребуватимуть дорогого ремонту. Замерзлий розчин AdBlue у каністрі не втрачає своїх властивостей, його можна використовувати після розморожування.

На практиці витрата AdBlue на легкових і вантажних автомобілях відрізняється. На легковому авто витрата AdBlue залежить від стилю водіння, типу поїздки, навантаження на транспортний засіб і умов навколишнього середовища і становить від 1 до 3 літрів на 1000 км пробігу. Тож якщо бак має об'єм, наприклад, 19 л, то його вистачить майже на 8000 км.

На вантажному автомобілі витрата AdBlue становить орієнтовно 4 % від споживання дизпалива для Євро-4, 6 % – для Євро-5 і приблизно 3 % – для Євро-6. У середньому вантажний автомобіль витрачає приблизно 1,5–2 літри AdBlue на 100 км пробігу. Бак для AdBlue на 80 л забезпечує шлях близько 5000 км.

Як бачимо, використовуючи AdBlue, ми дбаєте не лише про стан свого автомобіля, а й про здоров'я та благополуччя всієї планети. Не варто забувати регулярно перевіряти рівень рідини AdBlue в автомобілі. Якщо ігнорувати датчик нестачі рідини, автомобіль може зуринитись і не продовжувати рух надалі.

1.3 Огляд технічних характеристик тягачів і причепів для транспортування AdBlue

Розглянуто доступні на ринку рішення для перевезення великих об'ємів AdBlue, оскільки вони є альтернативою запропонованому підходу. Існують спеціалізовані причепи-цистерни та напівпричепи, призначені виключно для транспортування розчину сечовини. Вони використовуються великими постачальниками AdBlue, щоб доставляти реагент на АЗС або великим споживачам (наприклад, автопаркам). Такі цистерни зазвичай виготовляються з *нержавіючої сталі* і оснащуються ізоляцією та системами підігріву, щоб не допускати замерзання реагенту під час перевезення при мінусових температурах. Внутрішній об'єм резервуара часто розділений перегородками на кілька секцій, щоб уникнути сильного переливання рідини при гальмуванні і щоб при потребі можна було транспортувати різні об'єми (налив не завжди повний).



Рисунок 1.6 Авто-цистерна для транспортування AdBlue.

Типовий великий напівпричіп-цистерна для AdBlue має ємність порядку 25–30 м³ (тобто 25 000–30 000 л). Наприклад, європейська модель Romex AdBlue Tanker від компанії OTTO Trailer оснащена нержавіючим ізольованим баком об'ємом від 26 000 до 32 000 л, який може бути поділений на 1–4 секції. Такий напівпричіп має власний насосний модуль з витратоміром та шлангами

для роздачі реагенту. Він з'єднується з магістральним тягачем і дозволяє перевозити великі партії AdBlue на значні відстані.

Очевидно, що застосування великогабаритних цистерн виправдане лише за умови потреби доставляти дуже значні об'єми реагенту. Для більшості оперативних завдань, пов'язаних із заправкою техніки безпосередньо “в полі”, такі напівпричепи є занадто громіздкими і дорогими в експлуатації. До того ж, великий тягач із причепом не завжди може під'їхати на будівельний майданчик чи в кар'єр через обмежений простір або погані дорожні умови. Важливо врахувати і фактор прохідності: повнопривідний паливозаправник на шасі вантажівки середньої вантажопідйомності здатен дістатися у більш важкодоступні місця, ніж довгий зчленований автопоїзд. Таким чином, для оперативної заправки техніки на віддалених об'єктах ефективнішим рішенням є компактний автомобіль-заправник з вбудованою ємністю AdBlue, ніж окремий великий причіп-цистерна.

2. РОЗДІЛ. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування доцільності розробки додаткової ємності для AdBlue.

У сучасних умовах експлуатації дизельної техніки з використанням технологій зниження шкідливих викидів, зокрема SCR-систем (селективного каталізаторного відновлення), забезпечення транспортних засобів розчином AdBlue є так само критичним, як і постачанням основного виду пального. З огляду на це виникає об'єктивна необхідність оптимізувати процес транспортування та заправки, особливо у випадках роботи в складних або віддалених умовах.

Одним із ефективних рішень є інтеграція додаткової ємності для AdBlue безпосередньо у конструкцію паливозаправника [2]. Такий підхід дозволяє одночасно транспортувати як дизельне пальне, так і AdBlue одним транспортним засобом, що значно підвищує ефективність логістики, зменшує витрати на експлуатацію техніки і дозволяє оперативніше обслуговувати технічні засоби на об'єкті.

Скорочення експлуатаційних витрат. Використання одного комбінованого автомобіля замість двох окремих транспортних одиниць (одна для пального, інша – для AdBlue) дозволяє істотно знизити витрати на пальне, що споживається під час транспортування. У середньому важкий вантажний автомобіль витрачає 25–35 л дизелю на 100 км шляху. Якщо для довозу пального і AdBlue використовуються дві машини, їх сумарна витрата може досягати ~60 л/100 км. Натомість одна машина витрачає ті ж 30 л/100 км, тобто економія – близько 30 л дизелю на кожні 100 км пробігу. За високих обсягів перевезень це дає значний ефект. Наприклад, на відстані 1000 км економія складе ~300 л дизелю, що за сучасними цінами становить відчутну суму. Отже, витрати пального знижуються майже вдвічі, що покращує паливну ефективність підприємства.

Крім економії пального, зменшуються також витрати на обслуговування техніки. Один автомобіль простіше утримувати, ніж два – менше витрат на технічні огляди, заміну масел, шин тощо. Також скорочуються витрати на заробітну плату персоналу: для керування комбінованим паливозаправником потрібен лише один водій-оператор, тоді як при окремому транспортуванні пального та AdBlue зазвичай залучаються дві особи. Зниження штату водіїв не тільки економить фонд оплати праці, а й спрощує організацію роботи, особливо якщо кадровий ресурс обмежений.

Підвищення оперативності та продуктивності. Ще однією перевагою є зниження часу простою техніки при заправці. Можливість виконати заправку дизельним паливом і AdBlue одночасно скорочує перерви в роботі машин. Якщо раніше, наприклад, екскаватор на кар'єрі мав чекати спочатку приїзду паливозаправника, а потім окремо – бочки з AdBlue, то тепер усе відбувається за один приїзд. Це критично важливо в умовах інтенсивної експлуатації, коли кожна година простою техніки призводить до втрат продуктивності або затримки робочих процесів. З комбінованим заправником час обслуговування скорочується щонайменше на 20–30%. Відповідно, підвищується загальна ефективність використання парку машин.

Логістична зручність і гнучкість. Комбінований паливозаправник спрощує планування забезпечення об'єктів паливом і реагентом. Подача двох видів рідин з одного джерела дозволяє уникнути ситуацій, коли є дизель, але нема AdBlue, або навпаки. Усе доставляється синхронно, що особливо важливо для техніки, яка вимагає обидві рідини одночасно (сучасний дизельний двигун не можна експлуатувати без AdBlue: при порожньому баку AdBlue електроніка обмежує потужність або блокує запуск двигуна). Таким чином, інтегрована система заправки підвищує автономність віддалених об'єктів – машина, виїхавши на зміну, забезпечена повним комплектом необхідних рідин.

Кращий облік та контроль витрат. Коли дизельне пальне і AdBlue відпускаються з одного заправника, легше вести точний облік заправлених об'ємів. Оператор за один цикл заправки фіксує, скільки літрів пального і реагенту було залито в кожну машину. Це спрощує документацію, підвищує прозорість процесу і зменшує ризик несанкціонованого використання чи крадіжок (що могли трапитися, коли AdBlue перевозиться у незапломбованих каністрах). Централізований облік сприяє також точнішому плануванню постачання витратних матеріалів.

Підвищення безпеки та екологічність. З точки зору охорони довкілля, застосування стаціонарно змонтованої ємності з насосом для AdBlue значно безпечніше, ніж маніпуляції з ручним переливанням реагенту з бочок. AdBlue є відносно безпечним хімікатом, але при розливах концентрований розчин сечовини може потрапити у ґрунт або воду, що небажано. У випадку використання герметичних систем у складі паливозаправника ризик витоків мінімізується, адже заправка здійснюється через шланг з пістолетом, як і у випадку дизелю. Також зменшується ймовірність помилкового заливу – коли, наприклад, AdBlue плутають з водою чи паливом. Наявність чітко промаркованої окремої системи відпуску AdBlue на заправнику виключає людський фактор і підвищує загальну безпеку обслуговування техніки.

Універсальність застосування. Автомобіль-паливозаправник з додатковою ємністю для AdBlue – це універсальний засіб, який може використовуватися у різних галузях. Він однаково корисний для забезпечення техніки в сільському господарстві (трактора, комбайни на полі), в дорожньо-будівельних організаціях (дорожні катки, асфальтоукладачі, грейдери), в лісовому господарстві та видобувній промисловості. Будь-де, де експлуатуються сучасні дизельні машини, що відповідають еконормам, потрібне і пальне, і реагент для очищення вихлопу. Універсальність комбінованого заправника підвищує його рентабельність – машина не простоюватиме, бо завжди знайдеться робота з обслуговування техніки.

Таблиця 1 – Порівняння транспортування AdBlue окремо та у складі паливозаправника

Показник	Окреме транспортування	Комбінований паливозаправник
Кількість транспортних засобів	2	1
Кількість персоналу	2 особи	1 особа
Витрати пального	Вищі	Нижчі
Можливість доступу в важкі умови	Обмежена	Покращена
Ризик загрузання	Вищий	Нижчий
Час обслуговування	Довший	Коротший
Контроль обліку витрат	Ускладнений	Централізований
Екологічні ризики	Вищі	Нижчі
Гнучкість застосування	Обмежена	Універсальна

З огляду на перелічені аргументи, техніко-економічна доцільність розробки додаткової ємності AdBlue у складі паливозаправника є очевидною. Дане рішення забезпечує як прямі вигоди (економія пального, зниження затрат на персонал, оптимізація логістики), так і непрямі (менші простой техніки, уникнення аварійних ситуацій, екологічна відповідність). Надалі в проекті детально описано конструкцію ємності і виконано необхідні розрахунки, що підтверджують її міцність та ефективність.

2.2 Розробка додаткової ємності Adblue для паливозаправника.

У рамках проекту розробки паливозаправника з інтегрованою ємністю для розчину AdBlue було прийнято конструктивне рішення, яке поєднує технологічну простоту, надійність та придатність до серійного виготовлення. Запропонована ємність AdBlue розроблена з урахуванням особливостей експлуатації дизельної техніки, що працює в умовах обмеженого доступу до інфраструктури, а також з метою забезпечення зменшення логістичних витрат і підвищення автономності обслуговування транспортних засобів із SCR-систем.

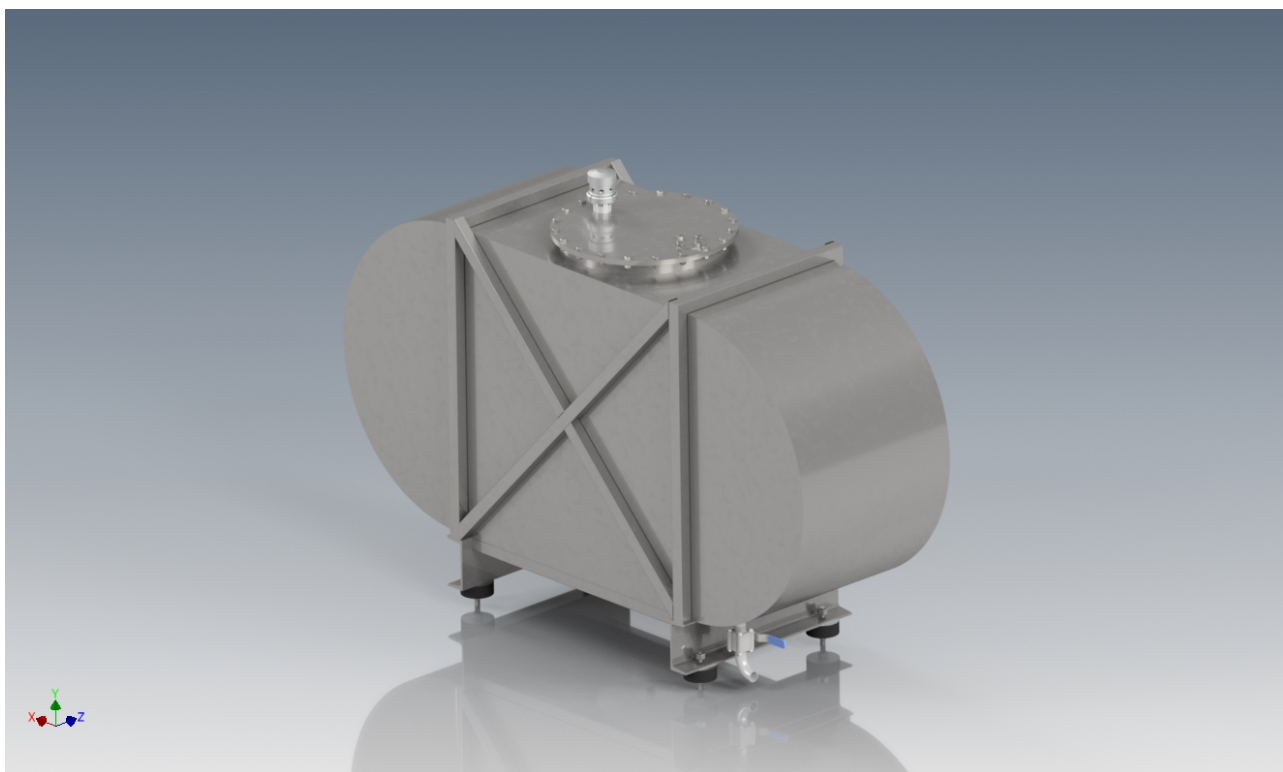


Рисунок 2.1 3D-модель ємності для AdBlue.

Об'єм ємності може бути підібраний залежно від потреб; розглядається місткість 1000 л. Геометричні розміри баку – ширина ~1980 мм, висота ~1240 мм і довжина ~600 мм – дозволяють компактно розмістити його всередині кузова паливозаправника або на платформі, не перевантажуючи

машину і не зміщуючи центр ваги. Такий відносно невеликий бак забезпечує достатній запас реагенту для більшості задач і водночас лишає запас місця для теплоізоляції або електричного обігріву навколо нього (ці елементи особливо потрібні взимку).

Матеріалом баку обрано нержавіючу сталь. Конкретна марка сталі AISI 304 або еквівалентна, яка добре зварюється і стійка до розчину сечовини. Товщина стінки баку прийнята 2 мм – цього достатньо для міцності, і водночас з таким листовим матеріалом зручно працювати (гнути, зварювати без викривлень) [3]. Усі з'єднання виконуються зварними швами по периметру стиків; конструкція днищ – еліптична форма полегшує виготовлення (штамповані або вирізані сегменти, зварені в еліптичний купол).

Рама-кронштейни виготовлена з доступного прокату: сталева профільна квадратна труба 40×40×2 мм (для поперечних перекладин) та сталевий швелер 160×18 мм (як основу кронштейна, що кріпиться до рами шасі). Застосування стандартного профілю спрощує виготовлення і здешевлює конструкцію. Кріплення рами до шасі – болтове (болти М16), уніфіковане з типорозмірами, які вже використовуються на більшості вантажівок. Таким чином, встановлення додаткової ємності не потребує складної доробки базового автомобіля.

Всі отвори та патрубки виконані за стандартами трубних різьб та фланців. Заливна горловина Ø50 мм – уніфікований заливний патрубок, сумісний з стандартними пістолетами для AdBlue на АЗС. Дихальний клапан – заводський виріб, розрахований на перепад тиску близько $\pm 0,2$ бар (відкривається при надлишковому тиску, випускаючи пари, або впускає повітря при вакуумі всередині баку).

Клапан приєднано через штуцер різьбовий приварний, що спрощує його заміну чи сервіс. Також передбачена зливна пробка М14, важливим компонентом є трубопровід діаметром 34 мм з встановленим кульовим краном

та коліном, що дозволяють при потребі перекривати подачу рідини з баку. Для захисту вузлів системи від вібрацій і пошкоджень під час руху встановлено вібровтулки з кріпленням на шпильках М16, що дозволяє ефективно гасити коливання та продовжити ресурс конструкції в умовах нерівномірного навантаження.

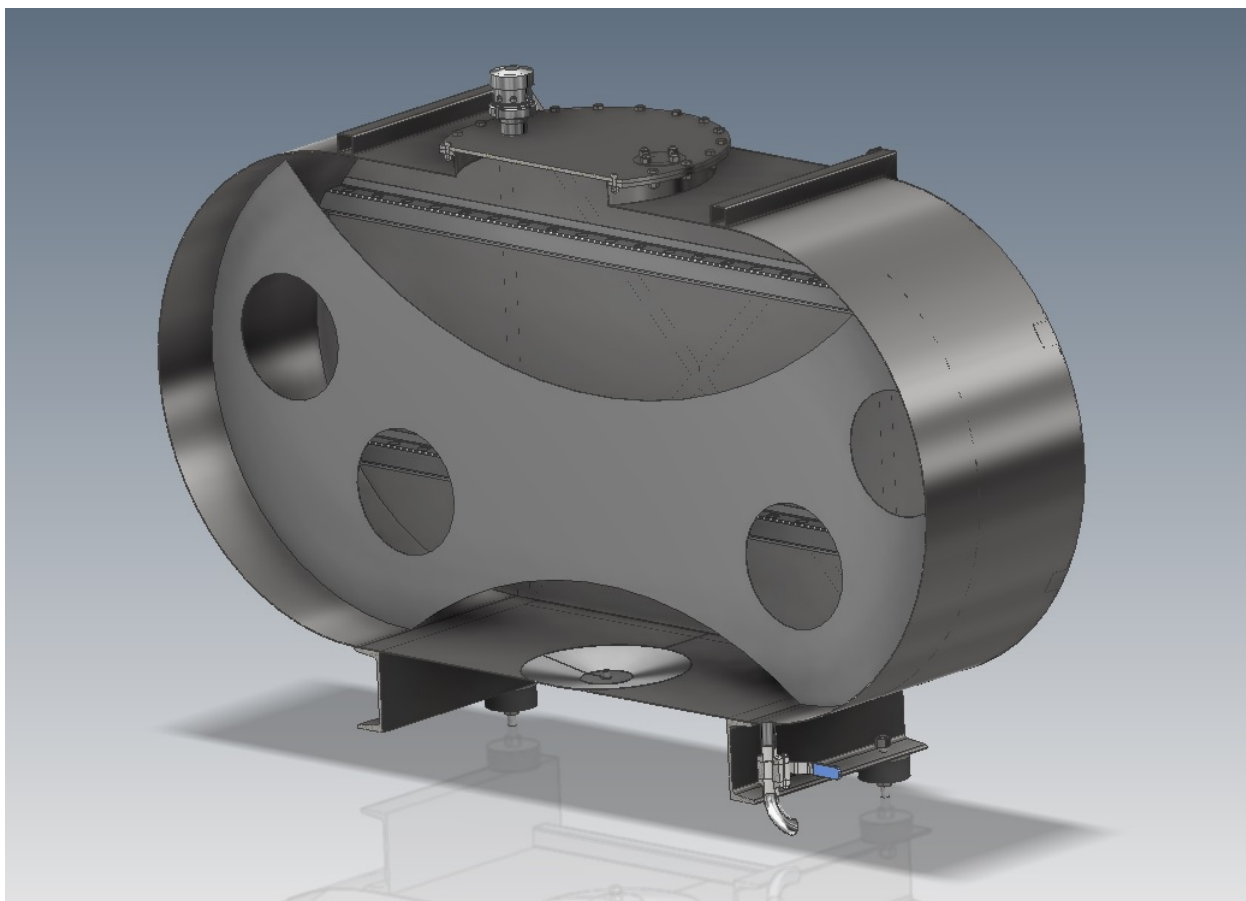


Рисунок 2.2 3D-модель в розрізі ємності для AdBlue.

Конструкція бака не містить рухомих чи складних механізмів, що підвищує її надійність. Перегородка всередині – статичний елемент, приварений до корпусу; вона суттєво підвищує жорсткість всієї конструкції і водночас не потребує обслуговування.

Ємність була розроблена як універсальний модуль, який може бути використаний не лише для AdBlue, а й для інших реагентів або технологічних

рідин за умови неагресивної дії на матеріал. Відсутність складних форм або деталей дозволяє легко модифікувати конструкцію під вимоги конкретного замовника, зокрема за об'ємом, способом подачі або типом фіксації.

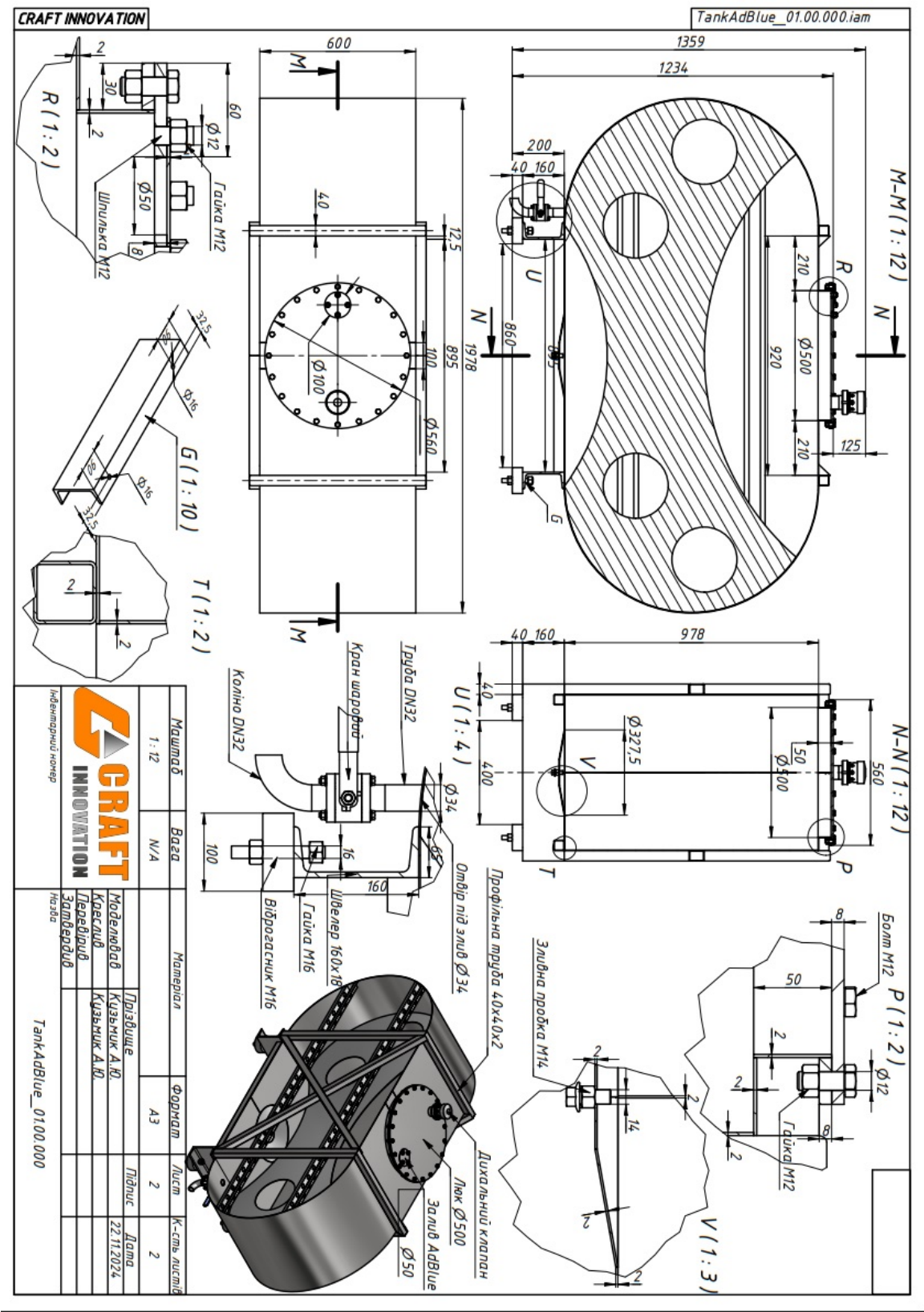


Рисунок 2.3 Креслення ємності для AdBlue.

Таким чином, обрана ємність AdBlue є технічно обґрунтованим рішенням, яке відповідає всім критеріям для інтеграції у паливозаправник: надійність, зручність монтажу, захищеність від пошкоджень, ремонтпридатність і можливість промислового виготовлення серіями. Вона ідеально доповнює загальну концепцію мобільного комплексу для заправки дизельної техніки в полі, забезпечуючи функціональну автономність, компактність і відповідність сучасним екологічним вимогам.

Виробничий процес виготовлення ємності включає вирізання заготовок з листа (циліндрична обичайка, два еліптичні днища, перегородка), згинання листа в обичайку, зварювання поздовжнього шва, приварення днищ і встановлення штуцерів. Рамна конструкція також зварюється зі стандартних елементів. Жоден з етапів не потребує високоточного обладнання чи великої кількості годин – все виконується на звичайному зварювальному посту. Це означає, що ємність може виготовлятися як малими серіями (під конкретне замовлення), так і потенційно масово, якщо буде попит. Проста і надійна конструкція гарантує високу ремонтпридатність: у разі пошкодження бак легко демонтувати, заварити тріщину чи замінити будь-який вузол (хомут, клапан, патрубок) на новий.



Рисунок 2.4 Паливозаправника на базі Mercedes-Benz Axor.

Для забезпечення повноцінної автономної роботи удосконаленого паливозаправника важливо не лише встановити ємність для зберігання AdBlue, але й передбачити ефективну систему подачі та обліку рідини. Це дозволяє проводити заправку техніки безпосередньо на об'єкті експлуатації з належним контролем витрат.

В склад системи подачі AdBlue входять такі елементи :

- як насосний агрегат для перекачування AdBlue використовується шестеренчастий або мембранний насос, виготовлений з матеріалів, стійких до агресивного середовища сечовини (полімери, нержавіюча сталь AISI 316). Робоча продуктивність насоса – 30–60 л/хв, що дозволяє швидко заправляти техніку. Насос оснащується електричним приводом 24В. Робота насоса контролюється оператором через вмикач, передбачено аварійну зупинку.

- роздавальний пістолет оснащено автоматичним клапаном відсічки для запобігання переливу, має ергономічну форму та стандартний штуцер діаметром 19 або 25 мм, сумісний з усіма заправними горловинами техніки. Матеріал корпусу — хімічно стійкий полімер або нержавіюча сталь.

- гнучкий армований шланг довжиною до 10–15 метрів з фіксуючою катушкою забезпечує зручність подачі рідини навіть при заправці важкодоступної техніки (екскаватори, крани, генератори). Шланг має стійкість до кристалізації залишків AdBlue взимку.

- система обліку та витрати у яку включено витратомір, що забезпечує точний облік виданого об'єму AdBlue. Для точності вимірювань використовується лопатевий або турбінний тип витратоміра з класом точності не гірше $\pm 0,5\%$.

- фільтраційний модуль розміщений на вході перед роздачею передбачено фільтр тонкого очищення (10–20 мкм), що видаляє можливі

домішки та кристалічні залишки, запобігаючи засміченню SCR-систем техніки.

Удосконалення конструкції планувалось на базі паливозаправника Mercedes-Benz Axor шляхом додаткового оснащення системою подачі та перевезення рідини AdBlue

Розроблена система є обов'язковим доповненням до баку з AdBlue та забезпечує ефективну та безпечну експлуатацію паливозаправника в умовах польових робіт. Зазначимо, що розроблена конструкція відповідає вимогам серійного виробництва. Використання типових матеріалів та стандартних комплектуючих мінімізує час і вартість виготовлення однієї ємності. За потреби впровадження на підприємствах, що займаються переобладнанням спецтехніки, даний бак можна виготовляти серійно без значних капіталовкладень. У наступному підрозділі буде виконано розрахунки, які підтверджують, що проста конструкція не поступається у міцності та надійності більш складним аналогам.

2.3 Розрахунок основних елементів та вузлів системи AdBlue.

Для гарантування надійності сконструйованого баку AdBlue необхідно перевірити його міцність при впливах характерних зовнішніх навантажень, що виникають під час експлуатації. До таких навантажень належать інерційні сили від розгону/гальмування та поворотів, вібрації від нерівностей дороги, а також кліматичні фактори (температура, внутрішній тиск від розширення рідини). Розрахунок проводимо для найбільш несприятливих випадків – різкого гальмування з великою величиною уповільнення та руху по нерівній дорозі з ударними навантаженнями.

Навантаження при гальмуванні (поздовжній напрямок). Припустимо, що паливозаправник здійснює екстрене гальмування з уповільненням близько $a_x = 8 \text{ м/с}^2$ (це приблизно $0,8g$; значення $8\text{--}10 \text{ м/с}^2$ характерні для різкого гальмування великовантажного автомобіля). Враховуючи запас міцності,

нормативні вимоги для кріплення цистерн рекомендують розраховувати навантаження навіть на 2g вперед. Тому перевіримо міцність при $a_x = 2g = 19,6 \text{ м/с}^2$. Маса повністю заповненого баку AdBlue (об'ємом 1000 л для розрахунку з запасом) становить приблизно $m = 1100 \text{ кг}$ (щільність розчину $\sim 1,09 \text{ кг/л}$). Інерційна сила при такому гальмуванні розраховується як:

$$F_x = m \times a_x = 1100 \text{ кг} \times 19,6 \text{ м/с}^2 \approx 21\,560 \text{ Н} \quad (2.1)$$

Отже, приблизно 22 кН діятиме на кріплення бака у поздовжньому напрямку. Цю силу сприймають два кронштейни (передній і задній), на яких закріплений бак. За умови рівномірного розподілу можна вважати навантаження на кожен кронштейн по:

$$F \approx 11 \text{ кН}$$

Закріплення кожного кронштейна до рами виконано на 4 болтах М16 (клас міцності 8.8). Перевіримо їх на зріз: розрахункове зусилля на один болт: Сила на один болт:

$$F_{\text{болт}} = \frac{F_{\text{кр}}}{4} = \frac{10,8 \times 10^3}{4} = 2700 \text{ Н} \quad (2.2)$$

Площа поперечного перерізу стержня болта М16

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{\pi \times 16^2}{4} = 201 \text{ мм}^2 = 2,01 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

Тоді напруження зрізу в кожному болті:

$$\tau = \frac{F_{\text{болт}}}{A} = \frac{2700}{2,01 \times 10^{-4}} \approx 13,4 \text{ МПа} \quad (2.4)$$

Для сталі класу 8.8 межа текучості:

$$\sigma_T = 640 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження з урахуванням коефіцієнта запасу:

$$\tau_{\text{доп}} \approx 0,6 \times \left(\frac{\sigma_T}{4} \right) \approx 96 \text{ МПа} \quad (2.5)$$

Отримане напруження (~ 13.4 МПа) є в десятки разів меншим за допустиме для сталі.

$$\tau < \tau_{\text{доп}} (13.4 \text{ МПа} < 96 \text{ МПа})$$

Таким чином, болтові з'єднання кронштейнів витримують поздовжню інерційну силу з великим запасом міцності. Більше того, сила тертя між кронштейном і рамою (забезпечена притиском болтів) відбере значну частину цього зусилля ще до того, як болти відчують зріз навантаження. Отже, при гальмуванні бак надійно утримується, і кріплення не зазнає пошкоджень [4].

Розглянемо також навантаження на сам бак при різкому гальмуванні. Рідина всередині баку має інерцію і при уповільненні прагне переміститися вперед, тиснучи на передню стінку (днище) баку. Площа переднього еліптичного днища $0,28 \text{ м}^2$ (для діаметра $0,6 \text{ м}$). Відбувається короткочасний гідродинамічний удар рідини по стінці.

Його тиск можна оцінити за формулою приблизного розрахунку:

$$p = \rho \times a_x \times L \quad (2.6)$$

де:

- $\rho = 1090 \text{ кг/м}^3$ – густина AdBlue
- $a_x = 19,6 \text{ м/с}^2$ – прискорення гальмування
- $L \approx 1 \text{ м}$ – характерна довжина хвилі

$$p \approx 1090 \times 19,6 \times 1 \approx 21364 \text{ Па} \approx 0,21 \text{ МПа} (\approx 0,2 \text{ атм}) \quad (2.7)$$

Таким чином, додатковий динамічний тиск на переднє днище під час ударного гальмування оцінюється всього у $\sim 0,2$ бар. Це не є критичним навантаженням: робочий атмосферний тиск для такої ємності близький до 0, а перевищення на $0,2$ бар легко витримується сталевими стінками товщиною 2 мм . Орієнтовно напруження мембрани в днищі від такого тиску становитиме $8\text{--}10 \text{ МПа}$, що в десятки разів нижче межі текучості сталі ($\sim 200 \text{ МПа}$ для нержавіючої сталі). До того ж, наявність внутрішньої перегородки значно

гасить енергію хвилі рідини, тому реальний тиск буде ще меншим. Отже, міцність переднього днища баку при гальмуванні забезпечена з великим запасом [17].

Розрахунок мембранних напружень у днищі. Днище баку під дією цього додаткового тиску сприймає мембранне розтягуюче навантаження.

Вхідні дані: діаметр баку: $D = 0.6$ м , товщина стінки: $\delta = 0.004$ м

Формула для мембранного напруження:

$$\sigma_{\text{мембрана}} = \frac{p \times D}{4 \times \delta} \quad (2.8)$$

$$\sigma_{\text{мембрана}} = \frac{21394 \times 0.6}{4 \times 0.004} \approx 802275 \text{ Па} \approx 8.02 \text{ МПа} \quad (2.9)$$

Висновок: $\sigma_{\text{мембрана}} \ll \sigma_{\text{T}}$ ($8.02 \text{ МПа} \ll 205 \text{ МПа}$). Напруження безпечне.

Розрахунок теплового розширення При нагріванні рідина розширюється і створює додатковий тиск.

Коефіцієнт теплового розширення: $\alpha = 2.07 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Перепад температур: $\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$

Початковий об'єм: $V_0 = 1000 \text{ л} = 1 \text{ м}^3$

Розрахунок приросту об'єму:

$$\Delta V = V_0 \times \alpha \times \Delta T \quad (2.10)$$

$$\Delta V = 1 \times 2.07 \times 10^{-4} \times 40 = 0.00828 \text{ м}^3 = 8.28 \text{ л} \quad (2.11)$$

Це розширення легко компенсується наявною повітряною подушкою і клапаном на баку.

Вертикальні та бічні навантаження. Під час руху по нерівностях дороги виникають вібрації і ударні впливи, що діють у вертикальному напрямку (вгору-вниз). Стандартні вимоги до кріплення цистерн передбачають

витримування перевантажень близько $1g$ у напрямку вгору та вниз. Це означає, що кронштейни мають утримати бак навіть якщо він на мить повністю “відірветься” від рами (наприклад, машина підстрибне на горбі – бак прагнучиме інерційно рухатися вгору). У нашій конструкції бак охоплений двома хомутами, затягнутими шпильками М16. Сила попереднього натягу кожної шпильки при зтяжці $\sim 70\%$ від межі текучості може сягати 20–30 кН. Відповідно, два болти на хомут сумарно притискають бак силою понад 40 кН. Навіть якщо бак підніметься з опор (перевантаження $1g$ вгору, тобто вага ~ 1100 кг тягне бак вниз відносно рами), сили тертя та пружності сталевих хомутів утримають його на місці [20]. Орієнтовний розрахунок напружень розтягу у шпильках від такого навантаження дає приблизно 50 МПа, що в кілька разів менше допустимого значення (~ 160 МПа). Отже, вертикальні коливання не призводять до послаблення кріплення бака: конструкція має достатній запас міцності по вертикальному напрямку.

Для бічних (латеральних) навантажень – тобто при різких поворотах чи кренах машини – нормативно достатньо закладати 0,5–0,8g. Візьмемо випадок різкого маневру, що створює бокове прискорення до $1g$ ($\sim 9,81$ м/с²), аби оцінити запас. При такому перевантаженні рідина і бак тиснуть на кріплення вбік подібно до випадку гальмування. Сила на кожен кронштейн буде аналогічна близько 11 кН (як і при поздовжньому прискоренні $1g$). Цю силу в основному мають сприйняти болти кріплення кронштейнів до рами, причому в бічному напрямку працюють по 2 болти на кожному кронштейні (орієнтовані у вертикальній площині). Розрахункове навантаження зрізу на один такий болт: 5,5 кН. Площа поперечного перерізу болта М16 становить приблизно 84 мм².

$$\tau \approx \frac{5500H}{84\text{мм}^2} \approx 65\text{МПа} \quad (2.12)$$

Отримане значення значно нижче допустимого (~ 160 МПа). Таким чином, і при

Розрахунок жорсткості перегородки. Оскільки перегородка закріплена по краях і навантажена рівномірно по площі, для оцінки максимального моменту згину можна використати спрощену формулу для балки, що лежить на двох опорах:

$$M_{\max} = \frac{p \times l^2}{8} \quad (2.13)$$

$$M_{\max} = \frac{21394 \times 0.6^2}{8} = 963 \text{ Нм} \quad (2.14)$$

Розрахунок моменту інерції перерізу перегородки:

Товщина $\delta = 0.002$ м, висота $h = 1$ м

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{0.002 \times 1^3}{12} = 1.66 \times 10^{-4} \text{ м}^4 \quad (2.15)$$

Розрахунок максимального напруження на вигин:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \times c}{I} \quad (2.16)$$

$$c = \frac{h}{2} = 0.5 \text{ м} \quad (2.17)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{963 \times 0.5}{1.66 \times 10^{-4}} \approx 2.90 \text{ МПа} \quad (2.18)$$

Порівняння з допустимим напруженням: для сталі AISI 304 межа текучості $\sigma_T = 205$ МПа, отримане напруження $\sigma_{\max} \ll \sigma_T$

Внутрішній тиск і температурні ефекти. В нормальному режимі експлуатації бак AdBlue працює майже при атмосферному тиску. Розчин сечовини має дуже низький тиск насиченої пари (практично не випаровується), тому головним фактором тиску є теплове розширення. При нагріванні на сонці повітряна подушка у верхній частині баку та сама рідина дещо розширюються, що може підвищити тиск. Оцінки показують, що навіть при сильному нагріві (наприклад, з $+20$ °C до $+50$ °C) надлишковий тиск не перевищить 0,03–0,05 бар. Дихальний клапан, встановлений на баку, відкалібрований на спрацювання приблизно при $+0,2$ бар, тому він легко стравить будь-який надлишковий тиск, не доводячи до навантаження на

корпус. Гідростатичний тиск стовпа рідини в баку теж невеликий через малу висоту ($\sim 1,0$ м рідини створюють $\sim 0,1$ кгс/см² тиску на дно). Отже, внутрішній тиск не є визначальним фактором для вибору товщини стінок – стінки (2 мм) обрано з міркувань механічної міцності та технологічності зварювання, а не міцності на тиск.

Підсумовуючи результати розрахункової частини: конструкція додаткового баку AdBlue має достатній запас міцності за всіма основними напрямками навантаження. Болтові кріплення, хомути та матеріал баку здатні витримати інерційні сили від різких маневрів автомобіля, вертикальні поштовхи на нерівностях, а також незначні внутрішні тиски від температурних коливань, не зазнаючи пошкоджень. Внутрішня перегородка ефективно демпфує рідинні навантаження на стінки. Таким чином, запропонована конструкція є механічно надійною і може експлуатуватися в реальних умовах без ризику руйнування чи відмов.

3.РОЗДІЛ. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.

3.1. Монтаж ємності AdBlue у конструкцію паливозаправника.

Монтаж додаткової ємності AdBlue на паливозаправник здійснюється у кілька послідовних етапів. Перш за все необхідно вибрати відповідне місце на рамі або шасі паливозаправника для встановлення баку. Важливо, щоб простір для бака був достатнім за розмірами, не заважав іншим вузлам автомобіля (паливним бакам, обладнанню роздачі пального тощо) і забезпечував зручний доступ для заправлення AdBlue та обслуговування. Місце кріплення має витримувати вагу заповненої ємності та динамічні навантаження при русі машини, тому раму в обраному місці перевіряють на міцність і відсутність тріщин. Бак бажано розташувати якнайближче до роздавального обладнання AdBlue (якщо воно наявне), щоб скоротити довжину трубопроводів і спростити монтаж комунікацій.

Етап підготовки. Перед початком монтажних робіт проводять підготовку місця встановлення. Якщо на рамі відсутні штатні отвори для кріплення кронштейнів, виконують розмітку і свердлять необхідні отвори згідно з кресленням та схемою розташування баку. Відстань між точками кріплення обирають такою, щоб навантаження від ваги баку рівномірно розподілялося на раму. При необхідності проводять очистку поверхні рами від бруду і корозії у місцях контакту з кріпленнями, щоб забезпечити щільне прилягання. Також перевіряють габарити бака та кронштейнів: нічого не повинно заважати встановленню (наприклад, виступаючі елементи кузова або трубопроводи). На цьому етапі готують і саму ємність AdBlue – вона повинна бути порожньою, чистою всередині, без сторонніх предметів. Якщо бак новий, його внутрішню порожнину варто промити дистильованою водою та висушити, щоб видалити можливі забруднення після виготовлення чи зберігання.

Етап встановлення кронштейнів. Наступним кроком є монтаж кріплень (кронштейнів), на яких триматиметься ємність. Згідно з проєктною документацією, бак AdBlue встановлюється на два опорних кронштейни із сталі, закріплені на рамі паливозаправника. Використовуються відрізки сталевго швелера розмірами 160×18 мм, які слугують ложементами (опорами) для баку. Швелери встановлюються горизонтально впоперек рами або вздовж, залежно від конструкції шасі, і фіксуються до рами болтовими з'єднаннями класу міцності не нижче 8.8 (звичайно використовують болти M16 з гайками та гроверами). Якщо рама має підготовлені отвори, болти пропускають через них; в іншому випадку можливе приварювання кронштейнів до рами суцільним швом. Проте зварне кріплення потребує дотримання техніки безпеки – перед зварюванням рама очищається від фарби, з неї знімають напругу (аби уникнути пошкодження електроніки автомобіля), поблизу не повинно бути легкозаймистих матеріалів чи парів палива. Болтове кріплення є переважним, оскільки не порушує цілісність металу рами та спрощує можливий демонтаж. При встановленні кронштейнів важливо витримати їх паралельність і співвісність – верхні площини опор повинні лежати в одній горизонтальній площині, щоб бак не був перекошений. Точність монтажу контролюється рівнем або нівеліром; допустиме відхилення мінімальне, адже навіть незначний перекош може створити додаткові напруження в стінках ємності при затягуванні хомутів.

Етап встановлення баку. Коли опорні кронштейни закріплені, на них встановлюють саму ємність AdBlue. Бак, як правило, має циліндричну форму і виготовлений з нержавіючої сталі щоб витримувати хімічний вплив розчину сечовини AdBlue. Усередині бак оснащений перегородкою (хвилегасником) для гасіння коливань рідини під час руху. На верхній частині передбачено горловину для заливання AdBlue діаметром, наприклад, 50 мм, із кришкою, а також дихальний клапан для вирівнювання тиску. Знизу бак має зливну пробку M14 для зливу рідини при обслуговуванні, а в нижній боковій частині – патрубок (трубу DN32) та кульовий кран DN32, через який AdBlue

подаватиметься до роздавального вузла. Перед підняттям баку на кронштейни потрібно переконатися, що на опорах встановлені демпфуючі прокладки або віброізолятори. У конструкції передбачено використання віброгасників з різьбою М16, які слугують амортизаторами між баком і рамою. Віброізолятори виглядають як гумові подушки або опорні елементи, що гаситимуть вібрації та удари, запобігаючи руйнуванню кріплень і стінок баку від тряски на дорозі. Їх встановлюють між швелерами-кронштейнами та поверхнею баку шпильками М16 з гайками. Таким чином, бак лежить на м'яких опорах і не контактує безпосередньо сталлю з рамою.

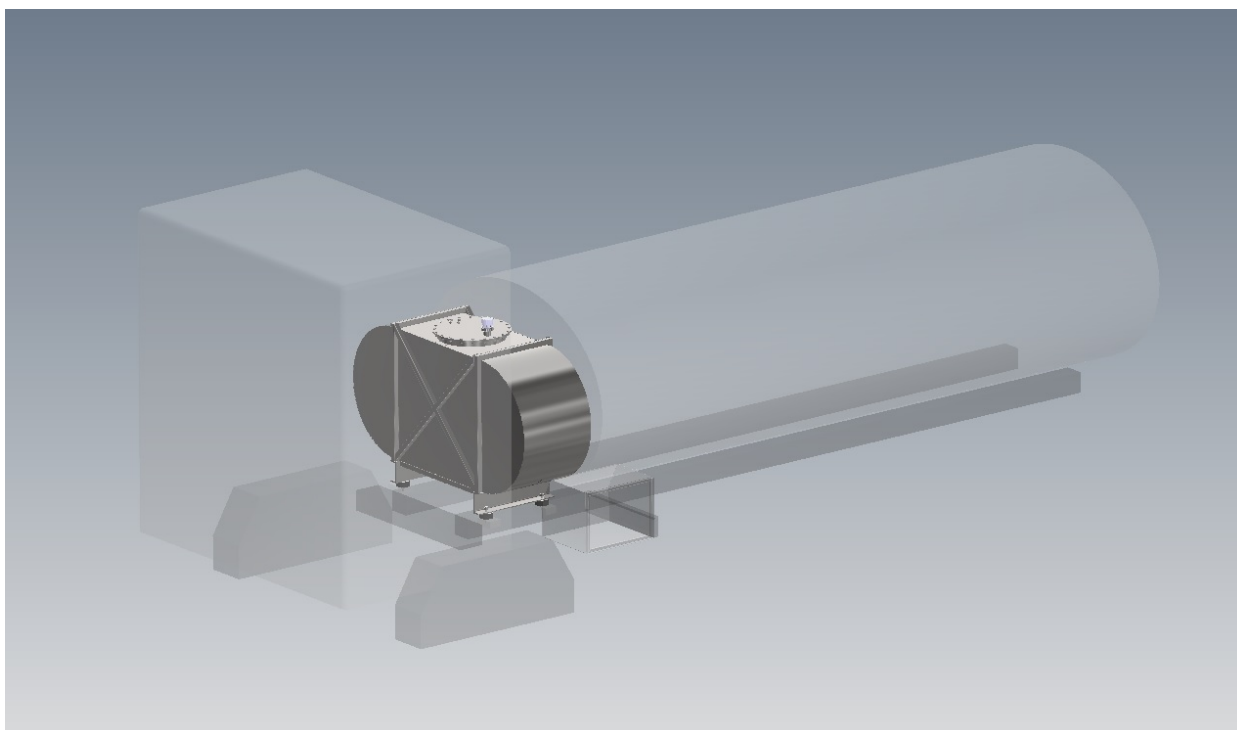


Рисунок 3.1 Розташування ємності AdBlue.

Підйом баку на кронштейни виконується за допомогою підйомного обладнання. Зважаючи на масу, вручну підняти і точно встановити бак неможливо. Застосовують кран-балку, автомобільний кран або тельфер. Перед підйомом до баку прив'язують стропи; щоб не пошкодити стінки, під стропи підкладають м'які прокладки або використовують текстильні стропи. Робітники повинні бути в касках і триматися осторонь від траєкторії руху вантажу. Бак піднімають повільно, без ривків, і плавно опускають на опорні

кронштейни. Після встановлення перевіряють його положення: горловина для заливу повинна бути орієнтована вгору та бути доступною для шлангу заправки, дихальний клапан – у найвищій точці баку (строго вертикально вверх), патрубки зливу та подачі – вниз, де їх зручно під'єднати до комунікацій.

Підключення комунікацій. Після механічного закріплення баку переходять до під'єднання необхідних комунікацій та арматури. Кришка горловини повинна щільно закручуватися і мати ущільнювач, стійкий до розчину сечовини, щоб виключити проливання при хитах та герметично закривати бак. На верхньому патрубку для дихального клапана монтується сам клапан – невеликий пристрій, що пропускає повітря у бак або випускає його назовні, щоб вирівнювати тиск при температурному розширенні рідини чи витраті AdBlue. Дихальний клапан встановлюють строго вертикально (його вісь має бути спрямована вгору), оскільки всередині нього може бути поплавок або мембрана, яка повинна правильно реагувати на рівень рідини і пари. Важливо також, щоб вихідний отвір клапана нічого не затуляло – іноді до клапана приєднують шланг-відводок, що виводить випари.

Завершальний етап перевірки. Після повного монтажу баку і підключення комунікацій необхідно провести ретельну перевірку якості виконаних робіт. Візуально оглядають всі кріплення: болти і гайки – міцно затягнуті та зафіксовані; віброізолятори – без перекосів, з рівномірним стиском. Перевіряють правильність підключення арматури: дихальний клапан відкривається та закривається, кришка заливної горловини легко відкручується і закручується, забезпечуючи щільність [7]. Трубопроводи не повинні бути перекручені чи перегнуті; особливо звертають увагу, щоб шланг від крану AdBlue не проходив поблизу гарячих частин (вихлопної системи) або рухомих механізмів, де він може перетертися.

З метою попередньої оцінки герметичності монтажу, бак можна частково заповнити водою або власне розчином AdBlue (на 1/4–1/3 об'єму) і

перевірити, чи не просочується рідина через з'єднання. Таку перевірку виконують при закритих клапанах: оглядають місця з'єднань патрубків, пробки та горловини. У разі виявлення протікань – наприклад, мокрі плями чи характерний запах аміаку – необхідно спустити рідину і усунути недоліки (замінити ущільнення). Лише після цього бак вводять в експлуатацію. Завершальним кроком є закріплення на баку або поруч з горловиною попереджувальної таблички чи наклейки з написом «AdBlue» для однозначної ідентифікації ємності. Це виключить ризик плутанини (щоб до баку AdBlue випадково не залили дизель чи іншу рідину, і навпаки).

Під час монтажу обов'язково дотримуватися заходів безпеки. Усі роботи виконуються при вимкненому двигуні паливозаправника, з розвантаженою пневмосистемою (якщо вона є) і з дотриманням правил протипожежної безпеки. Хоча AdBlue не є легкозаймистою рідиною, монтаж проводиться на паливозаправнику, що зазвичай оперує з пальним, тому не можна використовувати відкритий вогонь поблизу. При свердлінні отворів слід носити захисні окуляри, при зварюванні – захисну маску та рукавиці. Монтажники повинні працювати у спецодязі і захисних касках, особливо при роботі під піднятим баком. Вага баку значна, тому під час його підймання не можна перебувати під вантажем. Всі інструменти (ключі, викрутки, монтажний інструмент) мають бути справні, а драбини чи підмостки – стійкими, якщо роботи проводяться на висоті. Іншою важливою вимогою є чистота при монтажі: внутрішню порожнину баку потрібно берегти від потрапляння бруду, піску, масел. Монтажні роботи варто виконувати, коли заливна горловина щільно закрита кришкою, або ж отвір горловини тимчасово закрити чистою тканиною чи плівкою, щоб сміття не потрапило всередину. Після завершення встановлення зайві предмети (болти, дроти від зварювання, обрізки) забирають з простору навколо баку. Правильно виконане встановлення ємності AdBlue гарантує її надійну роботу під час експлуатації і відсутність протікань чи поломок від навантажень.

3.1 Обслуговування ємності AdBlue.

Експлуатація баку AdBlue вимагає регулярного технічного обслуговування, щоб забезпечити довговічність обладнання та безперебійну подачу реагенту. Обслуговування ємності включає періодичні огляди, перевірку герметичності, очищення ключових вузлів та профілактичні заходи, спрямовані на попередження несправностей. На відміну від паливних баків, ємність для AdBlue піддається впливу специфічних факторів – хімічна агресивність розчину сечовини, утворення кристалів при висиханні, замерзання при низьких температурах – тому обслуговування повинно враховувати ці особливості.

Перевірка кріплень та стану бака. Першочергово при кожному плановому огляді перевіряють стан кріплення баку на паливозаправнику. У разі виявлення послаблень кріплення необхідно підтягнути рівномірно, використовуючи відповідні ключі. Також оглядають віброізолятори: гумові елементи не повинні мати тріщин, проривів або ознак просідання. З часом гума може втрачати еластичність, тому якщо віброгасники стали надто жорсткими або потріскались, їх слід замінити при найближчому технічному обслуговуванні. Окрім кріплень, варто візуально оглянути поверхню самого баку. Стінки мають бути без підтікань і корозії. Особливу увагу звертають на шви: поперечні і поздовжні зварні шви оглядають на відсутність тріщин, вогнищ іржі, подтеків сечовини (які можуть проявлятися білуватими кристалами карбаміду після висихання). Якщо бак пофарбований, слід перевірити цілісність лакофарбового покриття, адже пошкодження фарби можуть призвести до корозії основи.

Перевірка герметичності та вентиляції. Одним з ключових аспектів обслуговування є контроль герметичності ємності AdBlue. Герметичність перевіряють як мінімум раз на місяць або перед далеким рейсом паливозаправника. Для цього оглядають всі з'єднання на наявність слідів протікання. В першу чергу перевіряють заливну горловину: ущільнювальна

прокладка під кришкою повинна бути цілою та еластичною. Якщо прокладка пошкоджена або дубова, її змінюють на нову з матеріалу, стійкого до AdBlue (найчастіше це поліуретан або спеціальна гума EPDM). Кришку потрібно щільно закручувати; при закритті не має відчуватися люфт чи перекіс. Далі оглядають дихальний клапан. Нормальна робота клапана важлива для компенсації змін об'єму рідини при коливаннях температури і витраті. При обслуговуванні перевіряють, чи не засмітився клапан кристалами сечовини. AdBlue має властивість кристалізуватися при випаровуванні води, утворюючи білі відкладення. Такі кристали можуть накопичуватися на сіточці або у каналах дихального клапана, особливо якщо рідина переливалася або бак був переповнений. Тому під час огляду клапан обережно демонтують і промивають теплою водою. Усі кристалічні відкладення повинні розчинитися і бути видалені, після чого клапан просушують стисненим повітрям і встановлюють на місце, перевіривши роботу його пружинного або поплавкового механізму.

Окрім клапана, герметичність перевіряють на з'єднаннях труб і арматури. Місце під'єднання кульового крану та трубопроводу повинно бути сухим. Іноді на різьбі, навіть при добрій ізоляції, з часом можуть з'явитися запотівання – сліди вологи або кристалів. Якщо таке місце виявлене, варто підтягнути різьбове з'єднання або перемотати його новою фум-стрічкою. Аналогічно перевіряють зливну пробку: вона повинна бути надійно закручена. Для контролю відсутності течі можна провести простий тест: нанести на стик мильну пінисту емульсію і злегка надати тиску всередині баку (наприклад, вдуту повітря через горловину, притримуючи кришку). Якщо з'являться бульбашки – значить, є витік, і його слід усунути. Після такої перевірки бак знову відкривають, щоб вирівняти тиск, і змивають залишки мила, оскільки воно теж є сторонньою речовиною і не повинно потрапити в AdBlue.

Обслуговування фільтрів і системи подачі. Якщо паливозаправник оснащений системою роздачі AdBlue (насосом, лічильником, роздавальним

шлангом із пістолетом), то в системі, як правило, присутній фільтр тонкого очищення AdBlue. Фільтр необхідний для захисту від потрапляння механічних домішок у SCR-системи клієнтських автомобілів, а також для уловлювання можливих кристалів. Під час обслуговування ємності слід не забувати й про цей фільтр. Згідно з рекомендаціями виробників (та залежно від інтенсивності використання), фільтр слід перевіряти та очищати приблизно раз на 3–6 місяців. Процедура полягає в тому, щоб перекрити подачу AdBlue (закрити кульовий кран на баку), знизити тиск у системі (при необхідності), а потім розібрати фільтр. З картриджа або сітки фільтра промивають кристалічний осад теплою водою. Якщо картридж одноразовий – його замінюють на новий. Корпус фільтра очищають зсередини м'якою щіткою. Після складання фільтрувального вузла переконуються у відсутності протікань при відновленні подачі AdBlue.

Періодичність технічного обслуговування. Розробляючи графік ТО для ємності AdBlue, варто враховувати умови експлуатації паливозаправника і рекомендації виробників обладнання. Орієнтовно можна дотримуватися таких інтервалів: щоденно або перед виїздом – швидкий візуальний огляд баку і кріплень (пересвідчитися, що немає очевидних протікань, кришка закрита); щотижня – перевірка рівня AdBlue та доливання за потреби, огляд дихального клапана на забруднення зовні; щомісяця – детальніший огляд усіх з'єднань на герметичність, підтягування кріплень, очищення кришки горловини; раз на 3–6 місяців – обслуговування фільтра, огляд стану фарбового покриття баку, очищення зовнішніх поверхонь від бруду і залишків реагенту; раз на рік – повна ревізія, промивка баку зсередини, заміна зношених ущільнювачів, антикорозійна обробка за потреби. Звісно, якщо під час будь-якого огляду виявлено проблему (витік, тріщину, іржу), не варто чекати кінця періоду – ремонт проводиться негайно, до продовження експлуатації.

Додаткові рекомендації з експлуатації. Під час експлуатації ємності AdBlue слід дотримуватися кількох правил, які полегшують подальше

обслуговування. По-перше, уникайте переповнення баку. Заповнення більш ніж на 95% об'єму небажане, особливо в спекотну погоду, адже при нагріванні рідина розширюється і може витікати через клапан або мікрощілини, утворюючи кристалічний наліт. Завжди залишайте повітряну подушку для компенсації теплового розширення. По-друге, при низьких температурах (близько -11°C і нижче) AdBlue починає замерзати, перетворюючись на желеподібну масу, яка може закупорити трубопроводи. Щоб уникнути розриву баку при замерзанні, не залишайте ємність повністю заповненою на морозі – достатньо 70–80% рівня, щоб був запас на розширення льоду. Бак з добре працюючим дихальним клапаном витримає замерзання (клапан скине надлишковий тиск), але після відтавання можливе утворення твердих кристалів, тому бажано прогріти бак і перемішати рідину або відфільтрувати її перед подачею споживачам. По-третє, зважайте на строк придатності реагенту AdBlue. За нормальних умов зберігання (в тіні, при температурі до $+25^{\circ}\text{C}$) розчин зберігає властивості близько року. Якщо ж паливозаправник експлуатується у жаркому кліматі, де температура бака може перевищувати $+30^{\circ}\text{C}$, то раз на пів року варто повністю оновлювати запас AdBlue, щоб він не втрачав концентрацію через гідроліз. Своєчасне технічне обслуговування та дбайливе поводження з баком AdBlue забезпечують надійну роботу системи та мінімізують ризик відмов під час експлуатації.

4.РОЗДІЛ. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Заходи безпеки при експлуатації паливозаправника

Безпечна експлуатація паливозаправника охоплює весь цикл операцій – від наповнення автоцистерни паливом і реагентом, транспортування їх до місця призначення, до заправлення техніки чи стаціонарних резервуарів у споживача. На всіх етапах необхідно дотримуватися заходів безпеки, щоб уникнути витоків, займання пального чи інших небезпечних ситуацій. Нижче описані основні правила безпечної експлуатації.

Завантаження і розвантаження пального. Перед початком наливу пального у паливозаправник або зливу з нього обов'язково здійснюється заземлення цистерни. Згідно з вимогами правил безпеки, під час наливання чи спорожнення автоцистерни її корпус повинен бути надійно приєднаний до заземлювального пристрою [27]. Для цього використовують спеціальний заземлювальний кабель із затискачами: одним кінцем він приєднується до заземлювальної шини (пункту наливу), іншим – до металевого корпусу цистерни. Місця з'єднання мають бути очищені від фарби та бруду для доброго електричного контакту. Електризованість нафтопродуктів – небезпечна властивість, адже при терті пального об стінки судин накопичуються заряди статичної електрики, здатні викликати іскру. Тому заземлення є критичною запобіжною мірою перед початком будь-яких наливних операцій. Під час наливу також рекомендується забезпечити електричний контакт між зливним рукавом і горловиною цистерни (більшість заправних пістолетів зроблені з металу і при правильному використанні торкаються горловини, знімаючи потенціал). Налив пального здійснюється за регламентованою технологією: швидкість наливу не повинна перевищувати встановлених норм, щоб уникнути електризації і утворення турбулентних потоків, що можуть спричинити піноутворення чи розлив.

Під час завантаження пального на нафтобазі слід дотримуватися і інших правил. Паливозаправники, що очікують черги на наповнення, повинні знаходитися поза межами естакади наливу на відстані не менше 25 м від неї, щоб у разі аварії на пункті наливу зменшити ризик пошкодження інших автоцистерн. Коли паливозаправник під'їжджає під наливну колонку, водій глушить двигун та забезпечує нерухомість транспортного засобу – ставить ручне гальмо, при потребі підкладає противідкотні упори під колеса. Далі виставляються знаки безпеки: таблички чи конуси, що позначають небезпечну зону, і знаки «Вогнебезпечно», «Не палити». Перед відкриттям люку або приєднанням шлангів оператор повинен зняти з себе металеві предмети, що можуть випадково випасти і спричинити іскру (інструменти, телефон тощо), та переконатися, що на ньому немає одягу з синтетичних тканин, які здатні сильно електризуватися. Під час наливу заборонено використовувати відкрите світло, тільки вибухобезпечні переносні ліхтарі при необхідності. Персонал повинен знаходитися збоку від зливно-наливних патрубків, щоб у разі розриву рукава чи фонтанування пального не опинитися під струменем [28]. Категорично заборонено залишати процес наливу без нагляду: водій або закріплений оператор зобов'язані постійно контролювати рівень пального і стан обладнання, щоб вчасно зупинити налив при виникненні нештатної ситуації. Цистерни не можна переповнювати – має залишатися вільний простір приблизно 5–10% об'єму для компенсації температурного розширення рідини.

Транспортування. Під час руху паливозаправника дорогами водій повинен дотримуватися всіх правил дорожнього руху і бути особливо уважним на поворотах, спусках і підйомах, оскільки рідкий вантаж може зміщуватися і впливати на стійкість автоцистерни. Бажано уникати різких гальмувань та прискорень. Маршрут руху зазвичай узгоджується заздалегідь: по можливості слід уникати густонаселених районів, тунелів, мостів у поганому стані та інших місць, де наслідки аварії з небезпечним вантажем можуть бути особливо важкими. На самому транспортному засобі повинні бути встановлені попереджувальні знаки: оранжеві таблички спереду і ззаду з

номером небезпеки та номером ООН вантажу (для дизельного пального це № 30/1202 або 33/1203 залежно від виду пального), а також знаки небезпеки класу 3 (полум'я) і знаки «Небезпечно для довкілля» при перевезенні нафтопродуктів. Наявність цих знаків попереджає оточуючих про характер вантажу і дозволяє відповідним службам діяти правильно у разі аварії.

Важливо контролювати стан вентиляційних отворів (дихальних клапанів) цистерн під час руху. Ці клапани призначені для вирівнювання тиску: при коливаннях температури та тиску в цистерні вони випускають надлишкові пари або впускають повітря. Клапани мають бути справними, щоб уникнути деформації цистерни (вакуумного «сплюснення» або, навпаки, розриву від надлишкового тиску). Періодично водій повинен оглядати клапани, прочищати їх від бруду чи налиплого пилу. Під час руху за високої температури навколишнього середовища тиск парів пального всередині може зростати, тому потрібно уникати тривалого простою під прямим сонцем: за можливості ставити машину в затінок або накривати цистерну тентом, щоб зменшити нагрів. В холодну пору слід остерігатися обмерзання клапанів, перед рейсом перевірити, чи не замерз конденсат у дренажних відводах та запобіжних клапанах.

Заходи безпеки на місці заправлення також включають забезпечення достатнього простору між транспортними засобами. Якщо здійснюється заправлення колони техніки, дистанція між тим, що заправляється, і наступним у черзі має бути не менше 3 метрів – щоб у разі пожежі або іншої аварії полум'я чи розлиття не перекинулися одразу на інший об'єкт. Не допускається присутність сторонніх осіб в зоні заправки, територію слід позначити конусами чи знаками. Оператор повинен бути уважним до стану як паливного рукава, так і роздавального пістолета – їх цілісності, відсутності тріщин, підтікань у місцях з'єднань. Рукави для роздачі пального повинні бути антистатичними та сертифікованими, розрахованими на потрібний тиск. Перед початком заправлення корисно ще раз оглянути місце – переконатися,

що під транспортним засобом немає відкритого полум'я, працюючих двигунів або інших джерел займання, а сам майданчик рівний і нема ям, через які цистерна може нахилитися.

В разі виникнення позаштатної ситуації – значного розливу пального, загоряння, аварії на дорозі – водій повинен діяти згідно з аварійною інструкцією. Насамперед – зупинити подачу пального і заглушити двигуни, по можливості перекрити запірні пристрої на цистернах. Оповістити оточуючих про небезпеку, виставити знаки аварійної зупинки та евакуювати людей із зони можливого ураження. Далі – викликати екстрені служби (пожежну, рятувальників, поліцію) і якщо це безпечно, спробувати ліквідувати наслідки розливу власними засобами (надіти ЗІЗ, використати адсорбент, встановити бонові загородження чи ін.). Паливозаправник повинен бути укомплектований мінімальними засобами для цього – лопатою (негорючою, зазвичай пластиковою або алюмінієвою) для накопичення ґрунту чи піску на розлиту рідину, ємністю для збирання відходів та вогнегасниками.

4.2. Специфічні заходи охорони праці при роботі з ємністю для AdBlue.

Наявність на паливозаправнику окремої ємності для AdBlue (водного розчину сечовини концентрації 32,5%) вимагає врахування специфічних властивостей цього реагенту. Хоча AdBlue не належить до легкозаймистих чи токсичних речовин і вважається відносно безпечним, при його зберіганні та використанні існують інші ризики – хімічні та фізичні. До них належать: можливе подразнення шкіри та очей при контакті, корозійний вплив на деякі матеріали, утворення ковзких поверхонь при розливах, зміна властивостей при екстремальних температурах тощо. Нижче описані заходи охорони праці, що враховують ці особливості [28].

Рідина AdBlue прозора, без різкого запаху, хімічно стабільна за нормальних умов. Вона не класифікується як небезпечна речовина за

критеріями ЄС (відсутня токсична чи екологічна небезпека у звичайних концентраціях). Маленькі кількості, випадково ковтнуті чи вдихані, не завдають серйозної шкоди здоров'ю. Однак AdBlue має лужний рН ≈ 9 , оскільки містить розчин сечовини. Такий рівень рН означає, що концентрований розчин може викликати подразнення або навіть хімічний опік при тривалому контакті зі шкірою чи слизовими оболонками. Особливо небезпечно занурення частин тіла безпосередньо в ємність з AdBlue або багаторазовий тривалий контакт шкіри з цією рідиною. Тому персонал повинен уникати прямого контакту незахищеної шкіри з AdBlue і завжди користуватися захисними рукавичками при роботі з ним. Попри те, що AdBlue формально не класифікується як подразнювальний хімікат, випадкове попадання в очі викликає печіння, слезотечу та кон'юнктивне почервоніння. Якщо реактив потрапив в очі, їх слід негайно промити проточною водою протягом кількох хвилин; при збереженні подразнення – звернутися до лікаря. При потраплянні AdBlue на шкіру необхідно якомога швидше змити його водою, забруднений одяг – зняти або випрати. Це не лише змие саму рідину, а й запобіжить утворенню дрібних кристалів сечовини на шкірі чи тканині при висиханні розчину. Такі кристали можуть спричиняти місцеве подразнення або свербіж.

Запобігання витокам та контакту. Для роботи з AdBlue використовують спеціальне обладнання і матеріали, стійкі до його впливу. Зокрема, контакт розчину з нелегованою сталлю, алюмінієм та кольоровими металами слід обмежити, оскільки AdBlue має корозійний вплив на деякі метали (особливо мідь, цинк, алюмінієві сплави). Внутрішні поверхні цистерни та трубопроводів для AdBlue, як правило, виготовлені з нержавіючої сталі або пластику, щоб уникнути корозії. У разі, якщо реагент пролився на металеві інструменти чи деталі кузова автомобіля, потрібно ретельно очистити ці поверхні і промити великою кількістю води. Зокрема, якщо AdBlue потрапив на пофарбовані елементи паливозаправника чи іншої техніки, негайне змивання водою

запобіжить пошкодженню фарби чи лакового покриття (сечовина здатна роз'їдати деякі фарби).

Безпечна експлуатація ємності AdBlue. Ємність для AdBlue на паливозаправнику зазвичай оснащена власним дихальним клапаном (вентиляційним отвором) та в холодну пору, системою підігріву. Дихальний клапан працює аналогічно паливному: при наливі або відборі реагента впускає повітря і випускає надлишковий тиск, підтримуючи атмосферний тиск всередині. Персонал повинен стежити, щоб цей клапан був справним і не засміченим кристалами сечовини (при випаровуванні AdBlue на повітрі залишається білий кристалічний наліт, який може забивати маленькі отвори). Якщо вентиляція ємності порушена, при перепаді температур вона може деформуватися або розірватися: наприклад, нагрітий на сонці заповнений бак AdBlue без працюючого клапана може накопичити високий тиск і тріснути, або при відкачуванні реагенту без притоку повітря всередині може створитися вакуум, що призведе до втягування стінок резервуара. Отже, перед рейсом слід перевіряти справність дихального клапана AdBlue, періодично прочищати його та не закривати герметично горловину баку.

Заправлення та злив AdBlue. Операції з AdBlue дещо відрізняються від пального, хоча загальні принципи безпеки схожі. AdBlue зазвичай роздається за допомогою окремої помпи низького тиску і пістолета, обладнаного системою «сухого від'єднання» або зворотними клапанами, щоб запобігти крапельному витіканню. Перед роздавальною помпою часто встановлений дрібний фільтр, адже чистота реагенту важлива для SCR-систем. Оператор повинен працювати в рукавичках, уникаючи потрапляння розчину на руки. В разі бризок (наприклад, при від'єднанні швидкокороз'ємного з'єднання може потрапити крапля) – негайно витерти і промити це місце водою. Поверхня під час роботи з AdBlue може стати слизькою, якщо навіть невелика кількість рідини розлита на підлогу чи ґрунт. Тому місце заправки слід зберігати чистим: при проливі – відразу ж нейтралізувати його, змив водою, або

закидати піском, щоб хтось не послизнувся. Ковзкий шар кристалів сечовини або розчину особливо небезпечний на східцях автоцистерни чи на рамі – водій, піднімаючись чи стоячи на майданчику, може впасти й отримати травму. Таким чином, після кожного зливу AdBlue необхідно протирати сухою ганчіркою місця з'єднань, витоки на підлозі або кузові змивати водою.

AdBlue і пожежна безпека. Попри хімічну природу, AdBlue не є горючою речовиною – він не підтримує горіння і сам не займається. Це позитивний фактор: наявність AdBlue на паливозаправнику не збільшує ризик загоряння, більше того, у випадку розливу AdBlue поряд із пальним, водний розчин може частково локалізувати пально (охолодити чи розбавити дизель, зменшуючи ризик його займання). Однак слід врахувати, що при дії високої температури, наприклад у разі пожежі поблизу, AdBlue буде розкладатися з виділенням газоподібного аміаку. Аміак – токсичний газ, він подразнює дихальні шляхи і очі. Тому при гасінні пожежі, де задіяний також бак з AdBlue, пожежники мають використовувати ізолюючі протигази (апарати на стисненому повітрі) [28]. Вибуху ємності AdBlue за нормальних умов не станеться (розчин не продукує займистих парів), але при сильному нагріванні можлива швидка побудова тиску пари води і аміаку всередині пластикового баку, що призведе до його розриву. Отже, дистанція і обережність при пожежогасінні повинні враховувати і цю особливість – потрібно охолоджувати ємність водяним струменем здалеку, якщо вона під загрозою нагріву.

5. РОЗДІЛ. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.

5.1. Економічна доцільність використання комбінованого паливозаправника.

Використання одного автопаливозаправника з вбудованою ємністю для AdBlue замість двох окремих (один – для дизеля, інший – для AdBlue) дає суттєві економічні переваги. Оскільки сучасна дизельна техніка з системою SCR потребує одночасної наявності обох рідин, окреме транспортування призводить до подвійних витрат: двох транспортних засобів, двох водіїв та подвійного логістичного забезпечення. Як зазначено в попередніх дослідженнях, такий підхід «вимагає додаткового персоналу, збільшує витрати часу, пального і трудові затрати».

Наприклад, дві окремі машини можуть витрачати близько 60 л дизпального на 100 км пробігу (по 30 л кожна), тоді як один комбінований баківоз – лише 30 л/100 км. Це дає економію близько 30 л/100 км пробігу. Навіть на відстані 1000 км така схема дозволяє заощадити ≈ 300 л пального. Таким чином, при використанні комбінованого заправника витрати пального зменшуються майже вдвічі.

Коефіцієнт заощадження пального можна оцінити формулою:

$$Q_{\text{економ}} = (q_{\text{окрем}} - q_{\text{комб}}) \times \frac{D}{100} \quad (5.1)$$

де:

$q_{\text{окрем}} \approx 60$ л/100 км – сумарна витрата двох автомобілів,

$q_{\text{комб}} \approx 30$ л/100 км – витрата одного комбінованого,

D – пробіг одним автомобілем, км.

Підставляючи $D = 1000$ км, отримуємо:

$$Q_{\text{економ}} \approx (60 - 30) \times 1000 / 100 = 300 \text{ л/1000 км.}$$

При ціні дизпального, наприклад, 50 грн/л, така економія становитиме приблизно 15 000 грн на 1000 км пробігу. За високого річного пробігу

комбінованого заправника ця сума стає вагомим вкладом у економію коштів підприємства.

Окрім економії пального, значно скорочуються витрати на обслуговування техніки та оплату праці. Один комбінований автомобіль простіше утримувати, ніж два окремі: зменшуються витрати на технічні огляди, заміну мастил, шин тощо [30]. Формально, якщо середньорічні витрати на ТО і ремонти одного авто позначити як $C_{\text{обсл}}$, то при двох машинах вони приблизно подвоюються. Перехід на одну машину дає економію близько $C_{\text{обсл}}$.

Також скорочуються витрати на оплату праці: на комбінований заправник потрібен один водій-оператор замість двох. Якщо річна заробітна плата одного водія – W , то перехід на один комбінований транспорт дає економію близько W (бо другий водій не залучається).

Крім того, час простою спецтехніки при заправці зменшується. Завдяки одночасній заправці дизеля та AdBlue скорочуються перерви в роботі машин, що критично важливо для продуктивності (зменшення простою становить щонайменше 20–30 % згідно з оцінками). Це означає додаткову економію — менша втрата виробничого часу, яку можна оцінити як зменшення невиробничих витрат на фонд заробітної плати та втрату доходу.

Загальні логістичні витрати теж знижуються: комбінований підхід дозволяє уникнути ситуацій, коли адміністрування дуже ускладнюється (наприклад, є дизель, але нема AdBlue – робота припиняється). Подача двох рідин з одного джерела синхронізована, що підвищує автономність і гнучкість забезпечення техніки.

Всі ці чинники (заощаджене пальне, зменшені витрати на обслуговування і персонал, вигода від оперативності) у сумі збільшують рентабельність проекту та зменшують собівартість мобільного заправного комплексу.

Розрахунки економії пального

Позначимо через q середню витрату дизпального комбінованим паливозаправником (л/100 км) і через D – річний пробіг транспорту на маршрутах заправки (км). У випадку окремого перевезення пального і AdBlue двома транспортними засобами сумарна витрата становитиме $2q$ (л/100 км), тоді як комбінований автомобіль витрачатиме лише q (л/100 км).

Економія на 100 км пробігу:

$$\Delta Q_{100} = (2q - q) = q(\text{л/100 км}) \quad (5.2)$$

Для загального шляху D (км) виграш у витратах пального:

$$\Delta Q = \left(\frac{q}{100}\right) \times D \quad (5.3)$$

Наприклад, якщо $q = 30$ л/100 км, а комбінований автозаправник проходить $D = 20\,000$ км за рік, то сумарна економія становить: $\Delta Q = 0,3 \cdot 20\,000 = 6\,000$ л дизпального на рік.

При вартості пального P грн/л річна економія в грошах дорівнює $P \cdot \Delta Q$. При $P = 50$ грн/л це дає до $\sim 300\,000$ грн/рік. До того ж ця оцінка є консервативною: фактичні значення q та D можуть бути більші за рахунок повільних перевезень або частих поїздки.

Таким чином, комбінований автозаправник дозволяє суттєво зменшити витрати на пальне, як показано і в раніше проведених розрахунках.

Зниження витрат на обслуговування та оплату праці

Витрати на технічне обслуговування та ремонт двох автозаправників практично вдвічі перевищують витрати на один. Якщо позначити річні витрати на ТО однієї машини як $\Pi_{\text{ТО}}$, то для двох вона складає $\sim 2\Pi_{\text{ТО}}$. Перехід до однієї комбінованої машини приносить економію приблизно $\Pi_{\text{ТО}}$ на рік.

Додатково суттєво знижуються адміністративні та кадрові витрати: один водій-оператор замість двох. При річній зарплаті водія W загальна економія фонду оплати праці – близько W на рік.

Оскільки багато підприємств мають обмежений кадровий ресурс, зменшення штату на одного людино-рейсу також полегшує планування та контроль роботи.

Крім цього, скорочуються часові втрати при самій заправці техніки. Адміністратор при застосуванні комбінованого автомобіля може одночасно заправляти двигун і реагентом AdBlue, що, за оцінками, зменшує час обслуговування машин щонайменше на 20–30 %. Це означає менше простоїв техніки – важливий чинник при інтенсивній роботі (наприклад, у кар’єрі чи на будмайданчику) і додаткове підвищення продуктивності.

Усі ці фактори разом поліпшують економічні показники: в одному дослідженні доведено, що при роботі комбінованого заправника «зменшуються витрати на обслуговування техніки» та «скорочуються витрати на заробітну плату», що вдвічі підвищує ефективність експлуатації транспортного парку.

5.2. Витрати на виготовлення та монтаж ємності AdBlue.

Для оцінки вартості виготовлення додаткової ємності скористаємось її конструктивними параметрами. З креслення видно, що запропонована ємність має об’єм ~ 1000 л. З урахуванням форми та наведених розмірів (довжина ≈ 1980 мм, діаметр ≈ 920 мм) площа поверхні бака оцінюється в $S \approx 8\text{--}9$ м². Матеріалом бака обрано нержавіючу сталь марки AISI 304, товщиною стінки 2 мм.

Маса баку (без кріплень) можна приблизно розрахувати як:

$$M_{\text{баку}} = S \times \delta \times \rho_{\text{ст}} \quad (5.4)$$

де $\delta = 0,002$ м – товщина листа, $\rho_{\text{ст}} \approx 7850$ кг/м³ – густина сталі. Підставляючи $S \approx 8,5$ м², отримуємо

$$M_{\text{баку}} \approx 8,5 \times 0,002 \times 7850 \approx 133 \text{ кг} \quad (5.5)$$

Разом із вагою внутрішньої перегородки (≈ 10 кг) та габаритними елементами рами і фітингів (додатково 30–50 кг) отримаємо загальну масу ≈ 230 кг. Якщо взяти вартість нержавіючої сталі близько 60 грн/кг, то матеріал для виготовлення бака обійдеться приблизно $133 \times 60 \approx 8000$ грн. Каркас бака (профільна труба $40 \times 40 \times 2$ мм, швелер 160×18 мм) виконаний зі звичайної конструкційної сталі, додамо ще умовно $50 \text{ кг} \times 30 \text{ грн/кг} \approx 1500$ грн на каркас. Вартість арматури (клапани, люк, крани, муфти) та додаткових деталей може складати ще ~ 30000 – 40000 грн. Оплата праці зварювальника та механіка: з урахуванням складності робіт (вирізка, згин, зварювання, шліфування) та умов ринку, приблизно 30–50 годин роботи (за ставкою, скажімо, 200–300 грн/год) дають $\approx 10\,000$ грн. Підсумок: матеріали $\approx (8000 + 1500 + 35000) = 44\,500$ грн, робота $\approx 10\,000$ грн. Сукупна вартість виготовлення та встановлення $\approx 54\,500$ грн (≈ 800 €). Наведені розрахунки є орієнтовними і залежать від фактичних цін металу та оплати праці. Формулою це можна записати так:

$$C_{\text{інвест}} \approx (M_{\text{ст}} \times \rho_{\text{ст}} \times P_{\text{ст}}) + (M_{\text{кр}} \times P_{\text{кр}}) + (t_{\text{р}} \times \text{ставка}_{\text{р}}) \quad (5.6)$$

де $M_{\text{ст}}$ – маса бака, $P_{\text{ст}}$ – ціна сталі за кг, $M_{\text{кр}}$, $P_{\text{кр}}$ – маса і ціна каркасних профілів, $t_{\text{р}}$ – трудомісткість (години), ставка_р – вартість роботи за годину. Підставлені вище значення дають сумарні витрати ~ 23 тис. грн. Рисунок 1. 3D-модель 1000-літрової ємності AdBlue з рамою для монтажу на кузові паливозаправника. Ця ємність розроблена для легкого встановлення на стандартне шасі: кронштейни підігнані під ширину шасі, а кріплення – болтові типорозміри M16, що часто вже використовуються на вантажівках [31].

Таким чином, встановлення додаткової ємності не вимагає серйозної переробки базового автомобіля.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У роботі проведено глибокий аналіз технічних, експлуатаційних та економічних аспектів функціонування паливозаправника з урахуванням сучасних вимог до зберігання та транспортування реагенту AdBlue. Здійснено проектування конструкції додаткової ємності об'ємом 1000 літрів з урахуванням габаритних та монтажних обмежень. Особливу увагу приділено вибору матеріалів, методам виготовлення, ергономіці встановлення та сумісності із існуючими шасі вантажних автомобілів.

У результаті дослідження та розрахунків встановлено, що застосування комбінованого паливозаправника з вмонтованим баком для AdBlue є економічно доцільним і ефективним рішенням. Це дозволяє:

- зменшити витрати пального за рахунок зменшення кількості рейсів;
- скоротити витрати на оплату праці водіїв і обслуговуючого персоналу;
- знизити витрати на технічне обслуговування двох окремих машин;
- підвищити ефективність заправки техніки за рахунок економії часу.

Розрахунки показали, що річна економія пального та витрат на заробітну плату може становити понад 500 000 грн, при цьому орієнтовна вартість виготовлення та встановлення додаткової ємності – лише близько 54 500 грн. Таким чином, термін окупності інвестицій становить близько 3 місяця, що є надзвичайно вигідним показником для логістичних та будівельних підприємств.

Рекомендації:

1. Впровадити у виробництво комбіновані паливозаправники з вмонтованими ємностями для реагенту AdBlue.
2. Забезпечити стандартизацію монтажу таких ємностей для можливості універсального застосування на різних типах автомобільних шасі.
3. При розробці подібної техніки в майбутньому враховувати принципи модульності, зручності обслуговування та довговічності матеріалів.

4. Розглянути можливість масштабування конструкції або створення кількох модифікацій під різні об'єми та галузі застосування.
5. Використовувати результати даної роботи для розробки нормативної документації та методичних рекомендацій для підприємств, що займаються заправкою важкої техніки.

Результати дипломної роботи свідчать про високий потенціал розробленої конструкції як з технічної, так і з економічної точки зору. Її впровадження здатне суттєво підвищити ефективність і рентабельність логістичних операцій, а також відповідати сучасним екологічним вимогам до застосування реагенту AdBlue у дизельній техніці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. – Кн. 1: Теоретичні основи. Технологія. – К.: Вища школа, 1994. – 384 с.
2. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 6-те вид. – К.: Либідь, 2006. – 400 с.
3. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: підручник. – К.: Знання – Процес, 2003. – 511 с.
4. Черновол М.І., Чабанний В.Я. Технічна експлуатація автомобілів: Лабораторний практикум. – Кіровоград: РВП КНТУ, 2007. – 125 с.
5. Пахарєва С.О. Автомобільна техніка: навчальний посібник. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2010. – 392 с.
6. Сумець О.М., Сиромятніков П.С. Класифікація деталей вузлів і агрегатів автотранспортних засобів. – Вісник ХНТУСГ, 2011. – С. 181–186.
7. AdBlue® Handbook. Verband der Automobilindustrie (VDA), Germany, 2016.
8. ISO 22241-1:2019. Diesel engines — NO_x reduction agent AUS 32 — Part 1: Quality requirements.
9. European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) 2023.
10. ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements.
11. L. Reif (Ed.). Diesel Engine Management: Systems and Components. Springer Vieweg, 2014.
12. Bosch Automotive Handbook. 9th edition. Robert Bosch GmbH, Germany, 2014.
13. D. Crolla. Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body. Elsevier, 2009.
14. VDA - German Association of the Automotive Industry. SCR Systems and AdBlue Technology, Berlin, 2018.

15. M. Huzel, D. Huang. Modern Diesel Technology: Diesel Engines. Cengage Learning, USA, 2011.
16. J. Heywood. Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd ed. McGraw-Hill, New York, 2018.
17. SAE International. Selective Catalytic Reduction (SCR) System Design for Diesel Engines. SAE Technical Paper, 2020.
18. D. E. Hardt. Manufacturing Processes for Design Professionals. Thames & Hudson, 2009.
19. ДСТУ ISO 4413:2018. Гідравлічні приводи. Загальні правила та вимоги безпеки.
20. Гірчук М.Я., Скиба С.Г. Теорія і розрахунок автомобіля. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018.
21. Petrov M., Rakov V. Mechanics of Materials for Engineers. Springer International Publishing, 2020.
22. Kutz M. Mechanical Engineers' Handbook: Materials and Engineering Mechanics. Wiley, 2015.
23. AISI 304 Stainless Steel Data Sheet, Outokumpu Oyj, Finland, 2020.
24. Timoshenko S.P., Goodier J.N. Theory of Elasticity. McGraw-Hill, New York, 1970.
25. Euro 6 Vehicle Emissions Standards. European Commission Official Documents, 2021.
26. ДСТУ ОHSAS 18001:2010 «Системи управління безпекою та гігієною праці. Вимоги».
27. Закон України «Про охорону праці». Офіційна редакція, 2023.
28. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми шуму, ультразвуку та інфразвуку.
29. НПАОП 0.00-7.11-12. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників.
30. AdBlue® Quality Management, Air1 Yara International, 2020.
31. Грінько Т. І. Економіка підприємства: навч. посібник. – Київ: Центр учбової літератури, 2021. – 376 с.