

ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ВСП «ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ЕКОНОМІКИ, ПРАВА ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗУНУ»**

Циклова комісія транспорту та інформаційних технологій

КОРМИШ Вікторія Петрівна

**АНАЛІЗ ТА МОЖЛИВОСТІ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО
СТАНУ МІСТА ТЕРНОПІЛЬ ЗАВДЯКИ ВПРОВАДЖЕННЮ
СУЧАСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ N/**

**ANALYSIS AND OPPORTUNITIES TO IMPROVE THE
ECOLOGICAL CONDITION OF TERNOPIL CITY THROUGH THE
IMPLEMENTATION OF MODERN TRANSPORT TECHNOLOGIES**

спеціальність: 275 Транспортні технології (за видами)

освітньо-професійна програма: Транспортні технології

кваліфікаційна робота

за освітнім ступенем «фаховий молодший бакалавр»

Виконала студентка групи ТТт-41

Кормиш В.П. _____
(підпис)

Науковий керівник:

Викладач Станько А.І. _____
(підпис)

Кваліфікаційну роботу допущено до захисту

« ___ » _____ 20__ р.

Голова циклової комісії _____ П.І.Б.
(підпис)

Тернопіль – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП

1. Аналітично-дослідницький розділ

1.1 Аналіз стану проблеми

1.2 Теоретичні основи (методологія дослідження)

1.3 Порівняльний аналіз

2. Технологічний розділ

2.1 Характеристика об'єкта (Транспортна система Тернополя)

2.2 Технологічні розрахунки

2.3 Технологічні рішення (пропозиції)

3. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 План впровадження

3.2 Економічна оцінка

3.3 Оцінка впливу

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Додатки

ВСТУП

Актуальність теми

Екологія є однією з основних проблем сучасного урбанізованого світу. Екологічна безпека, охорона навколишнього середовища і раціональне використання усіх природних ресурсів - невід'ємна частина нашого життя та майбутнього розвитку України. Проте, швидке розширення міст та збільшення транспортного навантаження за останні кілька десятиліть, спричинило і спричинює далі погіршення екологічного стану міста та територій поруч, що стає все більш актуальною проблемою .

Тернопіль - це не просто фанке місто на заході України, це одне з найзатишніших, найзеленіших, а основне найрідніших для мене міст, оскільки я проживаю у м. Тернопіль більше 5 років, а в області все життя. Моє місто є важливим культурним, економічним і ключовим транспортним вузлом регіону, відоме також як молодіжна столиця України, що поєднує в собі галицький колорит, історичну спадщину та природню красу. Читаючи багато джерел задля підготовки до написання роботи я дізналася історію започаткування, особливості рельєфу та клімату.

Протягом багатьох років місто утримує свої позиції та входить у топ 10 найчистіших міст України. Це й не дивно, оскільки у місті немає великих промислових об'єктів. За часів СРСР в Тернополі знаходилось чимало підприємств-гігантів, найбільші з них – текстильно-бавовняний комбінат, комбайновий завод та світлотехнічне об'єднання «Ватра», однак через певні причини - усі вони припинили своє існування.

Дивлячись на карту Тернопільського району та й власне самого міста Тернополя, яке я досліджую в роботі важко не помітити, що воно дійсно найзеленіше (див. Додаток А) - я, як тернополянка, пишаюся цим.

Важливо, що після початку повномасштабного вторгнення росії на територію України екологічна ситуація країни значно погіршилась. Постійні обстріли завдають критичної шкоди екології, зокрема призводять до вибухів, пожеж, руйнування промислових об'єктів, забруднення повітря, води та

землі. Забруднення атмосферного повітря відбувається внаслідок: ракетних атак на промислові об'єкти (здійснюється викид шкідливих речовин в повітря); атак на енергетичну інфраструктуру (внаслідок чого люди застосовують альтернативні джерела електроенергії – дизельні чи бензинові генератори, а двигуни внутрішнього згорання, які використовуються у генераторах, забруднюють довкілля шкідливими речовинами (оксид вуглецю, чадний газ, сажа, оксиди азоту та дрібнодисперсний пил); детонації боєприпасів (відбувається потрапляння токсичних сполук у ґрунти (чадний та вуглекислий газ, водяна пара, пари ціанистої кислоти, азот та інша токсична органіка), отруйні речовини потрапляють у ґрунт, потім до ґрунтових вод, згодом – до харчових ланцюгів тварин і людей), тощо.

Враховуючи, що воєнні дії та регулярні масовані ракетні атаки проводяться здебільшого в східній та південній частині України, Тернопіль продовжує бути одним з найбільш екологічних міст України.

Однак, Тернопіль, як і інші міста, також стикається з труднощами, пов'язаними із забрудненням повітря, шумовим забрудненням та зниженням якості життя тернополян.

Після початку війни та появи біженців у Тернополі стало вдвічі більше автомобілів, рух у місті став інтенсивніший. Згодом, через проблеми з паливом, трафік знов зменшився. Щоправда, від багатьох чую про зниження якості палива (бензину), що могло спричинити збільшення вмісту шкідливих забруднюючих речовин у викидах автомобільних двигунів та знизити безпеку довкілля у місті.

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка (ТНПУ), у співпраці з ГО «Фрі Ардуіно» та за підтримки ГО «Arnika» за допомогою встановлених станцій моніторингу якості повітря та радіації, стежить за безпекою довкілля в різних точках міста Тернополя. Сучасні станції EcoCity, встановлені в «чистих» та «гарячих» точках Тернопільщини, дають можливість з'ясувати, як змінюється стан атмосферного повітря біля доріг. Це сучасна модель AirFreshMAX EoS з переліком сенсорів, що дозволяє оцінювати якість повітря згідно настанов індексу якості повітря ЄС (PM, CO, NO₂, O₃) [1].

Транспортні засоби, які працюють на рідкому паливі (дизель, газ, бензин), у процесі використання, щохвилини викидають у природне середовище оксид вуглецю (CO), діоксид вуглецю (CO₂), оксиди азоту (NO_x), двоокис сірки (SO₂), озон, бензол, а також інші частинки. В атмосферу транспорт найбільше викидає діоксид вуглецю (CO₂). Високі концентрації цього викиду шкідливі для здоров'я, а саме: зменшується кількість доступного кисню, з'являється головний біль або запаморочення, знижується концентрація, викликається відчуття задущення. Довгострокове перебування в місці, де діоксид вуглецю (CO₂) перевищений може викликати серцево-судинні захворювання або хронічні. Зменшення цих та інших викидів від транспорту в атмосферу є важливою метою для покращення стану екологічного стану Тернополя саме зараз.

Дослідження впливу транспортних технологій на екологічну ситуацію міста є важливим завданням, адже саме транспортні процеси значною мірою впливають на якість повітря та рівень його забруднення.

Запропоновані нижче технологічні зміни можуть не лише позитивно позначитися на стані навколишнього середовища, але й підвищити комфорт життя тернополян, сприяти розвитку сталої міської мобільності та створенню більш екологічно чистої інфраструктури. Саме тому необхідність впровадження подібних транспортних технологій є актуальною і потребує детального аналізу та обґрунтування.

Мета і завдання

Метою даного дослідження є аналіз екологічного стану міста Тернопіль та можливостей покращення через впровадження сучасних транспортних технологій.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:

1. Здійснити оцінку екологічного стану Тернополя.
2. Виявити головні джерела забруднення повітря.
3. Проаналізувати вплив транспортних засобів на екологічну ситуацію в місті.

4. Визначити можливості сучасних транспортних технологій для покращення екологічного стану.
5. Підготувати рекомендації щодо інтеграції сучасних транспортних технологій у Тернополі.
6. Виконати моделювання та прогнозування наслідків реалізації запропонованих заходів.

Об'єкт і предмет

Об'єктом дослідження є екологічний стан міста Тернопіль.

Предметом дослідження є можливості покращення екологічного стану міста через впровадження сучасних транспортних технологій.

Методи дослідження

У даному дослідженні використовуються такі методи:

1. Огляд літератури для визначення теоретичних основ дослідження.
2. Аналіз існуючих даних про екологічний стан та транспортну інфраструктуру міста Тернопіль.
3. Моделювання впливу різних транспортних рішень на екологічний стан міста.
4. Емпіричні дослідження та збір даних для оцінки ефективності впроваджених заходів.

Практичне значення

Практичне значення цього дослідження полягає в можливостях використання його результатів для покращення екологічного стану міста Тернопіль.

Отримані напрацювання в подальшому можуть бути використанні для:

1. Урбаністичного планування:

- Створення стратегій розвитку транспортної інфраструктури з акцентом на екологічну складову.
- Планування та будівництво нових велосипедних доріжок та велопарковок.

2.Розвиток громадського транспорту:

- Впровадження екологічних автобусів та електротранспорту у міських маршрутах.
- Оптимізація маршрутів громадського транспорту для зменшення заторів та покращення доступності.

3.Екологічного регулювання та політики:

- Розробка місцевих законів та нормативних актів для стимулювання використання екологічного транспорту.
- Введення мотивації для мешканців, які обирають екологічні способи пересування.

4.Підвищення екологічної обізнаності:

- Проведення освітніх кампаній та заходів для підвищення обізнаності громадян щодо важливості використання екологічного транспорту.
- Залучення місцевих спільнот та організацій до участі у проєктах покращення екологічного стану міста.

5.Моніторингу та оцінки:

- Впровадження систем моніторингу якості повітря та ефективності транспортних технологій.
- Оцінка впливу впроваджених заходів на екологічний стан міста та коригування стратегії відповідно до отриманих даних.

РОЗДІЛ 1 Аналітично-дослідницький

1.1. Аналіз стану проблеми

Екологічний стан сучасних міст є однією з ключових проблем ХХІ століття, що зумовлена стрімкою урбанізацією, індустріалізацією та зростанням транспортного навантаження. Рівень забруднення повітря визначають три основні джерела, а саме: автотранспорт; промислові підприємства та транскордонні перенесення з атмосферою циркуляцією. У Тернополі, де відсутні великі промислові підприємства, найбільший вплив має автотранспорт - автобуси, тролейбуси та приватні автомобілі. Ситуацію загострює зростання автомобільного руху, використання застарілих транспортних засобів, низька якість паливно-мастильних матеріалів, спеціальних загороджень.

Під час аналізу я не лише планую визначити ключові проблеми, а й знайти шляхи їх вирішення, щоб створити основу для розвитку технологій та управлінських рішень, які допоможуть покращити екологічну ситуацію в м. Тернопіль [2].

Огляд літератури

Проблема впливу транспорту на екологічний стан міських територій є актуальною темою як в Україні, так і закордоном, про що свідчать численні дослідження. Проаналізувавши інформацію, яка була висвітлена Всесвітньою організацією охорони здоров'я, я дізналась наступне - транспорт у містах генерує від 70 до 90% викидів забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту (NO_x), тверді частинки ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}) та вуглекислий газ (CO_2), що є основними факторами погіршення якості повітря та зміни клімату. Вдихаючи близько 10дм^2 повітря, протягом року людина пропускає через дихально-легеневу систему до 94млн.дм^2 атмосферних газів, що підвищує ризик респіраторних і серцево-судинних захворювань серед міського населення [3].

Ознайомившись з дослідженнями українських вчених, я дійшла висновку, що в Україні ключовою причиною високого рівня викидів є застарілий автопарк, де переважають транспортні засоби стандарту Євро-3 і нижче. Разом

з тим низька якість дизельного палива, яке часто не відповідає європейським стандартам, додатково збільшує викиди на 10-15%. [4].

В той же час закордонні автори пропонують конкретні рішення. Наприклад [J. Hickman](#) аналізував досвід Західної Європи, зокрема Норвегії та Нідерландів, де електрифікація громадського та приватного транспорту дозволила знизити викиди CO₂ на 20-25% за десятиліття [5]. [P. Newman](#) звертав увагу на інтелектуальні транспортні системи (ITS), які завдяки оптимізації маршрутів і управлінню трафіком зменшують затори на 30%, що прямо впливає на зниження викидів [6]. [G. Miller](#) описував саме соціальний аспект: у Копенгагені просвітницькі кампанії та розвинена велоінфраструктура підвищили частку велосипедистів до 40% за 10 років, що стало прикладом успішної екологізації [7]. Соціально-економічні аспекти також відіграють важливу роль. Низька екологічна свідомість гальмує попит на велосипеди, електромобілі чи громадський транспорт. Наприклад перехід на електротранспорт у Польщі скоротив споживання нафтопродуктів на 15%, що є прикладом для України [8; 9].

Перегляд цих робіт дав мені зрозуміти, що проблема є набагато глибшою та потребує комплексного рішення.

1.2 Теоретичні основи

Поняття "Екологізація транспорту", "ITS", "Енергоефективність", "Велоінфраструктура", "Зонування" та "Екологічна свідомість" формують цілісну базу для аналізу та рішень. Вони відображають сучасні тенденції і адаптуються до умов Тернополя.

Методологія дослідження визначає принципи, підходи та інструменти, які застосовуються для аналізу екологічного впливу транспорту в Тернополі та розробки стратегій його зменшення. Вона базується на системному підході, який розглядає транспортну систему як складну структуру, що включає транспортні засоби (автомобілі, автобуси, тролейбуси), інфраструктуру (дороги, велодоріжки), пасажиропотоки та зовнішнє середовище (атмосферу, екосистеми, населення). Системний аналіз дозволяє виявити взаємозв'язки між

цими елементами, оцінити їх вплив на довкілля та спрогнозувати ефекти від впровадження змін.

Теоретична база методології спирається на цілі сталого розвитку. Ціль перша стале місто та громада, наголошує на створенні безпечних і екологічних транспортних систем, наступна ціль боротьба зі зміною клімату скорочуючи викиди CO₂. У Тернополі це означає перехід від дизельних автобусів до електротранспорту та стимулювання альтернативних видів пересування.

Основу аналізу доповнює концепція зеленої логістики. Вона передбачає регулювання транспортних потоків для мінімізації шкідливих викидів. Наприклад, усунення дублювання маршрутів у Тернополі може скоротити пробіг автобусів, зменшивши викиди та шум .

Для того щоб знайти комплексне рішення та заглибитися в цю проблему важливо встановити конкретних суб'єктів, які відповідають за екологічну ситуацію у місті та можуть впливати на її покращення.

З цією метою необхідно провести аналіз нормативно-правової бази, яка регулює екологічну політику на місцевому рівні. Закони та підзаконні акти визначають повноваження державних адміністрацій, місцевих органів самоврядування та інших суб'єктів, відповідальних за реалізацію природоохоронних заходів. Важливим у цьому контексті є вивчення положень чинного законодавства.

Основним нормативним актом, що регулює екологічну політику в країні є Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища”. Він визначає правові, економічні та соціальні основи охорони природи, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки [10].

Окрім загальнодержавних норм, важливо розглянути, як екологічна політика реалізується на рівні органів місцевого самоврядування. Адже саме тут ухвалюються рішення, що безпосередньо впливають на стан довкілля у місті. Місцеві державні адміністрації відіграють ключову роль у цьому процесі, і їхні повноваження регламентуються статтею 21 Закону України “Про місцеві

державні адміністрації”, яка визначає їхню відповідальність за охорону довкілля та управління природними ресурсами.

Для забезпечення покращення екологічного стану Тернопільською міською територіальною громадою станом на 2025 рік розроблено та ефективно впроваджується “Програма охорони навколишнього природного середовища на 2024-2027 роки”.

1.3 Порівняльний аналіз

Транспортна інфраструктура Тернополя є ключовим елементом, який визначає екологічний стан міста. Вона включає громадський транспорт (тролейбуси, автобуси, маршрутні таксі), приватні автомобілі, а також обмежену мережу вело та пішохідних шляхів.

Протягом останніх двох десятиліть в Україні спостерігається бум купівлі імпортованих вживаних авто з низькими екологічними стандартами, що значно погіршує стан навколишнього середовища країни. Ситуація ускладнюється й тим, що більша частина автомобільного парку України є старою й далекою від прийнятних екологічних стандартів (середній вік автомобілів перевищує 20 років). Отже, мільйони старих автомобілів без належного техогляду в Україні щорічно своїми викидами погіршують показники забруднення повітряного басейну нашої держави. Ця проблема є дуже важливою, адже саме стан якості повітря є одним із головних чинників, які впливають на здоров'я людини. Розвинені держави прагнуть скоротити рівень забруднення повітря, зокрема, шляхом посилення екологічних стандартів для транспортних засобів, заохоченням утилізації старих автомобілів (пільги при купівлі нової машини, бонуси за утилізацію тощо). Україна ж стала заручницею поганого економічного становища широких верств населення, яке стимулює наших громадян купувати дешеві старі неекологічні автомобілі [11]. Як бачимо, відсутність ефективних законодавчих важелів регулювання парку автотранспорту в Україні стало однією з головних причин стрімкого зростання середнього віку автомобілів і засилля транспорту з низькими екологічними стандартами на дорогах країни. Через недостатню увагу з боку державної та

місцевих влад до цього питання накопичилась ціла низка проблем у цій сфері, які потребують врегулювання та розв'язання.

На відміну від країн ЄС, вичерпна інформація щодо стану автотранспорту в Україні не тільки відсутня у відкритому доступі, а фактично не може бути напевне визначена через відсутність контролю технічного стану транспортних засобів. Це викриває одну з базових проблем у цій сфері – недостатньо ефективний контроль і моніторинг технічного стану автотранспорту в Україні та забруднення повітря від його експлуатації.

За даними ІАГ AUTO Consulting автомобільний парк України, станом на 1 січня 2019, складає 10 269 268 автомобілів. При цьому, середній вік автомобілів в Україні близько 21,5 років. Для порівняння, середній вік автомобілів в ЄС – 10,5 років, у Німеччині – 9,3, у Польщі – 13,6. 53,4% автомобільного парку України було вироблено ще до 1991 року . Саме в 1991 році Європа вперше впровадила екологічні стандарти Євро-0, з яких почалося регулювання рівня викидів небезпечних речовин від автомобілів. У подальшому приблизно кожні 5 років вимоги до екологічних стандартів транспортних засобів посилювалися поки в 2014 не були прийняті Євро-6 (**див. Таблиця 1.1**). Половина автомобільного парку України – автомобілі екологічного стандарту Євро-0. Частка автомобілів, які відповідають стандарту Євро-5 та вище, не більше 5-6%. А електромобілів, станом на 1 січня 2020 року нараховується всього 18066 одиниць. Проте варто зауважити, за останні три роки кількість електромобілів зросла, що пов'язано з набуттям чинності Закону про нульове розмитнення електрокарів в Україні від 06.04.2022 [11].

Таблиця 1.1 - Періоди впровадження екологічних Євро норм

Дата введення			Бензин		Дизель		Бензин і дизель
Євро стандарт	Нові сертифікації	Всі нові реєстрації	Nox (г/км)	Маса часток (г/км)	Nox (г/км)	Маса часток (г/км)	Кількість дрібно-дисперсійних часток на км
Євро 1	1 червня 1992	31 грудня 1992	0,97 ⁽¹⁾	-	0,97 ⁽¹⁾	0,14	-
Євро 2	1 січня 1996	1 січня 1997	0,5 ⁽¹⁾	-	0,9 ⁽¹⁾	0,1	-
Євро 3	1 січня 2000	1 січня 2001	0,15	-	0,5	0,05	-
Євро 4	1 січня 2005	1 січня 2006	0,08	-	0,25	0,025	-
Євро 5	1 вересня 2009	1 січня 2011	0,06	0,0045 ⁽²⁾	0,18	0,0045	6 × 1011 ⁽³⁾
Євро 6	1 вересня 2014	1 вересня 2015	0,06	0,0045 ⁽²⁾	0,08	0,0045	6 × 1011 ^{(4) (5)}

(1) Виражено як HC+NOx

(2) Стосується бензинових двигунів прямого вприску

(3) Стосується тільки дизельних двигунів

(4) В межах 6 x 1011 у випадку бензинових двигунів прямого вприску

(5) Загальні межі 6 x 1011 для бензинових двигунів прямого вприску і дизельних двигунів починаючи з

вересня 2017/вересня 2018

Аналізуючи статистику купівлі транспортних засобів протягом 2000-2020 років, можна сказати, що починаючи з 2000-х завдяки розвитку ринку кредитування середній вік автомобілів в Україні зменшуватися, українці почали купувати нові автомобілі вітчизняного і іноземного виробництва, які на той момент здебільшого відповідали стандарту Євро-3. Проте фінансова криза 2008 року призупинила темпи оновлення автотранспорту і Україна стала притулком для вживаних автомобілів з Європи і не тільки. Такі показники були спричинені

закінченням дії пільгового закону щодо розмитнення автомобілів (діяв до 31.12.2018), а також початком дії з 26 листопада 2018 р нового закону, який дозволив легалізувати автомобілі з пробігом та європейською реєстрацією. У 2019 році реєстрації старих машин майже в 5 разів перевищили продажі нових. При цьому, більше половини вживаних авто були у віці понад 8 років, тобто такі, що почали експлуатуватися до того, як в Євросоюзі було введено екологічний стандарт Євро-5. Таким чином український парк автомобілів продовжує старішати. Аналізуючи динаміку збуту автомобілів в Україні за останні 30 років, можна сказати, що не більше третини легкових транспортних засобів відповідають стандарту Євро5 і це за найоптимістичнішою оцінкою. Попри стабільне зростання продажу електроавтомобілів в Україні їх частка на ринку є достатньо стабільною за рахунок росту імпорту вживаних авто і складає приблизно 3-3,5% продажів. При цьому більшість електромобілів теж йдуть з вторинного ринку, за 2019-й рік в Україні було зареєстровано 7542 одиниць автотранспортних засобів, які працюють виключно на електротязі. Серед них продовжують домінувати машини з пробігом, частка яких в 2019 році склала близько 93%. При цьому, середній вік “електричного секонд-хенду”, що реєструвався в 2019 році, був 4 роки. Більшість виробників гарантують експлуатацію акумулятора до 8 років і питання їх утилізації далеке від вирішення. Таким чином, приблизно половина електромобілів вже на межі використання акумулятора [11].

Наразі регуляторна політика України сфокусована на стимулюванні придбання автомобілів з нульовими викидами, проте частка таких автомобілів на ринку вживаних авто не перевищує 3,5%. Навіть при наполегливому просуванні електромобілів екологічні проблеми спричинені сектором транспорту в Україні не будуть подолані найближчим часом. Для покращення екологічної ситуації в Україні необхідно фокусуватися на зменшенні середнього віку автомобілів за рахунок оновлення існуючого парку автотранспорту, зменшенні темпів імпорту застарілих вживаних транспортних засобів, а також стимулюванні доступності для українців нових, більш екологічних, автомобілів власного та іноземного виробництва.

Водночас досвід європейських міст показує, що присутній значний потенціал для зменшення впливу транспорту. У Відні (1,9 млн осіб) 60% громадського транспорту — електричний, а викиди CO₂ від транспорту становлять 20-25 тисяч тонн/рік завдяки розвиненій системі трамваїв і метро. У Копенгагені 40% пересувань здійснюються велосипедами, що знижує викиди до 15-20 тисяч тонн/рік. У Тернополі частка еко транспорту (тролейбуси) — лише 10% викидів, а велосипеди використовуються менш як 2% мешканців через слабку інфраструктуру [12].

Шумове забруднення в Європі також контролюється ефективніше. У Мюнхені "зелені зони" та обмеження руху в центрі знизили шум до 50-55 дБ, тоді як у Тернополі він залишається на рівні 65-70 дБ. Ці приклади демонструють, що модернізація транспорту та інфраструктури може суттєво покращити екологічний стан.

2.1 Характеристика об'єкта

Тернопіль, як об'єкт дослідження, поєднує унікальні характеристики, що формують його екологічний стан і транспортну систему. Транспортна інфраструктура Тернополя є основою функціонування міста. Завдяки його компактності, основні транспортні потоки зосереджені в радіусі 5–7 км від центру, що полегшує організацію громадського транспорту, але створює перевантаження на головних транспортних вузлах міста.

У процесі дослідження впливу транспортної інфраструктури Тернополя на міське довкілля варто зазначити, що кожен вид транспорту має специфічний екологічний ефект, обумовлений його особливостями та умовами експлуатації.

Громадський транспорт складається з тролейбусів, автобусів і маршрутних таксі як ми й проговорили раніше.

Тролейбус - електричний автобус, який отримує потрібну енергію від зовнішнього джерела за допомогою контактної мережі, до якої він приєднується. В м. Тернополі даний транспорт обслуговується КП «Тернопільелектротранс». Тролейбуси є важливим елементом транспортної системи завдяки низькій вартості проїзду та стабільному графіку. Однак він поширений не у всіх мікрорайонах міста, оскільки не скрізь прокладені тролейбусні сполучення .

Станом на 2024 рік у місті функціонує 15 тролейбусів, які обслуговують основні маршрути, з'єднуючи центр із житловими мікрорайонами (Східний, Дружба, Сонячний). Тролейбуси є найбільш екологічним видом транспорту в місті, оскільки працюють на електроенергії та не продукують викидів під час руху. За даними Тернопільської міської ради, вони перевозять близько 20% пасажирів громадського транспорту, що становить приблизно 15-20 тисяч осіб щоденно. Проте їхня кількість і мережа маршрутів обмежені: тролейбусні лінії охоплюють лише 25-30% території міста, що змушує більшість мешканців користуватися іншими видами транспорту.

Автобуси та маршрутні таксі є основою громадського транспорту, перевозячи 60-70% пасажирів (50-60 тисяч осіб щоденно). Діють як муніципальні автобуси

(КП «Тернопільелектротранс», КП «Міськавтотранс»), так і маршрути, які обслуговують приватні перевізники (наприклад, ТзОВ «Менс-Авто», «Мега-Сервіс» тощо). Маршрути з'єднують центральну частину міста з віддаленими мікрорайонами та передмістями. У місті налічується понад 100 автобусів, більшість із яких працює на дизельному паливі стандарту Євро-4 або нижче. Середній вік автобусів становить 10-15 років, що суттєво знижує їхню екологічну ефективність. Проте, одними з безпечних є автобуси, що курсують Тернополем - «МАЗ - 206». Вони низькопідлогові, відповідають стандарту Євро-5. Однак в місті їх є не так багато, а тому їх позитивний вплив на стан атмосферного повітря доволі незначний. Маршрутні таксі, які часто є переобладнаними старими мікроавтобусами, додатково погіршують ситуацію через низьку енергоефективність і високі викиди [12].

Важливою частиною розвитку інфраструктури та сучасних технологій в даній галузі, є онлайн-системи, які дозволяють відстежувати рух громадського транспорту в реальному часі. Наприклад застосунок «Де транспорт Тернополя» (детальніше про застосунок представлено в Додаток Б, де наведено зображення його інтерфейсу). Також встановлення терміналів для придбання квитків і поповнення електронних карток, що підвищує зручність користування транспортом.

Залізничний транспорт

Тернопіль є важливим залізничним вузлом Західної України, але не здійснює значного впливу на навколишнє середовище.

Залізнична станція «Тернопіль» забезпечує сполучення з Києвом, Львовом, Одесою, Харковом та іншими великими містами України. Через місто проходять міжнародні маршрути до Польщі, Чехії, Словаччини тощо.

Річковий транспорт

На Тернопільському ставі (основна водойма міста) влітку курсує прогулянковий катер «Герой Танцоров». Цей вид транспорту використовується переважно в рекреаційних цілях.

Водночас, слід зауважити, що водний або морський транспорт є не меншим забруднювачем за автомобільний. В умовах експлуатації, забруднення докільля таким транспортом відбувається через суднові двигуни. У світі існують різні типи цих двигунів. Вони забруднюють не тільки гідросферу, але й атмосферу Землі. Енергетичні установки суден завдають шкоди відпрацьованими газами насамперед атмосфері [13].

Авіаційний транспорт

Аеропорти поблизу Тернополя дозволяють швидко дістатись до країн ЄС та Азії. За межами міста розташований аеропорт «Тернопіль» (TNL), який має злітно-посадкову смугу з штучним покриттям розміром 2000 м x 42 м й може обслуговувати повітряні судна з максимальною злітною масою до 61 тонн. Пропускна спроможність аеропорту – до 100 пасажирів на годину. В певний період аеропорт виконував чартерні, нерегулярні польоти з перевезення пасажирів, вантажів у майже всі країни світу [14]. Проте, на даний час в Тернополі немає діючого аеропорту. Найближчий авіавузол розташований у Львові (приблизно 130 км), та м. Київ (500 км) що ускладнює доступ до авіаперевезень для мешканців міста.

Приватні автомобілі домінують у транспортній системі Тернополя як за кількістю, так і за впливом на екологію. Майже кожна сім'я в регіоні володіє власним автомобілем. Один середньостатистичний автомобіль із двигуном внутрішнього згоряння продукує 0,15-0,2 кг CO₂ на 1 км пробігу, а в умовах міських заторів цей показник зростає через низьку швидкість руху.

Затори є серйозною проблемою в центральних районах міста, таких як проспект Степана Бандери, вулиця Руська та район залізничного вокзалу. У години пік (8:00-10:00, 17:00-19:00) середня швидкість руху падає до 10-15 км/год, що збільшує викиди на 20-30% через неефективну роботу двигунів на холостому ходу.

Велоінфраструктура в Тернополі розвинена недостатньо. На 2024 рік у місті є лише 5-7 км велодоріжок, що становить менш як 1% від загальної протяжності доріг. Більшість із них зосереджені в центральній частині (наприклад, уздовж набережної Тернопільського озера), але не формують єдиної мережі, що ускладнює використання велосипедів як повноцінного виду транспорту.

Аналізуючи вище вказані дані, можна ствердити, що транспортна інфраструктура міста є одночасно сильною стороною й проблемою. Компактність дозволяє покрити всі райони маршрутами, але застарілість автопарку, висока автомобілізація і відсутність велодоріжок генерують CO₂, NO_x і PM., а шум і затори погіршують якість життя тернополян. Проте екологічний стан Тернополя все ж залишається кращим, ніж у промислових містах України.

2.2 Технологічні розрахунки

Ця частина присвячена детальним розрахункам, які демонструють вплив обраних технологій на екологічний стан Тернополя. Розрахунки базуються на припущеннях через обмеженість точних даних про авто парк міста.

Електробуси обрано як ключову технологію через їхній потенціал повністю усунути прямі викиди CO₂ від громадського транспорту та знизити шумове навантаження [14]. Розглянемо заміну 50 дизельних автобусів, які зараз функціонують в Тернополі.

Приблизні вихідні дані для побудови приблизних розрахунків:

- Кількість дизельних автобусів: 50 одиниць.
- Середній пробіг одного автобуса: 200 км/день.
- Приблизна витрата палива: 30 л/100 км (типова для старих моделей, таких як Богдан А092 [15]).
- Коефіцієнт викидів CO₂: 2.68 кг/л (стандартний показник для дизельного палива за ЕЕА) [16].
- Енергоспоживання електробуса: 1.5 кВт-год/км (середнє для сучасних моделей) [17].
- Викиди CO₂ від електроенергії: 0.7 кг CO₂/кВт-год (середній показник для України з урахуванням вугільних ТЕС) [18].

Розрахунок поточних викидів:

- Денне споживання палива:

$$\frac{50 \times 200 \times 30}{100} = 10000 \times 0.3 = 3000 \text{ л/день}$$

- Денні викиди CO₂:

$$3000 \times 2.68 = 8040 \text{ CO}_2/\text{день}$$

- Річні викиди:

$$8040 \times 365 = 2934600 \text{ кг} = 2934.6 \text{ т CO}_2/\text{рік}$$

Ефект від впровадження електробусів:

- Прямі викиди CO₂ від електробусів: 0 т CO₂/рік, оскільки вони не використовують дизельне паливо.

Споживання-електроенергії:

$$50 \times 200 \times 1.5 = 15000 \text{ кВт} \text{ – год/день}$$

- Річне-споживання:

$$15000 \times 365 = 5475000 \text{ кВт} \text{ – год/рік}$$

- Викиди CO₂ від виробництва електроенергії:

$$5475000 \times 0.7 = 3832500 \text{ кг} = 3832.5 \text{ т CO}_2\text{/рік}$$

Чистий ефект:

- Без урахування викидів від електроенергії: зменшення на 2934.6 т CO₂/рік.
- З урахуванням викидів від електроенергії:

$$2934.6 - 3832.5 = -849.9 \text{ т CO}_2\text{/рік}$$

Це свідчить, що (де переважають вугільні ТЕС) заміна дизельних автобусів на електричні може навіть збільшити загальні викиди CO₂. Однак за умови переходу на відновлювані джерела енергії (наприклад, сонячні чи вітрові станції) чистий ефект буде позитивним:

- При коефіцієнті 0.1 кг CO₂/кВт-год (типово для "зеленої" енергії):

$$5475000 \times 0.1 = 547500 \text{ кг} = 547.5 \text{ т CO}_2\text{/рік}$$

$$2934.6 - 547.5 = 2387.1 \text{ т CO}_2\text{/рік}$$

$$2934.6 - 547.5 = 2387.1 \text{ т CO}_2\text{/рік} \text{ — реальне зменшення.}$$

Технологічні розрахунки показали, що впровадження електричних автобусів має потенціал суттєво вплинути на екологічний стан Тернополя. За оптимістичного сценарію (з використанням "зеленої" енергії) сумарне зменшення викидів CO₂ може сягнути 2934.6 тонн щорічно, що становить значний внесок у зниження транспортного забруднення. Однак у базовому

сценарії, з урахуванням поточного енергоміксу України, заміна дизельних автобусів на електричні може призвести до збільшення викидів через високу частку вугільної генерації електроенергії. Це підкреслює необхідність паралельного розвитку відновлюваних джерел енергії для максимізації екологічного ефекту.

Методика оцінки, розроблена в цьому розділі, враховує ключові показники — викиди CO₂ і енергоефективність — і базується на комбінації припущень та міжнародних стандартів. Вона є гнучкою і може бути адаптована до реальних даних, отриманих від місцевих органів влади чи екологічних організацій. У цілому, результати цього розділу можуть слугувати основою для подальшого планування екологічних ініціатив у Тернополі.

Теорія доводить, що поступовий перехід до сталого транспорту є реальним навіть за обмеженого бюджету.

2.3. Технологічні рішення

Транспортна система міста Тернопіль відіграє ключову роль у забезпеченні його функціонування, але водночас є одним із головних джерел екологічних проблем, таких як забруднення повітря, шумове навантаження та неефективне використання енергетичних ресурсів [19]. Попередній аналіз показав, що викиди вуглекислого газу (CO₂) від транспорту в місті можуть сягати кількох тисяч тонн щорічно. У той же час сучасні транспортні технології відкривають можливості для суттєвого зменшення цього негативного впливу, одночасно підвищуючи комфорт і доступність транспортних послуг для мешканців.

Цей підрозділ присвячений розробці практичних і технологічних рішень, які дозволять покращити екологічний стан Тернополя шляхом модернізації його транспортної інфраструктури.

Для зменшення екологічного навантаження доцільним є впровадження системи зонування транспортних потоків, що обмежує рух автотранспорту у центральній частині міста та сприяє переходу на альтернативні види мобільності

Перевагами зонування є економічна доступність (метод не потребує значних інвестицій (1–2 млн грн), а його реалізація можлива протягом 1–2 років без залучення зовнішнього фінансування), зменшення шкідливих викидів (у центрі міста рівень шуму може знизитися з 65–70 дБ до 55–60 дБ, а викиди CO₂ скоротяться на 3–5 тис. тонн/рік) та простота впровадження (достатньо встановлення розмітки та дорожніх знаків, без необхідності складної інфраструктури. Передбачені штрафи (50–100 тис. грн/рік) можуть частково компенсувати витрати) [20].

Окрім переваг, метод має й певні недоліки: **опір водіїв** (10–15% населення (приблизно 20–30 тис. осіб) можуть негативно реагувати на обмеження руху, що вимагає інформаційної кампанії та поступового введення змін), **локальний ефект** (метод не впливає на передмістя, такі як Східний та Сонячний масиви, де транспортне навантаження може зрости на 5–10% через перерозподіл потоків), **проблема застарілих авто** (зонування не вирішує питання екологічно неефективного транспорту (60% авто мають стандарт Євро-3), який продовжує забруднювати місто поза межами зон), **контроль** (без камер та штрафів (0,5–1 млн грн) ефективність зменшується через порушення правил), **культурний бар'єр** (70% пересувань у місті здійснюються на приватних авто, що ускладнює перехід на громадський транспорт та піші зони), **обмежений масштаб** (зонування однієї-двох територій не суттєво змінить загальну картину викидів).

Зонування транспортних потоків є одним із важливих кроків для зменшення екологічного навантаження в центральній частині міста. Однак для комплексного вирішення проблеми необхідно поєднати його з іншими заходами, що мають ширший вплив на транспортну систему Тернополя. Розглянемо три мої ключові технологічні пропозиції, які дозволять істотно покращити екологічний стан міста: впровадження електричних автобусів, розумних транспортних систем та розвиток велосипедної інфраструктури.

1. Замінити 50 дизельних автобусів, які наразі використовуються в громадському транспорті Тернополя, на електричну модель, як український Electron E19 [14]. Ця заміна передбачає поступовий перехід: спочатку пілотний проєкт із 10 автобусами, а згодом повне оновлення парку.

Наявність тролейбусної мережі (40 одиниць) свідчить про готовність міста до електротранспорту, що полегшує інтеграцію.

Перевагою впровадження електричних автобусів є покращення якості повітря та рівня шуму в густонаселених районах міста (Центр, Східний масив), скорочення витрат на паливо в довгостроковій перспективі.

Для реалізації цієї ініціативи потрібно закупити автобуси (орієнтовна сума 15-20 мільйонів євро для 50 одиниць), встановити 10-15 зарядних станцій та забезпечити стабільну подачу електроенергії з перспективою переходу на відновлювальні джерела енергії.

Розроблене технологічне рішення з впровадження електричних автобусів на заміну застарілим дизельним є реалістичними та перспективними для покращення екологічного стану Тернополя. Електробуси здатні усунути прямі викиди від громадського транспорту [21].

2. Встановити розумні світлофори, датчики руху та систему централізованого управління трафіком на 20 ключових перехрестях Тернополя, зокрема на вул. Руській, проспекті Степана Бандери та вул. Микулинецькій.

Перевагою впровадження розумних транспортних систем (ITS) є скорочення простою та зменшення заторів, що дозволить зменшити викиди вихлопних газів, зменшить аварійність на дорозі.

Для реалізації потрібно обладнати датчиками руху, камерами та розумними світлофорами головні вулиці міста (орієнтовна вартість 50–70 тис. дол. на перехрестя) та підготувати спеціалістів для обслуговування і моніторингу системи.

3. Побудувати 20 км велосипедних доріжок уздовж основних вулиць (вул. Листопадова, вул. Збаразька) і парків (парк Шевченка, Топільче), а також організувати 5–10 пунктів прокату велосипедів із загальним фондом 200 одиниць.

Перевагою розширення велосипедної інфраструктури є зменшення викидів і споживання палива від коротких поїздок та економічність проєкту.

Для реалізації потрібно прокласти 20 км велодоріжок (орієнтовно 100–200 тис. грн), закупити велосипеди та встановити станції прокату (загалом 150–200 тис. дол.).

Запропоновані рішення можуть стати основою для транспортної стратегії Тернополя, сприяючи його перетворенню на екологічно чисте та комфортне місто.

РОЗДІЛ 3 Організаційно-економічна частина

3.1. План впровадження

Транспортна інфраструктура Тернополя, як і багатьох середніх міст України, стикається з викликами. На сьогоднішній день найбільшим викликом є фінансування проєктів пов'язаних з впровадженням сучасних транспортних технологій.

Щоб не створювати велике навантаження на бюджет територіальної громади реалізовувати проєкти пропоную поетапно з урахуванням фінансових і технічних можливостей міста .

Зонування враховуючи особливості міста слід реалізовувати поступово, починаючи з:

- Вул. Валова – створення пішохідної зони (0,5 млн грн) для покращення просторового середовища.
- Вул. Руська – впровадження обмежень руху автотранспорту з встановленням камер (1 млн грн) для контролю та дотримання правил.
- Комунікаційна кампанія – пояснення мешканцям переваг зонування для зниження негативної реакції.

На зонування у роботі я вирішила не робити великий акцент, основою будуть 3 ключові впровадження:

1. Електричні автобуси

Короткостроковий етап (2025–2026): Пілотний проєкт, який включає в себе закупівлю 5-10 електробусів та тестування технології, оцінку її ефективності на одному маршруті.

Середньостроковий етап (2027–2028): Розширення парку, який включає в себе повну заміна дизельних автобусів і розширення мережі маршрутів.

Довгостроковий етап (2029–2030): Оптимізація та зелена енергія, що являє собою максимізацію екологічного ефекту через перехід на відновлювані джерела. Встановлення сонячних панелей на депо для часткового забезпечення зарядок. Інтеграція автобусів із системою ITS для пріоритетного пропуску.

2. Розумні транспортні системи (ITS)

Короткостроковий етап (2025): Пілотний проєкт, який включає в себе оптимізацію трафіку в центрі міста. Встановлення розумних світлофорів і датчиків на ключових перехрестях міста. Налаштування програмного забезпечення. Створення диспетчерського пункту.

Середньостроковий етап (2026–2027): Розширення мережі покриття основних транспортних вузлів. Розширення встановлення світлофорів і датчиків. Розширення диспетчерського пункту.

Довгостроковий етап (2028–2030): Інтеграція - повна синхронізація з громадським транспортом. Підключення ITS до системи управління електробусами та тролейбусами. Впровадження мобільного додатку для водіїв із даними про трафік.

3. Велосипедна інфраструктура

Короткостроковий етап (2025): Пілотний проєкт, який включає в себе тестування нових маршрутів велоруку в центрі. Будівництво велодоріжок: Центр – парк Шевченка. Встановлення пунктів прокату велосипедів і паркомісць.

Середньостроковий етап (2026–2028): Розширення мережі вело доріжок, що буде включати з'єднання з мікрорайонами. Побудова-розширення додаткових велодоріжок: Центр – Дружба, Центр – Східний . Збільшення пунктів прокату велосипедів, паркомісць.

Довгостроковий етап (2029–2030): Інтеграція та промоція, що обумовлює створення єдиної системи з громадським транспортом. Велопарковки біля зупинок. Кампанія в школах і університетах.

Кожен етап включає конкретні цілі, дії та очікувані результати, адаптовані до місцевих умов [20].

Практична реалізація окреслює конкретні дії, відповідальних осіб, строки та механізми співпраці для впровадження запропонованих технологій у Тернополі. Практична реалізація базується на попередньо визначених етапах і ресурсах, з акцентом на координацію між місцевою владою, приватним сектором і зовнішніми партнерами.

Конкретні дії 2025р. включають в себе проведення тендерів на закупівлю електробусів, укладання контракту наприклад з Electron, доставка й монтаж . 2026р. запуск пілотного маршруту, аналіз результатів. 2027–2028р. тендер на дозакупівлю, оновлення усього автопарку на електробуси і зарядки, поступове введення маршрутів. Розумні транспортні системи (ITS) 2025р. укладання угоди з вибраною компанією, монтаж світлофорів і датчиків, тестування. 2026–2027р. розширення, підключення диспетчерського пункту. Велосипедна інфраструктура 2025р. проектування велодоріжок, будівництво, встановлення пунктів прокату. 2026–2028р. розширення, монтаж станцій і парковок.

3.2. Економічна оцінка

Економічна оцінка є ключовим етапом у визначенні доцільності впровадження сучасних транспортних технологій у місті Тернопіль. Попередні розділи дипломної роботи визначили конкретні заходи та розробили поетапний план їхньої реалізації протягом 2025–2030 років. У цьому розділі будуть проведені розрахунки витрат на впровадження, оцінка економічної вигоди.

Я хотіла б деталізувати витрати на впровадження транспортної технології електричних автобусів , як основний приклад зміни якості транспорту в Тернополі. Розрахунки включають капітальні витрати (закупівля обладнання, інфраструктура) та операційні витрати (обслуговування, електроенергія) на основі ринкових цін 2025 року й попереднього плану реалізації. Усі суми подано в доларах США для уніфікації.

Капітальні витрати (приблизні цифри):

- Закупівля 50 автобусів: Electron E19, 350000 дол.одиниця.

$$50 \times 350000 = 17500000 \text{ дол.}$$

- Зарядні станції: 10 станцій по 150 кВт (ABB Terra 154, 50000 дол./одиниця).

$$10 \times 50000 = 500000 \text{ дол.}$$

- Модернізація депо: Розширення електромережі до 2 МВт і сонячні панелі (200 кВт, 1000 дол./кВт).

$$100000 + (200 \times 1000) = 300000 \text{ дол.}$$

- Сума:

$$17500000 + 500000 + 300000 = 18300000 \text{ дол.} = 18.3 \text{ млн. дол.}$$

Операційні витрати (щорічні):

- Електроенергія: 50 автобусів, пробіг 200 км/день, споживання 1.5 кВт-год/км, тариф 0.1 дол./кВт-год.

$$\text{Денне споживання: } 50 \times 200 \times 1.5 = 15000 \text{ кВт} - \text{ год/день.}$$

$$\text{Річне: } 15000 \times 0.1 = 547500 \text{ дол./рік}$$

- Обслуговування: 5% від вартості автобусів (стандартна оцінка).

$$17500000 \times 0.05 = 875000 \text{ дол./рік}$$

- Персонал: 60 водіїв і 7 техспеціалістів, середня зарплата 500 дол./міс.

$$67 \times 500 \times 12 = 402000 \text{ дол./рік}$$

- Сума:

$$547500 + 875000 + 402000 = 1824500 \text{ дол./рік} = 1.82 \text{ млн. дол./рік}$$

Порівняння з дизелем: 50 дизельних автобусів (30 л/100 км, 200 км/день, 1 дол./л).

Річне споживання:

$$50 \times 200 \times 0.3 \times 365 \times 1 = 1095000 \text{ дол./рік}$$

Обслуговування: ≈ 875000 дол./рік. Разом: ≈ 1.97 млн дол./рік.

Оцінимо економічну ефективність впровадження електричних автобусів в Тернополі через аналіз окупності, економії ресурсів і додаткових вигод. Розрахунки базуються на витратах із попереднього підрозділу, порівнянні з поточними затратами та припущеннях про довгострокові ефекти.

Економія палива:

- Дизельні автобуси: 50 одиниць, 200 км/день, 30 л/100 км, 1 дол./л. Річні витрати: $50 \times 200 \times 0.3 \times 365 \times 1 = 1095000$ дол./рік
- Електробуси: Електроенергія — 547500 дол./рік (розраховано вище).
- Чиста економія: $1095000 - 547500 = 547500$ дол./рік

Окупність:

- Капітальні витрати: 18.3 млн дол.
- Операційні витрати (електробуси): 1.82 млн дол./рік.
- Операційні витрати (дизель): 1.97 млн дол./рік (1.095 млн паливо + 0.875 млн обслуговування).
- Річна економія:

$$1970000 - 1824500 = 145500 \text{ дол./рік (з урахуванням усіх витрат)}$$

- Період окупності:

$$18300000 \div 145500 = 125.8 \text{ років}$$

- З "зеленою" енергією (0.05 дол./кВт-год): Електроенергія — 273750 дол./рік, економія — 419250 дол./рік, окупність —

$$18300000 \div 419250 = 43.6 \text{ років}$$

Економічна оцінка показала, що впровадження електричних автобусів у Тернополі потребує 18.3 млн дол. капітальних витрат і 1.93 млн дол./рік операційних витрат. Електробуси забезпечують економію палива (547500 дол./рік), але їхня окупність (43.6 років без грантів) залежить від "зеленої" енергії.

Загальна окупність проєкту без грантів (31.9–58 років) робить його складним для самостійного фінансування містом, але з грантами (50%) термін скорочується до 10–15 років із урахуванням непрямих вигод (500000–700000 дол./рік). Економічне обґрунтування підтверджує доцільність інвестицій за умови:

- Залучення 9–10 млн дол. від ЄС і ЄБРР.
- Переходу на відновлювані джерела енергії до 2030 року.

Цей проєкт може стати економічно вигідним і слугувати моделлю для інших середніх міст України [22].

3.3. Оцінка впливу

Впровадження сучасних транспортних технологій у місті Тернопіль мають суттєвий екологічний вплив. Впровадження електричних автобусів є основою розрахунків для прикладу, як покращити життя в Тернополі, зосереджуючись на зменшенні викидів CO₂, інших забруднювачів (NO_x, PM), шумового забруднення та енергоспоживанні. Оцінка базується на попередніх розрахунках і припущеннях про транспортну активність міста [23].

Зменшення викидів CO₂:

- Поточний стан: 50 дизельних автобусів (200 км/день, 30 л/100 км, 2.68 кг CO₂/л). Річні викиди:

$$50 \times 200 \times 0.3 \times 365 \times 2.68 = 2934600 \text{ кг} = 2934.6 \text{ т/рік}$$

- Електробуси: Прямі викиди — 0 т/рік. З урахуванням енергоміксу України (0.7 кг CO₂/кВт-год), споживання 15,000 кВт-год/день:

$$15000 \times 365 \times 0.7 = 3832500 \text{ кг} = 3832.5 \text{ т/рік}$$

Чистий ефект: $2934.6 - 3832.5 = -897.9$ т/рік (зростання викидів).

- "Зелена" енергія (0.1 кг CO₂/кВт-год):

$$15000 \times 365 \times 0.1 = 547500 \text{ кг} = 547.5 \text{ т/рік}$$

Чистий ефект: $2934.6 - 547.5 = 2387.1$ т/рік (зменшення).

Оцінимо соціальний і економічний вплив впровадження електричних автобусів, в Тернополі. Аналіз охопить ефекти на здоров'я населення, транспортну доступність, економію ресурсів для міста з населенням ~225 тис. осіб.

Соціальний вплив:

- Здоров'я: Зменшення NO_x (73 т/рік) і РМ (1.825 т/рік) знижує ризик респіраторних захворювань.
- Комфорт: Шум знижується на 10–15 дБ (з 75–80 до 60–65 дБ), покращуючи якість життя в центрі і мікрорайонах, де проживає ~50% населення.
- Доступність: Оновлення 70% автобусних маршрутів підвищує регулярність і комфорт для пасажирів.

Економічний вплив:

- Економія палива: 547,500 дол./рік (порівняно з дизелем). З "зеленою" енергією — 821,250 дол./рік (0.05 дол./кВт-год).

Впровадження електричних автобусів, в Тернополі створює багатогранний вплив, який поєднує екологічні, соціальні та економічні ефекти. Екологічно базовий сценарій показує зростання викидів CO₂ на 96.7 т/рік через електробуси (-897.9 т). У "зеленому" сценарії (0.1 кг CO₂/кВт-год) загальне скорочення викидів досягає 3188.3 т/рік.

Соціально проєкт покращує здоров'я, підвищує доступність і комфорт для 5000 водіїв і 50000 пасажирів щодня. Економічно пряма економія палива становить 841,300 дол./рік (базовий сценарій) і до 1,158,850 дол./рік (довгостроковий "зелений").

Однозначно електробуси усувають прямі викиди, які є основою джерела забруднення в середовищі транспортної інфраструктури міста. Найбільший екологічний ефект залежить від "зеленої" енергії [22; 23].

Оцінка впливу підтверджує, що впровадження запропонованої технології у Тернополі матиме значний позитивний ефект за умови правильної реалізації. Цей проєкт може перетворити Тернопіль на екологічно чисте й комфортне місто, ставши прикладом для інших регіонів України.

Висновки

Під час виконання цієї кваліфікаційної роботи я здійснила оцінку екологічного стану Тернополя, проаналізувала вплив транспортних засобів на екологічну ситуацію в місті та виявила головні джерела забруднення. Після чого важливо було визначити можливості сучасних транспортних технологій для покращення екологічного стану та подумати над практичною реалізацією, що я й зробила.

У статті 50 Конституції України зазначено, що кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього

права шкоди. Це одне з головних прав людини, яке породжує обов'язок держави здійснювати заходи щодо покращення та оздоровлення навколишнього природного середовища [24].

Основним забрудненням у м. Тернопіль є транспорт, оскільки промислових підприємств-гігантів уже давно немає. Виконано аналіз трьох основних параметрів: викидів парникових газів (зокрема CO₂), шумового забруднення та споживання палива. Ці показники обрано через їхню пряму залежність від транспортної активності та значний вплив на якість життя тернополян.

1. Викиди CO₂: Вуглекислий газ є основним парниковим газом, що утворюється внаслідок спалювання викопного палива (бензину, дизелю) автомобілями та автобусами. У містах транспорт може відповідати за 70–80% загальних викидів CO₂, що робить цей показник ключовим для оцінки.
2. Шумове забруднення: Інтенсивний рух транспорту, особливо в центральних частинах міста, створює шум, який перевищує санітарні норми (55 дБ вдень і 45 дБ вночі за стандартами ВООЗ). Це впливає на здоров'я населення, викликаючи стреси, порушення сну та інші проблеми.
3. Споживання палива: Цей показник відображає енергоефективність транспортної системи та дозволяє оцінити потенціал економії ресурсів при переході на альтернативні технології, такі як електротранспорт чи оптимізація руху. Він також є базою для розрахунку викидів, оскільки напряду пов'язаний із обсягом спаленого палива.

В одночас також є певні обмеження, пов'язані з відсутністю детальної місцевої статистики та варіативністю умов експлуатації транспорту. Наприклад, у зимовий період витрата палива може зростати через використання обігрівачів у салонах автобусів, а влітку — через кондиціонери. Окрім того, шумове забруднення залежить від типу дорожнього покриття та щільності забудови, що потребує додаткових вимірювань [25; 26].

На основі отриманих даних було визначено 3 основні рішення, серед яких:

- **Перехід на електротранспорт**, що дозволяє скоротити викиди CO₂ до 387 тонн на рік;
- **Розвиток велосипедної інфраструктури**, що сприяє зменшенню транспортного навантаження та покращенню мобільності мешканців;
- **Впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS)** для оптимізації руху, зниження заторів та шумового забруднення.

Оскільки в Україні немає можливості запровадити все одразу - пропоную зробити це поетапно, до кожної з пропозиції є три етапи впровадження (короткостроковий, середньостроковий та довгостроковий).

- **Короткострокові заходи (2025-2026)** – тестування нових рішень.

- **Середньострокові кроки (2027-2028)** – інтеграція екологічних технологій у транспортну мережу.

- **Довгострокова перспектива (2029-2030)** – синхронізація транспортної стратегії міста із міжнародними екологічними вимогами. Довгострокова перспектива включає інтеграцію Тернополя в загальноєвропейські екологічні ініціативи. Місто має можливість долучитися до програм сталого транспорту, залучаючи грантове фінансування ЄС. Впровадження екологічної мобільності відповідає світовим трендам, що відкриває можливості співпраці з міжнародними партнерами.

Для досягнення сталого розвитку потрібна міська стратегія мобільності, яка охоплюватиме перехід на електротранспорт, розширення велоінфраструктури та розвиток ITS. Місцева влада та громада повинні координувати зусилля, забезпечуючи ефективне впровадження заходів та фінансування проєктів.

Таким чином запропоновані заходи не лише вирішують екологічні проблеми сьогодення, а й формують довгострокову транспортну стратегію, яка сприятиме сталому розвитку міста. Впровадження електротранспорту, розширення

велосипедної інфраструктури та інтелектуальних транспортних систем може перетворити Тернопіль на модель екологічної мобільності для інших міст України.

Економічний аналіз додатково підтвердив доцільність поетапного переходу до екологічного транспорту, а розрахунки показали, що інтеграція електробусів із зеленою енергетикою значно підвищує ефективність екологічної політики.

Запропоновані заходи є реалістичними, економічно виправданими та перспективними, вони дозволять Тернополю:

✓ Стати екологічно чистим містом, де міська мобільність мінімізує шкідливий вплив на довкілля.

✓ Синхронізувати транспортну політику з міжнародними екологічними стандартами.

✓ Забезпечити високу якість життя мешканців, знижуючи рівень забруднення та шумового навантаження.