

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Розробка заходів для зменшення шумового забруднення при проектуванні автомагістралі

за освітньою програмою: Автомобільні дороги
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

Виконав:

студент групи: ДА 2321

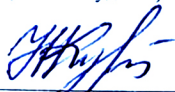


(підпис студента)

Владислав ХМЕЛЕВСЬКИЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:




(підпис)

Професор Микола КУРГАН

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:



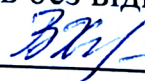
(підпис)

Доцент Сергій БАЙДАК

(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



(підпис)

Дніпро – 2024 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Building, architecture and infrastructure

(faculty)

Transport infrastructure

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

magistr

(higher education degree)

on the topic: Development of measures to reduce noise pollution during highway design to increase throughput

according to educational curriculum: 192 Construction and civil engineering

in the Speciality: Motor roads

Done by the student of the group: ДА2321

/ Vladyslav KHMELEVSKYI /

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ Full Professor Mykola KURHAN /

(position, name, surname)

Normative controller:

/ Associate Professor Sergiy BAIDAK /

(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: *Будівництво, архітектура та інфраструктура*

Кафедра: *Транспортна інфраструктура*

Рівень вищої освіти: *Магістр*

Освітня програма: *Автомобільні дороги*

Спеціальність: *Будівництво та цивільна інженерія*

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Олексій ПЮТЬКІН

(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу _____ магістр
(ступінь вищої освіти)

студенту Хмелевському Владиславу Сергійовичу

Тема роботи: Розробка заходів для зменшення шумового забруднення при проектуванні автомагістралі

Керівник роботи: Курган Микола Борисович, професор, доктор технічних наук

Затверджена наказом від 16.02.2024 №157 ст.

2. Строк подання студентом роботи – 15 січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

Район проектування – Рівненська область	Розрахункова швидкість, км/год – 100-130
Початковий пункт – км 360+305	Інтенсивність руху дорожніх транспортних засобів – 20-40 тис. авт/добу
Кінцевий пункт – км 370+110	Категорія дороги – I
Довжина ділянки дороги, км – 9,8	Кількість смуг руху – 4
Керівний похил, ‰ – 30	Конструкція дорожнього одягу – асфальтобетон

4. Зміст пояснювальної записки:

1 Аналітична частина

1.1 Аналіз стану питання щодо реконструкції автомобільних доріг в Рівненській області. Мета роботи.

1.2 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою

1.3 Норми проектування плану і поздовжнього профілю при реконструкції автомобільної дороги.

2 Основна частина

2.1 Технічна характеристика об'єкту

2.2 Методика розрахунку рівня дорожнього шуму

2.3 Дослідження впливу різних факторів на рівень шумового забруднення: інтенсивність транспортного потоку, швидкість руху тощо

3 Економічна частина			
3.1 Розробка варіантів захисту від шумового забруднення			
3.2 Обґрунтування рекомендованого варіанту			
4 Охорона праці та захист навколишнього середовища			
4.1 Охорона праці під час виконання робіт з монтажу захисних екранів			
4.2 Заходи щодо зменшення впливу шуму на етапі реконструкції автомобільної дороги			
5. Перелік графічного матеріалу: Конструкції дорожнього одягу, що прийняті для техніко-економічного порівняння. Презентація на 12-15 слайдах			
6. Консультанти розділів роботи:			
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав:	Завдання прийняв:
		(підпис, дата)	(підпис, дата)
1	Курган М. Б., професор		
2	Курган М. Б., професор		
3	Курган М. Б., професор		
4	Курган М. Б., професор		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відсотки
1	Аналіз стану питання щодо реконструкції автомобільних доріг в Рівенській області. Мета роботи.	04.10.2024	10
2	Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою. Вимоги і норми проектування плану й профілю при реконструкції автомобільної дороги	18.10.2024	10
3	Технічна характеристика об'єкту. Методика розрахунку рівня дорожнього шуму	01.11.2024	15
4	Дослідження впливу різних факторів на рівень шумового забруднення (інтенсивність транспортного потоку, швидкість руху тощо)	22.11.2024	25
5	Розробка варіантів захисту від шумового забруднення. Обґрунтування рекомендованого варіанту	13.12.2024	20
6	Заходи з охорони праці та пропозиції щодо зменшення впливу шуму на етапі будівництва й експлуатації автодороги	27.12.2024	10
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2025	10
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	За розкладом ЕК	100

Студент

Владислав ХМЕЛЕВСЬКИЙ

(підпис)

Керівник роботи

Микола КУРГАН

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

52 с., 12 рис., 10 табл., 15 джерел.

Найменування роботи: Розробка заходів щодо зменшення акустичного забруднення при проектуванні автодороги

Об'єкт досліджень – ділянка автодороги з комплексом шумозахисних конструкцій.

Предмет досліджень – акустичні показники ділянки автодороги за різного складу автомобілів та різних розмірів акустичних екранів.

Мета роботи – метою роботи є розробка заходів щодо зменшення акустичного забруднення при проектуванні автодороги. За результатами дослідження обрати найбільш ефективний або зручний спосіб захисту від шуму на обраній ділянці.

Методи дослідження. У даній роботі розглядається вплив складу автомобілів на рівень шуму та заходи захисту від нього. Для цього проведено аналіз складу руху та розрахунок необхідної висоти акустичних екранів на даній ділянці. Було розглянуто два способи захисту від шуму, висадження зелених насаджень та встановлення шумозахисних конструкцій. Проведено розрахунок рівня шуму від автомобілів за їх різного складу. Розроблено проект шумозахисного екрану з розрахунком його ефективності зниження шуму.

Ключові слова: ШУМ, ШУМОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ, АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, РОЗРАХУНОК ШУМУ, МОДЕЛЬ ШУМУ, ШУМОЗАХИСНІ ЕКРАНИ, АКУСТИЧНІ ЕКРАНИ, ЗАСОБИ ЗАХИСТУ ВІД ШУМУ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Аналіз стану питання щодо реконструкції автомобільних доріг в Рівненській області. Мета роботи	8
1.2 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою	9
1.3 Норми проектування плану і поздовжнього профілю при реконструкції автомобільної дороги.	13
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	17
2.1 Технічна характеристика об'єкту.....	17
2.2 Аналіз методик розрахунку рівня дорожнього шуму	19
2.3 Методика розрахунку дорожнього шуму від транспортних засобів.....	23
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	31
3.1 Розробка варіантів захисту від шумового забруднення	31
3.2 Обґрунтування рекомендованого варіанту. Захист за допомогою шумозахисних споруд	38
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	45
4.1 Охорона праці під час виконання робіт з монтажу захисних екранів	45
4.2 Заходи щодо зменшення впливу шуму на етапі реконструкції автомобільної дороги.....	47
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	50
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	51

ВСТУП

Акустична екологія сьогодні є одним із ключових напрямів досліджень, зосереджених на аналізі впливу негативних чинників на організм людини. Серед цих чинників найбільш серйозну загрозу створює транспортний рух, який є основним джерелом надмірного шумового впливу.

Значний внесок у цей вплив здійснює рух транспортних засобів міжнародними автомобільними дорогами, такими як ділянка км 360–370 траси М-06 Київ – Чоп у Рівненській області. Ця дорога є важливою складовою транспортної інфраструктури, що сприяє пасажирським і вантажним перевезенням, стимулюючи економічний розвиток на національному та міжнародному рівнях. Однак зростання інтенсивності транспортного руху, яке спостерігається протягом останніх років, посилює негативний вплив на довкілля, зокрема в аспекті акустичного забруднення. Шумове випромінювання на прилеглих до доріг територіях стає серйозною проблемою.

Шум є одним із основних чинників, що негативно впливають на жителів великих міст. Його постійний вплив підвищує рівень нервового напруження, знижує продуктивність праці, якість відпочинку та загальне самопочуття. За статистикою, близько 20% населення Європейського економічного союзу (приблизно 80 млн осіб) піддаються впливу шуму понад 65 дБА, що є неприпустимим. Ще 7 млн людей живуть у «сірих зонах», де рівень шуму коливається між 55 та 65 дБА, створюючи значний дискомфорт протягом доби. Вирішення проблеми зниження шуму до прийнятних рівнів є екологічним, соціальним та економічним викликом для сучасних міст.

Досягнення цієї мети потребує доступу до детальної інформації про шумові режими на конкретних територіях. Дослідження транспортних потоків, зокрема автомобільного транспорту, є актуальними, оскільки вони дозволяють оцінювати та запобігати проблемам заторів на дорогах, що безпосередньо впливає на формування шумових полів як уздовж доріг, так і в житлових зонах.

Закон України № 1745-IV від 3 червня 2004 року «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо захисту населення від впливу шуму»

регулює вивчення, моніторинг та захист людей від надмірного шуму. Методи математичного моделювання та прогнозування шумових полів від транспортних потоків стають важливим інструментом для проєктувальників і будівельників, допомагаючи дотримуватися норм акустичної екології під час будівництва нових магістралей.

На сьогодні в Україні діє нормативний документ [1], який визначає порядок розрахунку рівнів шуму від різних джерел у заданих точках.

Зростання інтенсивності руху, особливо під час «годин пік», значно загострює проблему шумового впливу. Постійний шум негативно впливає на мешканців прилеглих до доріг населених пунктів, спричиняючи підвищення нервового напруження, зниження працездатності та якості відпочинку, що, своєю чергою, погіршує їхнє здоров'я.

Ця проблема залишається актуальною і для нових транспортних коридорів. Наразі близько 40% протяжності магістральних автомобільних доріг в Україні перебуває в зоні впливу населених пунктів, як міських, так і сільських.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз стану питання щодо реконструкції автомобільних доріг в Рівненській області. Мета роботи.

Ділянка км 360 – км 370 автомобільної дороги М-06 Київ – Чоп у Рівненській області входить до проєкту реконструкції, яка є частиною масштабної програми «Велике будівництво». Проєкт охоплює повне оновлення траси М-06 у межах Рівненської області, зокрема реконструкцію покриття дороги із заміною на сучасний щебенево-мастиковий асфальтобетон. Метою реконструкції є підвищення пропускної здатності, покращення безпеки руху та зменшення екологічного впливу дороги.

Розрахунки інтенсивності руху на ключових транспортних коридорах, включаючи дороги міжнародного значення, демонструють тенденцію до збільшення кількості транспортних засобів через зростання транзитних перевезень, інтенсифікацію міжнародної торгівлі та урбанізацію. Основними факторами цього є: збільшення виробництва та споживання, яке стимулює зростання вантажопотоків, підвищення обсягів перевезень між країнами через зміцнення економічних зв'язків, підвищення рівня життя населення сприяє зростанню кількості особистих транспортних засобів, покращення інфраструктури дозволяє залучати більше користувачів.

Наприклад, для дороги М-06 Київ – Чоп передбачається значне зростання інтенсивності руху, що може становити понад 20-25 тис. транспортних засобів на добу на окремих ділянках до 2030 року. Для прогнозу використовуються сучасні методи моделювання, враховуючи існуючі дані про рух, перспективи розвитку регіону та демографічні фактори.

Тенденції вимагають подальших заходів, таких як:

- розширення доріг та додаткові смуги;
- оптимізація розв'язок та пунктів пропуску;
- екологічні заходи для зменшення впливу транспорту на довкілля.

Для зменшення шумового забруднення під час проєктування автомагістралі в Рівненській області застосовували різні заходи, такі як

встановлення шумозахисних екранів та використання природних бар'єрів. Шумозахисні екрани зазвичай виготовляють із матеріалів, що ефективно поглинають або відбивають шум, таких як дерево, метал, пластик або спеціальні композитні панелі. Додатково, у деяких місцях можуть висаджувати зелені насадження, які, окрім шумозахисту, сприяють поліпшенню естетичного вигляду дороги та абсорбуванню викидів.

Верховною Радою України 17.10.2019 р. прийнято Закон України № 200-ІХ «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо управління безпекою автомобільних доріг», який набрав чинності 16.05.2020 р. Закон передбачає імплементацію процедур Аудиту та Перевірки безпеки автомобільних доріг в законодавство України та життєвий цикл проектів будівництва автомобільних доріг. Відповідно до зазначеного закону, аудит безпеки автомобільних доріг – незалежне, системне, технічне та детальне оцінювання впливу проектних рішень на безпеку автомобільних доріг, для проведення якого залучаються аудитори безпеки автомобільних.

Результати аудиту безпеки автомобільної дороги оформлюються у формі звіту, в якому зазначаються виявлені недоліки та потенційні ризики для безпеки автомобільної дороги або її ділянки та надаються рекомендації щодо їх запобігання або зменшення тяжкості їх наслідків. Звіт аудиту безпеки автомобільної дороги долучається до проектної документації щодо об'єкта аудиту, що подається для проведення експертизи проекту, та паспорта автомобільної дороги.

Розроблення проектної документації на капітальний ремонт автомобільної дороги загального користування державного значення М-06 Київ – Чоп (на м. Будапешт через мм. Львів, Мукачево і Ужгород) на ділянці км 360+305 - км 370+110, Рівненська область передбачено в термін до 31 грудня 2024. Очікувана вартість 7,635 млн грн.

1.2 Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою

На автотрасі М-06 Київ – Чоп передбачається значне зростання інтенсивності руху, що може становити понад 20-25 тис. транспортних засобів

на добу на окремих ділянках до 2030 року. Для прогнозу використовуються сучасні методи моделювання, враховуючи існуючі дані про рух, перспективи розвитку регіону та демографічні фактори. Подібні розрахунки базуються на програмних продуктах, таких як PTV VISSIM чи Aimsun, що дозволяють моделювати транспортні потоки.

Програмний продукт PTV VISSIM розроблений німецькою компанією PTV Group, яка спеціалізується на рішеннях для моделювання транспортних потоків та логістики. Широко використовується у країнах Європейського Союзу, таких як Німеччина, Франція, Велика Британія, Італія. Застосовується також у США, Канаді, Австралії, Китаї, Індії та багатьох інших країнах.

Aimsun створений компанією Aimsun SLU, яка базується в Іспанії. У 2020 році компанія стала частиною групи Siemens Mobility. Основні ринки включають країни ЄС (Іспанія, Німеччина, Франція, Італія), а також США, Австралію, Бразилію, Саудівську Аравію та Китай. Aimsun є одним із провідних інструментів для аналізу транспортних систем у мегаполісах.

Обидві програми є популярними серед інженерів і містобудівників завдяки їх здатності імітувати складні транспортні системи з високою точністю, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо транспортної інфраструктури.

Одним із видів екологічного забруднення, що досліджується в рамках цієї роботи, є параметричне, що полягає в акустичному випромінюванні на приміагістральну територію. Питанням впливу автомобільних доріг на навколишнє середовище присвячені роботи В.М. Луканіна, Ю.Ф. Гутаревича, Є. Б. Угненко, П. І. Поспелова, А. О. Білятинського, В. В. Малишевої, а також інших вітчизняних та зарубіжних вчених, наприклад [2].

Актуальність роботи пов'язана з необхідністю зниження шкідливого впливу автомобільних доріг на приміагістральну територію задля зниження акустичного навантаження на зону житлової забудови, захисту здоров'я її мешканців та підвищення рівня життя в цілому.

Метою роботи є розробка заходів щодо зменшення акустичного

забруднення при проектуванні автодороги. За результатами дослідження обрати найбільш ефективний або зручний спосіб захисту від шуму на обраній ділянці. Предмет дослідження – екологічні показники навколишнього природного середовища

Завдання роботи передбачає виконання розрахунків шумової характеристики транспортного потоку та еквівалентного рівня шуму в розрахункових точках для існуючих експлуатаційних умов та на 20-річну перспективу. Обґрунтування параметрів інженерних конструкцій передбачає встановлення шумозахисних екранів для захисту сельбищних територій від параметричного забруднення.

На сьогодні інженерні моделі, що використовуються на практиці, можуть визначати еквівалентні рівні шуму від транспортних потоків на прямих дорогах на основі емпіричних залежності рівня шуму від швидкості руху [3] та відсотку важких транспортних засобів в потоці, а також розраховувати спектральні залежності потужності транспортних засобів від швидкості та інтенсивності потоку, що дає точніші результати та враховувати додаткові фактори впливу. Оцінювання залежності руху автомобілів в потоці на основі макроскопічного підходу дозволило отримати моделі залежності швидкість-щільність-потік, серед яких добре відомі моделі Гріншілда, Грінберга, Андервуда та Едді [4]. Проте результати такого моделювання використовувалися для розрахунку лише для статистичних даних руху автомобільного транспорту в сучасних містах. Класичні моделі часто орієнтовані на один тип забруднення (наприклад, лише викиди в атмосферу).

Відставання в методах проектування шумозахисних екранів, обґрунтування їх геометричних розмірів і акустичних характеристик при проектуванні автомобільних доріг вимагають ретельного наукового дослідження та подальшого вирішення. Безсумнівним науковим досягненням є удосконалення математичної моделі з визначення інгредієнтно-параметричного забруднення навколишнього середовища [5]. Запропоновані автором наукові положення з удосконалення методу визначення інгредієнтно-параметричного

забруднення автомобільних доріг та впровадження удосконаленої конструкції захисних екранів дозволяють знизити рівні забруднення примагістральних територій і підвищити якість життя людей, чиї житлові будинки розташовані поблизу автомобільних доріг.

Математична модель для визначення інгредієнтно-параметричного забруднення навколишнього середовища є інструментом для аналізу та прогнозування впливу різних забруднювачів (інгредієнтів) і факторів навколишнього середовища на якість екосистем. Вона може забезпечувати кілька переваг порівняно з відомими моделями залежно від її специфікації. У такій моделі можна враховувати взаємодію між різними типами забруднювачів (наприклад, хімічних речовин, твердих частинок тощо) та вплив їх комбінацій на довкілля. Модель дозволяє враховувати параметри середовища (температура, вологість, швидкість вітру тощо), які впливають на поширення, трансформацію та осідання забруднень. Завдяки складним рівнянням або алгоритмам, модель забезпечує прогноз майбутніх рівнів забруднення, враховуючи змінні фактори. У сучасних підходах інгредієнтно-параметричні моделі можуть інтегрувати дані зі спостережень, датчиків, супутників та інших джерел для уточнення прогнозів.

В роботі [5] також запропонована конструкція захисної споруди – Y-подібний захисний екран, який є не тільки перешкодою для звукових хвиль, але і фізичною перешкодою для поширення забруднюючих компонентів, які містяться у викидах відпрацьованого палива, що несприятливо впливають на прилеглу зону і можуть підвищити рівень захворюваності жителів. Слід відмітити, що Y-подібний екран знижує рівень шуму більш ніж на 4 дБА у порівнянні з екраном-стілкою.

Проте навіть в приведених підходах не представлена комплексна модель, що дозволила би оцінити не тільки окремі складові, такі як рівні шуму створювані окремим автомобілем, потоком, а також ефекти зниження шуму при його поширенні та сумарну оцінку рівнів звукового тиску в точці приймача.

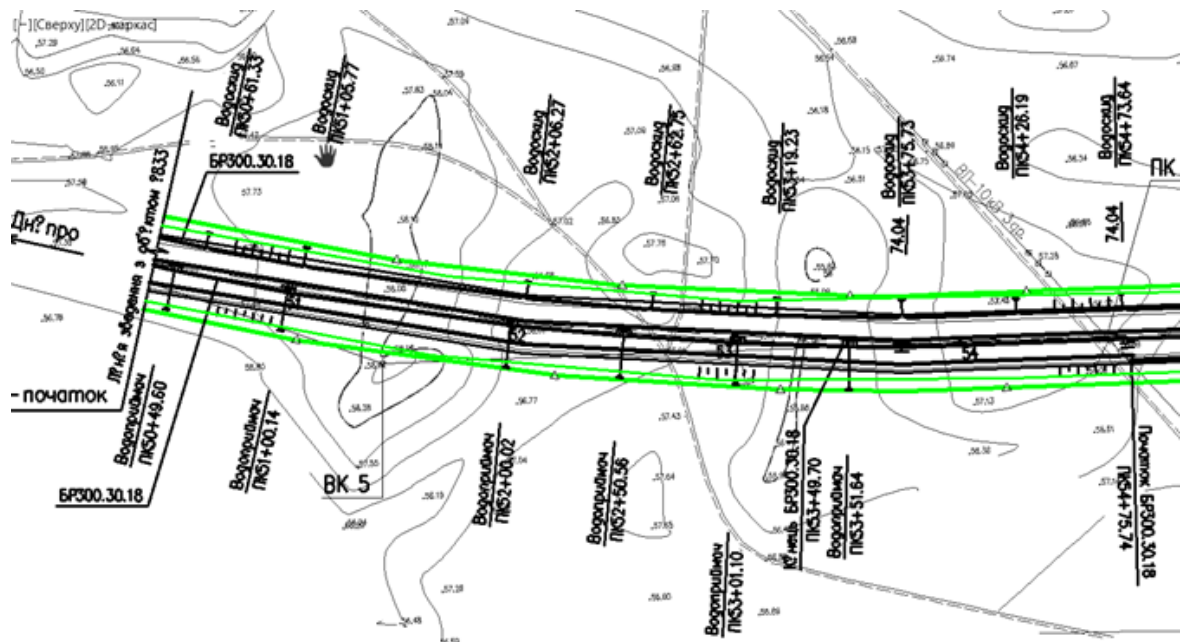
1.3 Норми проєктування плану і поздовжнього профілю при реконструкції автомобільної дороги.

Як було зазначено вище, на автомобільній дорозі передбачається інтенсивність руху дорожніх транспортних засобів 20-40 тис. авт/добу, що відповідно до Державних будівельних норм України. Автомобільні дороги. (ДБН В.2.3-4-2015) визначає категорію дороги як першу [6].

Траса автомобільної дороги проєктується як плавна лінія у просторі з ув'язкою елементів плану, поздовжнього та поперечного профілів між собою, з навколишнім ландшафтом і з оцінкою їх впливу на умови руху та зорове сприйняття дороги.

Проєктування плану і поздовжнього профілю автомобільної дороги виконується виходячи з інтенсивності руху, умови забезпечення безпеки та комфортності руху транспортних засобів з урахуванням можливості реконструкції дороги за межею перспективного розрахункового періоду.

Приклад вигляду плану зображено на рисунку 1.1.



Таблиця 1.1 – Параметри елементів плану і поздовжнього профілю, що залежать від розрахункових швидкостей [6]

Найменування елементів	Параметри залежно від розрахункових швидкостей, км/год										
	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30
Найбільший поздовжній похил, ‰.	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100
Найменший радіус кривої у плані, м	1000	800	700	600	450	300	225	150	100	65	30
Найменший радіус кривої у профілі, м:											
– опуклої;	15000	12000	11000	10000	9000	8500	5500	3500	2000	1000	500
– увігнутої	4400	3700	3200	2600	2100	1700	1300	1000	700	500	300
Найменша відстань видимості, м:											
– для зупинки автомобіля;	335	290	250	210	175	145	115	90	70	50	35
– зустрічного автомобіля	–	–	–	–	320	270	220	180	150	120	–

Конструкція земляного полотна має відповідати галузевим нормам з урахуванням таких факторів: категорії дороги, висоти насипу та глибини виїмки, типу дорожнього покриття, умов виконання робіт, природних особливостей району та інженерно-геологічних характеристик ділянки. Важливо забезпечити стійкість і стабільність земляного полотна та дорожнього покриття при мінімальних витратах на будівництво та обслуговування, максимально зберегти цінні землі й мінімізувати негативний вплив на довкілля.

Конструкція земляного полотна складається з таких елементів (рис. 1.3):

а) робочого шару – верхньої частини земляного полотна, що розташована під дорожнім одягом у межах глибини активної зони, але не менше 1,5 м від поверхні покриття проїзної частини;

б) тіла насипу (з укісними частинами);

в) основи насипу – природного ґрунтового масиву, що розташований нижче насипного ґрунту або нижче робочого шару;

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Технічна характеристика об'єкту

Ділянка км 360 – км 370 автомагістралі в Рівненській області є частиною транспортної мережі, яка забезпечує з'єднання з великими містами України та транскордонними маршрутами. Ця ділянка відповідає сучасним вимогам дорожнього будівництва, включаючи заходи з покращення покриття, забезпечення безпеки руху та впровадження екологічних рішень.

Ключові характеристики ділянки:

- тип покриття: асфальтобетон високої міцності;
- рівень безпеки: облаштовані системи бар'єрного огородження, розмітка високої видимості;
- екологічні заходи: використання шумозахисних екранів, модернізація систем водовідведення;
- транспортна ефективність: поліпшення пропускної спроможності для зниження заторів та часу перевезення.

Ділянка є важливою частиною транспортного коридору, що стимулює економічний розвиток регіону та забезпечує зручний доступ до основних транспортних вузлів. Інформація базується на огляді характеристик автодоріг в Україні, включаючи основні заходи з їх розвитку

Автомагістраль у Рівненській області, зокрема ділянка км 360 – км 370, проєктувалася з чотирма смугами руху (по дві в кожному напрямку) відповідно до категорії 1а, яка забезпечує високий рівень пропускної здатності та безпеки.

Планована інтенсивність руху для такої дороги перевищує 14 000 транспортних одиниць на добу (в еквіваленті легкових автомобілів). Для цього були враховані сучасні вимоги до ширини смуг (3,75 м), наявності розділової смуги та зміцнених узбіч, що є обов'язковими для магістралей такого рівня.

Застосовані інженерні рішення спрямовані на забезпечення розрахункової швидкості руху до 150 км/год. Це включає плавні радіуси поворотів (від 1200 м) і обмеження максимального похилу дорожнього полотна до 30‰ для покращення комфорту руху та зменшення енерговитрат транспорту.

Такі дороги проектується з урахуванням перспективної інтенсивності руху та потреб транзитного транспорту.

На цей час на ділянці автомобільної дороги М-06 Київ – Чоп між населеними пунктами Крилів – Грушвиця (рис. 2.1) проводяться ремонтні роботи. Вони є частиною масштабних заходів з підтримання автомобільної дороги міжнародного значення в належному стані, які включають ремонт дорожнього покриття, оновлення дорожньої інфраструктури, а також встановлення шумозахисних екранів і модернізацію з'їздів. Ця ділянка є частиною траси М-06, яка з'єднує Київ із західним кордоном України і має важливе значення для транзитного транспорту. Загалом, стан покриття на цій дорозі варіюється, проте ремонтні роботи проводяться на ключових ділянках для забезпечення безпеки руху і комфорту водіїв. Наприклад, окремі ділянки дороги поблизу мостів і підходів до них потребують особливої уваги через появу колійності.

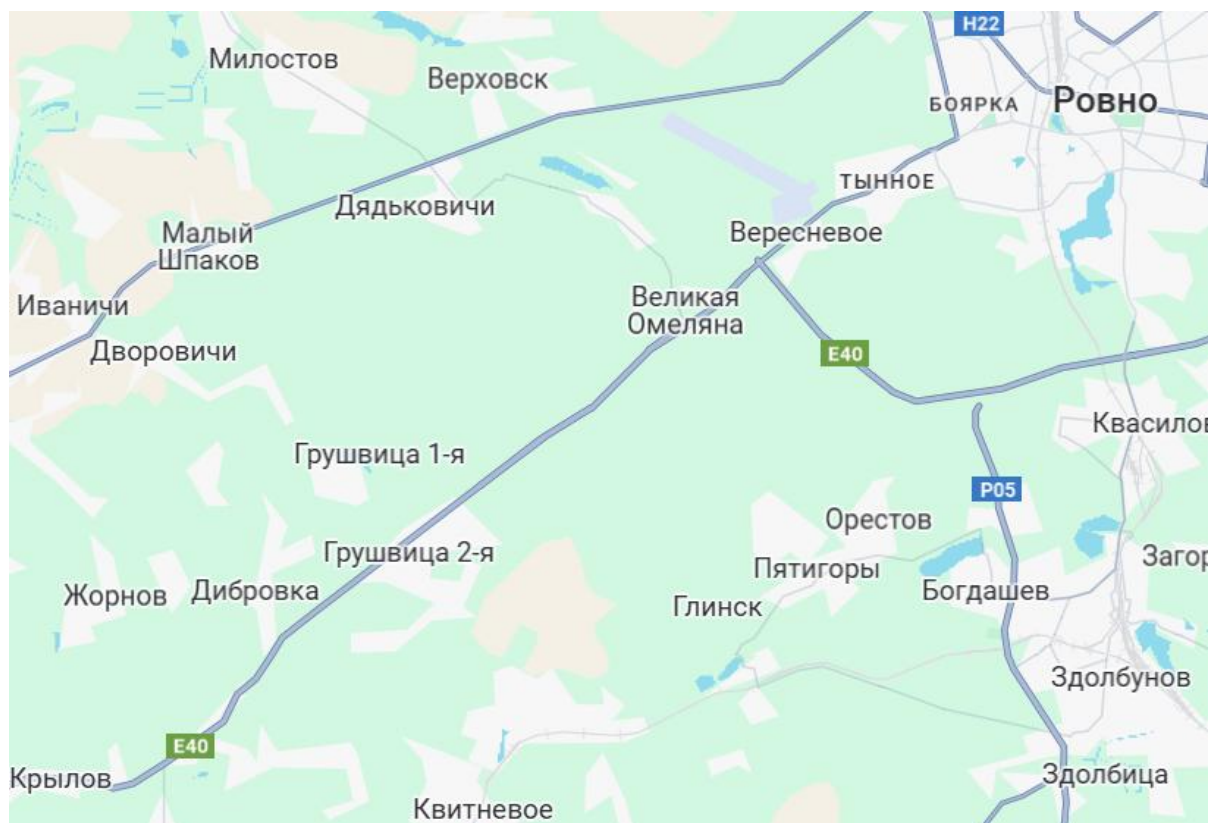


Рисунок 2.1 – План траси ділянки автодороги
Крилів – Грушвиця – Рівне

2.2 Аналіз методик розрахунку рівня дорожнього шуму

За останнє десятиліття рівень шумового забруднення у великих містах збільшився у 10 - 15 разів. Експериментальні вимірювання транспортного шуму підтвердили перевищення нормативних рівнів у середньому на 10 - 12 дБА, тому потрібна розробка заходів щодо зниження рівнів транспортного шуму.

У практиці для поточного контролю еквівалентних і максимальних рівнів звуку транспортних потоків (показників транспортного шуму) поруч із пристроями щодо вимірювань активно використовуються математичні моделі. Широко поширеними є моделі, де в якості вихідних даних застосовуються натурні або розрахункові дані максимальної годинної інтенсивності руху. Методи вимірювання інтенсивності руху прості та надійні.

У вітчизняних галузевих методиках пропонується два способи оцінки транспортного шуму. Для магістральних доріг і вулиць, що активно експлуатуються, рекомендується проведення польових досліджень. Для магістралей, що проектуються і реконструюються, прогнозування шуму здійснюється в розрахункових методиках з достатнім рівнем надійності. Перший спосіб пов'язаний із застосуванням вимірювального обладнання та досить ефективний. Другий широко використовується в нових проектах магістралей, а прогнозні результати апробовані у зводах правил.

У різних країнах досягли значних результатів у вивченні шуму та розробці шумозахисних заходів. Актуальність згаданої проблеми підтверджена в багатьох роботах. У статті [7] автори розглядають транспортний шум як вплив на навколишнє середовище. В статті представлено прогнозовану модель шумопотоку Traffic Noise Model (TNM). Автори зазначають, що під час побудови та компіляції моделі, яка найчастіше використовується, застосовано статистичний підхід. Великий набір експериментальних даних збирається на одній або кількох досліджуваних ділянках, і на основі цих даних обирається найкраща відповідність із функціональним співвідношенням. В роботі [8] зроблений короткий огляд методів визначення шумової характеристики транспортних потоків. Дано порівняльний аналіз розрахункових і вимірних

значень рівнів шуму від транспортних потоків на прилеглий до автомагістралі території. Автори представляють різні варіації визначення шумового навантаження.

В роботі [5] розроблено модель шуму транспортних потоків на основі принципів макроскопічного моделювання. Проведено експериментальну верифікацію розробленої моделі на автомобільних шляхах при різних умовах. Отримано залежності швидкості руху транспортного потоку від густини автомобілів.

За останні декілька десятиріч спостерігається різка тенденція до зростання числа автотранспорту, що призводить до суттєвого збільшення рівня акустичного забруднення у містах, який перевищує нормативні значення. Відомо, що автомобільний транспорт відноситься до головних джерел акустичного забруднення середовища у місті [9]. На сьогоднішній день шум є одним із найважливіших критеріїв обрання місця проживання. Дослідження вказують на високий вплив дорожньо-транспортного шуму на фасади будівель, що знаходяться ближче до дороги, що робить частини цих будинків незручними для проживання. Згенерований рівень шуму сильно залежить від дорожнього покриття, малюнка протектора автомобільної шини та конструкції. Для дорожнього покриття є два типи категорії тротуару: гнучка (асфальтобетон-«асфальт») та жорстка (цементобетон). Асфальтобетонне покриття відрізняється залежно від розміру щебню (наприклад, «агрегатний розмір» або «розмір шліфування») та пористості; менша фракція каменю і висока пористість створюють тихі тротуари. Цементобетонні покриття можуть відрізнятися залежно від фактури поверхні; з мілких текстур створюють тихі тротуари. На рисунку 2.2 показано приклад накладення «тихого» тротуару на поверхню гучної фундаментної автомобільної дороги (поперечно заточений бетон). Окрім підтримки належного опору стійкості для безпеки, одним з головних завдань є підтримка акустичної міцності на тихих тротуарах, особливо в зимовий період. Також на ефективність зменшення шуму впливає температура навколишнього повітря.



Рисунок 2.2 – Зображення готового «тихого» тротуару

Розрахунок дорожнього шуму від руху транспортних засобів був розроблений лабораторією транспорту та дорожніх досліджень та департаментом транспорту Великобританії в 1975 році [10], а потім модифікований в 1988 р. Різниця між британською методикою розрахунку дорожнього шуму та методикою, яка застосовується в Україні, полягає у підходах до моделювання, врахуванні місцевих умов і стандартах шумозахисту. Розглянемо ключові відмінності:

1. Британська методика (1975, оновлена у 1988 р.)

Розробник: Лабораторія транспорту та дорожніх досліджень і Департамент транспорту Великобританії. Назва: Calculation of Road Traffic Noise (CRTN). Методика розраховує середньозважений рівень шуму за рік. Враховуються такі основні позиції.

Параметри моделі: тип дороги та її геометрія; середня швидкість транспортних засобів; потік транспорту, поділений на категорії (легкові автомобілі, вантажівки тощо); відстань до дороги та наявність перешкод.

Інтеграція метеорологічних факторів: розрахунки враховують ефект вітру та температури, що впливають на поширення звуку.

Високий рівень стандартизації: однакові методи використовуються у всій

країні.

Методика CRTN використовується як базовий стандарт у Великобританії для оцінки шуму від руху транспорту при плануванні інфраструктури.

2. Методика, яка застосовується в Україні

Регламентуючі документи: Державні будівельні норми України (ДБН), зокрема ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму», інші національні стандарти, наприклад, ДСТУ ISO 9613-2:2006 (оцінка поширення шуму на відкритих просторах).

Особливості методики полягають в наступному:

Орієнтація на максимальні значення. В Україні розрахунки часто базуються на найгірших умовах, тобто враховується максимальний потік транспорту протягом доби або пікового часу.

Місцеві фактори: враховуються кліматичні та топографічні умови України.

Менше деталізації: у деяких випадках методика використовує спрощені підходи, зокрема меншу сегментацію транспорту та менш точні коефіцієнти для конкретних дорожніх умов.

Шумопоглинання: приділяється більше уваги впливу природних бар'єрів, таких як зелені насадження.

Локальні стандарти: рівні шуму прив'язані до санітарних норм і категорій зон (житлова, промислова, рекреаційна).

В Україні методика частіше використовується для оцінки санітарного впливу шуму на людей, особливо при розробці проектів нового будівництва або реконструкції доріг.

Основні відмінності методик оцінки шумового впливу наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні відмінності методик

Параметр	Британська методика (CRTN)	Українська методика (ДБН)
----------	----------------------------	---------------------------

Тип розрахунків	Середньорічні показники	Максимальні значення або середньодобові
Вплив погоди	Враховується детально	Враховується спрощено або не враховується
Транспортний потік	Детальна сегментація транспорту	Менш деталізована сегментація
Географічні умови	Прямолінійні траси, характерні для Великобританії	Більша увага до складного рельєфу
Сфера застосування	Переважно для проектування нових доріг	Для контролю дотримання санітарних норм

Висновок. Українська методика орієнтована на адаптацію до місцевих умов і санітарних норм, тоді як британська має більш універсальний характер і деталізовану структуру розрахунків. Якщо Україна запозичить елементи CRTN, це може покращити точність оцінок, особливо для проектування сучасних магістралей.

2.3 Методика розрахунку дорожнього шуму від транспортних засобів

Для визначення рівня дорожнього шуму за основу прийнято методику розрахунку дорожнього шуму від руху транспортних засобів. Розрахунок дорожнього шуму від руху транспортних засобів оцінює базовий рівень шуму L_{10} як на 1 годину, так і на 18 годин. Цей рівень одержують на еталонній відстані 10 м від найближчого краю проїжджої частини автодороги.

Параметри, що беруть участь у цій моделі: інтенсивність і склад, середня швидкість руху, похил дороги та тип дорожнього покриття. Основні припущення моделі – помірна швидкість вітру і сухе дорожнє покриття.

Процедура розрахунку включає наступні п'ять етапів:

1. Розділити схему дорожнього руху в один або більше сегментів, таким чином, щоб коливання рівня шуму в межах сегмента становить менше 2 дБА;
2. Розрахувати базовий рівень шуму в 10 метрах від краю узбіччя проїжджої частини для кожного сегмента. Він залежить від швидкості, інтенсивності та складу руху. Рух вважається лінійним джерелом, розташованим на відстані 0,5 м від поверхні дороги та в 3,5 м від краю транспортного засобу;

3. Оцінити рівень шуму для кожного сегмента, враховуючи ослаблення через відстань та екранування вихідної лінії;

4. Провести налаштування рівня шуму, беручи до уваги: відбиття за рахунок будівель та фасадів з іншого боку дороги та світло-відбиваючий екран позаду; розмір джерела сегмента (кут огляду);

5. Об'єднати дані всіх сегментів, щоб дати прогнозований рівень шуму в точці прийому для всієї дорожньої схеми.

Швидкий базовий рівень шуму прогнозується на відстані 10 метрів від найближчої проїжджої частини, згідно з наступним рівнянням:

$$L_{10}(1\text{год}) = 42.2 + 10\text{Log}(q) \text{ (дБА)}, \quad (2.1)$$

та базовий рівень шуму в термінах загального 18-годинного транспортного потоку:

$$L_{10}(18\text{год}) = 29.1 + 10\text{Log}(Q) \text{ (дБА)} \quad (2.2)$$

де q і Q – погодинна інтенсивність руху (транспортні засоби / годину) і 18-годинна інтенсивність (транспортні засоби / годину) відповідно.

При цьому передбачається, що базова швидкість дорівнює $v = 75$ км/год, відсоток важких транспортних засобів $P = 0$ і похил дороги $G = 0\%$. Крім того передбачається, що джерело лінії шуму знаходиться в 3,5 м від краю дороги для проїжджої частини, розділеної менше ніж на 5,0 метрів.

Потім рівень буде відкоригований, враховуючи середню швидкість руху, відсоток важких транспортних засобів та похил дороги.

Зокрема, виправлення для важких транспортних засобів та швидкості визначаються за допомогою наступних виразів:

$$\Delta_{pV} = 33\text{Log}\left(v + 40 + \frac{500}{v}\right) + 10\text{Log}\left(1 + \frac{5P}{v}\right) - 68.8 \text{ (дБА)} \quad (2.3)$$

де середня швидкість v залежить від типу дороги та повідомляється у (4.1) для різних доріг. Відсоток важких транспортних засобів тоді визначається як:

$$P = \frac{100f}{q} = \frac{100F}{Q} \quad (2.4)$$

де f і F – відповідно погодинний і 18-годинний потік важких транспортних засобів.

Значення v , яке буде використано в рівнянні (2.3), залежить від похилу дороги. Зокрема, для доріг з похилом, швидкість руху в попередньому відношенні буде зменшена на величину ΔV , яка визначається з:

$$\Delta V = \left[0.73 + \left(2.3 - \frac{1.15p}{100} \right) \frac{p}{100} \right] G \text{ (км/год)} \quad (2.5)$$

де G – похил дороги, виражений у відсотках.

Коли відома швидкість руху, рівень звуку регулюється для додаткового шуму від руху на похилах з поправкою.

$$\Delta_G = 0.3G \text{ (дБА)} \quad (2.6)$$

Шум також залежить від дорожнього покриття. Для доріг, які непроникні і на яких швидкість руху, що використовується у виразі (2.3), становить $V > 75$ км / год, застосовується поправка до базового рівня шуму:

– $\Delta_{TD} = 10 \text{Log}(90TD + 30) - 20$ (дБА) для бетонних поверхонь;

– $\Delta_{TD} = 10 \text{Log}(20TD + 60) - 20$ (дБА) для бітумної поверхні,

де TD – глибина текстури покриття.

Якщо $V \leq 75$ (км / год), то поправка дорівнює:

– $\Delta_{TD} = -1$ (дБА) для бітумного дорожнього покриття;

– $\Delta_{TD} = -3.5$ (дБА) для стійких дорожніх покриттів.

Модель також враховує поправку для точок приймача, розташованих на відстані $d \geq 4,0$ м від краю найближчої проїжджої частини:

$$\Delta_{TD} = -10 \text{Log} \left(\frac{d'}{13.5} \right) \text{ (дБА)} \quad (2.7)$$

де d' – найкоротша відстань між ефективним джерелом і приймачем.

Остання поправка пов'язана з перешкодами для поширення, наприклад,

характер поверхні землі між краєм проїжджої частини та точкою приймача: трав'яниста земля, оброблювані поля тощо або наявність будівель, стін, загороджень тощо.

Вихідні дані, які прийняті для моделі. В даному розрахунку розглядається дорога I-а категорії з такими наступними параметрами та умовами:

- інтенсивність руху транспортних засобів складає 20 000 авт. / добу
- середня швидкість руху приймається в діапазоні від 50 до 170 км / год з інтервалом в 20 км/год.

- склад вантажних автомобілів приймається в діапазоні від 20 до 40% від загальної кількості автомобілів.

- похил дорожнього покриття складає $G=15\%$.

- покриття виконане з асфальтобетону.

Розрахунок базового рівня шуму. Базовий рівень шуму – основний рівень шуму який розраховується виходячи з кількості автомобілів які проїжджають в певному місці за якийсь період часу, без врахування будь-яких факторів які можуть впливати на нього.

Розраховуємо базовий рівень шуму в інтервалах за 1 та 18 годин, без урахування типу автомобіля: $q = 500$ автомобілів за 1 год; $Q = 671$ автомобілів за 18 год.

$$L_{10}(1\text{год}) = 42,2 + 10 * \text{Log } 500 = 69,19 \text{ (дБА)}$$

$$L_{10}(18\text{год}) = 29,1 + 10 * \text{Log } 671 = 57,37 \text{ (дБА)}$$

Додатки до розрахунку відносно базового рівня шуму. За основу береться розрахунок базового рівня шуму з врахуванням кількості важких автомобілів за якийсь період часу, похилу дороги, розрахункової швидкості, текстури покриття, типу покриття і відстанню від джерела шуму до його приймача.

Розрахунок відсотку важких транспортних засобів з загальної кількості автомобілів визначається за формулою (2.4) як:

$$f_1 = 100; f_2 = 150; f_3 = 200 \text{ важких автомобілів за 1 год.}$$

$F_1 = 134; F_2 = 201; F_3 = 269$ важких автомобілів за 18 год.

$$P_1 = \frac{100 * 100}{500} = \frac{100 * 134}{671} \approx 20\%$$

$$P_2 = \frac{100 * 150}{500} = \frac{100 * 201}{671} \approx 30\%$$

$$P_3 = \frac{100 * 200}{500} = \frac{100 * 269}{671} \approx 40\%$$

Виправлення швидкісного режиму для автомобілів на автодорогах з похилим профілем за формулою (2.5):

$$\Delta V_1 = \left[0.73 + \left(2.3 - \frac{1.15 * 20}{100} \right) \frac{20}{100} \right] * 5 = 12,0 \text{ км/год}$$

$$\Delta V_2 = \left[0.73 + \left(2.3 - \frac{1.15 * 30}{100} \right) \frac{30}{100} \right] * 5 = 11,7 \text{ км/год}$$

$$\Delta V_3 = \left[0.73 + \left(2.3 - \frac{1.15 * 40}{100} \right) \frac{40}{100} \right] * 5 = 11,3 \text{ км/год}$$

Швидкість з урахуванням виправлення швидкісного режиму яка враховує вплив великовантажних транспортних засобів розраховується за (2.8), результати наведені в таблиці 2.2.

$$V - \Delta V \text{ км / год} \tag{2.8}$$

Таблиця 2.2 – Швидкість з урахуванням виправлення від великовантажних транспортних засобів

V, км/год	20% (ΔV_1)	30% (ΔV_2)	40% (ΔV_3)
50	38,0	38,3	38,7
70	58,0	58,3	58,7

Продовження табл. 2.2

V, км/год	20% (ΔV_1)	30% (ΔV_2)	40% (ΔV_3)
90	78,0	78,3	78,7
110	98,0	98,3	98,7
130	118,0	118,3	118,7
150	138,0	138,3	138,7
170	158,0	158,3	158,7

Результати розрахунків виправлення для важких транспортних засобів з середнім швидкісним режимом руху від 50 до 170 км/год наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Корегування шуму для важких транспортних засобів
(формула 2.3)

Швидкість, км/год	Δ_{pV1}	Δ_{pV2}	Δ_{pV3}
50	1,47	2,82	3,85
70	2,47	3,68	4,64
90	3,91	5,01	5,90
110	5,39	6,39	7,21
130	6,80	7,72	8,48
150	8,12	8,97	9,68
170	9,35	10,13	10,81

За результатами, що наведені в табл. 2.3, побудовані залежності корегування шуму від питомої ваги великовантажного транспорту для різної швидкості руху (рис. 2.3).

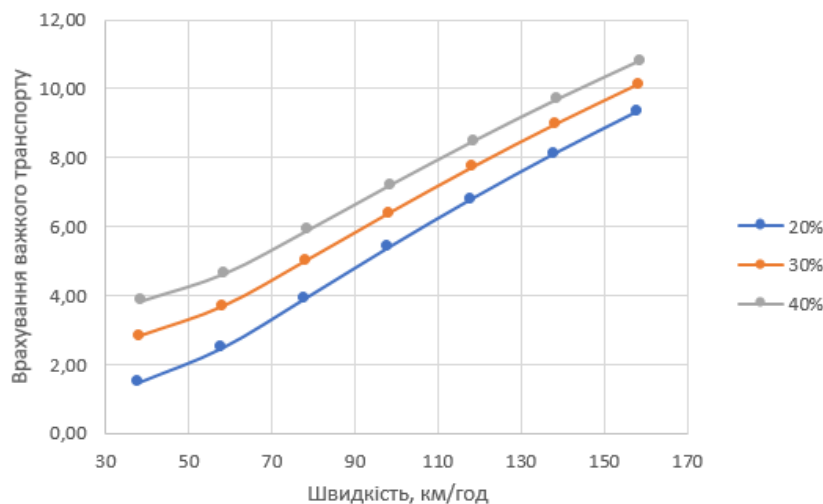


Рисунок 2.3 – Діаграма впливу кількості великовантажного транспорту за різної швидкості на шум

Як впливає з рис. 2.3, з поступовим збільшенням швидкості лінійно збільшується і рівень шуму.

Поправка на додатковий шум від руху на похилах за формулою (2.6) з

$$\Delta_G = 0.3 * 15 = 4,5 \text{ (дБА)}$$

Виправлення базового рівня шуму від типу покриття:

Для транспортного руху зі швидкісним режимом 50 та 70 км/год приймається виправлення $\Delta_{TD} = -1$ (дБА); всі інші швидкісні режими розраховуються за формулою (2.7):

$$\Delta_{TD} = 10 \text{Log}(20 * 0,8 + 60) - 20 = (-1,19) \text{ (дБА)}$$

де TD – глибина текстури покриття; дорівнює TD = 0.8

Поправка для точок приймача, розташованих на відстані $d \geq 4,0$ м від краю найближчої проїжджої частини:

$$\Delta_{TD} = -10 \text{Log} \left(\frac{4,2}{13,5} \right) = 5,07 \text{ (дБА)}$$

де d' – найкоротша відстань між ефективним джерелом і приймачем, та дорівнює d' = 4,2 м.

Підсумкове значення для рівня шуму за 1 годину з врахуванням всіх факторів враховує наступні показники шумів: базовий рівень шуму, шум від руху на похилах, шум від типу покриття, виправлення для точок приймача та виправлення для важких транспортних засобів. Розрахунки виконано в діапазоні швидкостей від 50 до 170 км/год. Результати розрахунків наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Підсумкове значення для рівня шуму за 1 годину, дБА

Швидкість, км/год	$L_{(10)1}$ (1год)	$L_{(10)2}$ (1год)	$L_{(10)3}$ (1год)
50	79,2	80,6	81,6
70	80,2	81,4	82,4
90	81,5	82,6	83,5
110	82,3	83,9	84,8
130	84,4	8,3	86,1
150	85,7	86,5	87,3
170	86,9	87,7	88,4

Після здійснення підсумкового розрахунку (рис. 2.4), можливо побачити, що зі збільшенням швидкості, рівень шуму буде лінійно збільшуватись, при будь-якому складі великовантажних автомобілів на дорозі.

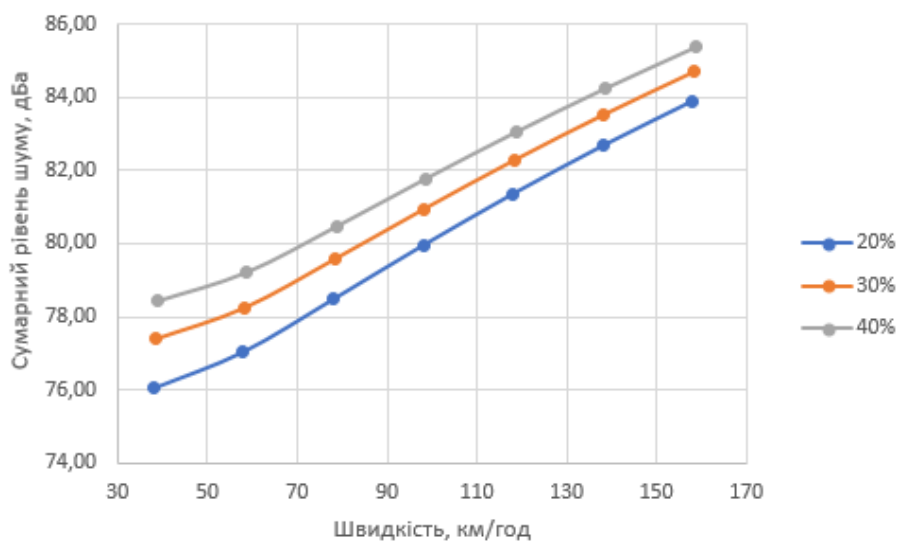


Рисунок 2.4 – Діаграма впливу усіх показників з урахуванням швидкості та кількості великовантажного транспорту на сумарний рівень шуму

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка варіантів захисту від шумового забруднення

3.1.1 Загальні положення

Автомагістраль у Рівненській області, зокрема ділянка км 360 – км 370, запроєктована з чотирма смугами руху (по дві в кожному напрямку) відповідно до категорії 1а, яка забезпечує високий рівень пропускну здатності та безпеки. Існуюча ширина автодороги 32,0 м – 34,0 м, з розділовою смугою 4,0 м, на якій встановлене двобічне металеве бар'єрне огородження. Покриття проїжджої частини – асфальтобетон.

Автомобільна дорога є джерелом шуму досить великого частотного діапазону. Для зниження рівня шуму на житлові будинки було прийняте рішення про встановлення шумозахисних екранів на проєктній ділянці.

Припускається, що транспортний потік, тобто лінійне джерело шуму складається з окремих транспортних засобів – точкових джерел шуму, які в свою чергу визначаються окремими джерелами шуму (наприклад, шумом взаємодії колеса з дорогою, шумом двигуна), що розташовані на різних висотах над поверхнею дороги, що також є точковими джерелами шуму. Окремі точкові джерела є некогерентними джерелами шуму. Для моделювання поширення звуку звукове поле автомобіля представляється у рамках припущень геометричної акустики у вигляді променевої картини. В даній роботі розглядалося лише однорідне середовище. Припускається також, що точка спостереження знаходиться в дальньому звуковому полі джерела. Таким чином, окремі транспортні засоби рухаються вздовж горизонтального сегменту лінії шуму (дороги) на певній висоті над прямим сегментом дороги на горизонтальній поверхні землі.

При розрахунках зниження рівня звуку шумозахисними екранами розглядаються розрахункові перетини, що з'єднують джерело шуму (ДШ) і розрахункову точку (РТ). Зниження рівня шуму екранами відбувається в результаті утворення за ними звукової тіні. Але повного зниження шуму не

відбувається через дифракцію звукових хвиль (рис. 3.1).

Admin2017

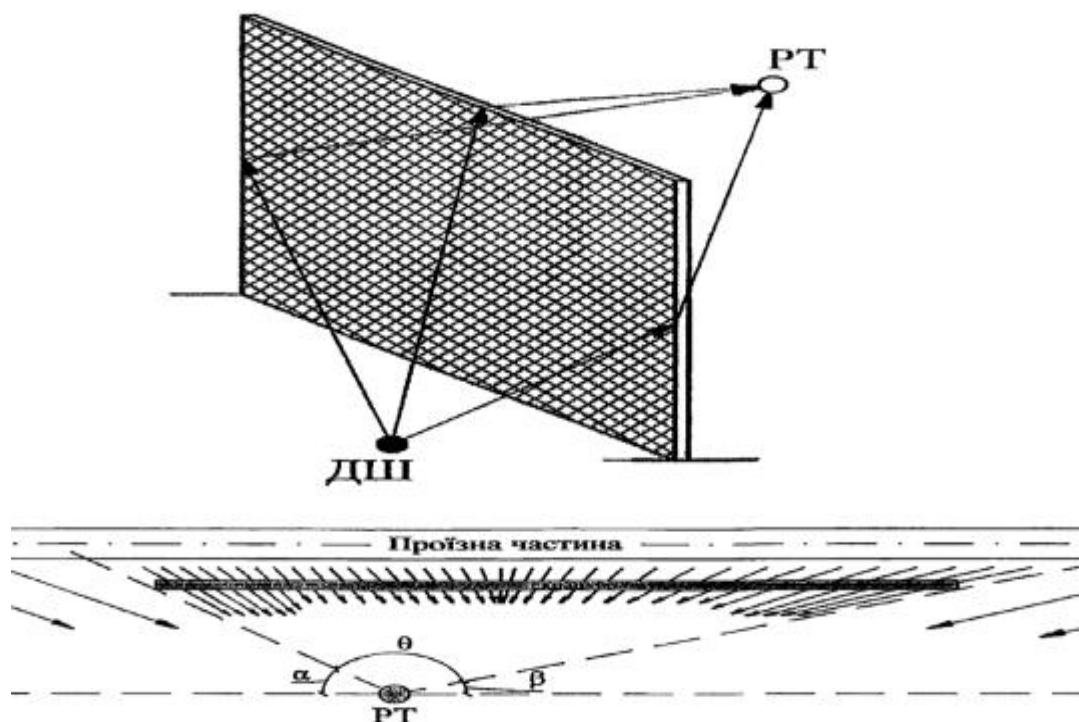


Рисунок 3.1 – Шляхи поширення звуку навколо екрану θ – кут перекриття екраном ділянки дороги (кутовий розмір екрану, який видно з РТ)

Основною характеристикою, яка визначає акустичні якості шумозахисного екрану-стілки, є його висота. При розташуванні автомобільної дороги у виїмці – це глибина і ухили укосів виїмки.

Шумозахисні споруди встановлюються на відстані 1,8 – 3,7 м від зовнішньої кромки укріпленої смуги узбіччя (кромка асфальтобетонного покриття проїзної частини). Між спорудами та проїзною частиною, на відстані 1,0 – 2,8 м від споруд, встановлюється дорожнє металеве однобічне бар'єрне огороження для пом'якшення наслідків можливості наїзду автомобіля на конструкцію споруди.

Конструкція і розташування вертикально закріплених стояків забезпечує фіксацію і утримання панелей. В якості стояків використовуються зварні двотаврові балки з фланцевою п'ятою, для закріплення до поверхні фундаменту.

3.1.2 Розрахунок рівнів шуму від руху автомобільного транспорту

Розрахунок проводився у відповідності з ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» [11], ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 «Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій» [12], ДСТУ-Н Б В.1.1-35:2013 «Настанова з проведення розрахунку шуму в приміщеннях і на територіях» [13].

Умовний акустичний центр транспортних потоків розташовується по осі найближчої до розрахункової точки смуги руху транспортних засобів на висоті 1 м від рівня поверхні проїзної частини.

В магістерській роботі виконаний розрахунок шуму на території, що безпосередньо прилягає до житлових будинків. Допустимі рівні звуку $L_{Аекв}$ для території, котра безпосередньо прилягає до житлових будинків (за 2 м від конструкцій), слід приймати у відповідності з [11], що складає: з 8 до 22 години: $L_{Аекв} = 55$ дБА, з 22 до 8 години: $L_{Аекв} = 45$ дБА.

На площадках відпочинку груп житлових будинків, розрахункові точки встановлюються на найближчій до джерела шуму межі площадок на висоті 1,5 м від їх поверхні.

Фактичні рівні шуму у розрахунковій точці на території житлової забудови складають:

$$L_{Атер} = L_{Аекв} - \Delta L_{Авідст} - \Delta L_{Апов} \quad (3.1)$$

де $L_{Аекв}$ – відповідна шумова характеристика джерела шуму, дБА,

$\Delta L_{Авідст}$ – поправка у дБА, що враховує зниження рівня звуку в залежності від відстані r , м між джерелом шуму ДШ і розрахунковою точкою РТ:

$$L_{Авідст} = 10 \lg \frac{\pi r(2r+A+B)+AB}{\pi(2+A+B)+AB} \quad (3.2)$$

$\Delta L_{Апов}$ – поправка у дБА, що враховує зниження рівня звуку внаслідок затухання звуку в повітрі:

$$\Delta L_{Апов} = \frac{5r}{1000} \quad (3.3)$$

r – відстань від акустичного центру джерела шуму до розрахункової точки, м.

Рух автотранспорту приймаємо на ділянці розміром $A = 3$ м, $B = 15$ м.

Відповідно до ситуаційної карти були визначені розрахункові точки, обрані на території найближчих житлових будинків. Нижче наведено розрахунок для найближчої обраної точки РТ, яка знаходиться на відстані 45 м.

1. Розрахунок фактичного рівня звуку для РТ, $r = 45,0$ м за формулою (3.2):

$$L_{\text{Авідст}} = 10 \lg \frac{3,14 * 45 * (2 * 45 + 3 + 15) + 3 * 15}{3,14(2 + 3 + 15) + 3 * 15} = 21,50 \text{ дБА}$$

Зниження рівня звуку внаслідок затухання звуку в повітрі за формулою (3.3):

$$\Delta L_{\text{Апов}} = \frac{5 * 45}{1000} = 0,22 \text{ дБА}$$

удень: $L_{\text{Атер}} = 84,00 - 21,50 - 0,22 = 62,28$ дБА,

уночі: $L_{\text{Атер}} = 80,00 - 21,50 - 0,22 = 58,28$ дБА

Як видно, фактичні рівні звуку на території житлової забудови, перевищують нормативні.

З метою зменшення звукового тиску передбачається будівництво шумозахисного екрану.

А) Розрахунок екрана висотою 3,5 м

Згідно з [12] зниження рівня звуку екраном-стілкою $\Delta L_{\text{Аекр.ст}}$, дБА, визначають за рисунком 3.2 в залежності від виду джерела шуму та числа Френеля N :

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \quad (3.4)$$

де δ – різниця довжин шляхів звукового променя, м; визначається згідно з 9.2;

λ – розрахункова довжина звукової хвилі, яку приймають: для автомобілів

і автобусів 0,84 м; для залізничних поїздів 0,42 м; для джерел шуму усередині груп житлових будинків – 0,21 м.

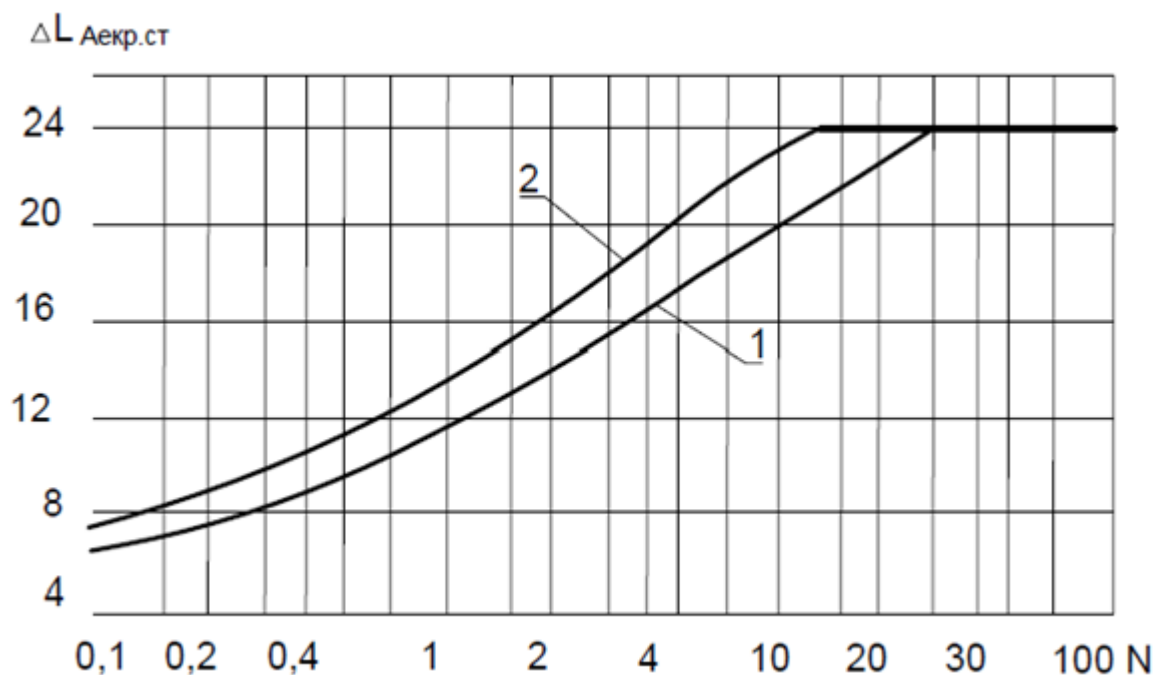


Рисунок 3.2 – Графік для визначення зниження рівня звуку екраном-стілкою (1 – транспортні потоки; 2 – окремі транспортні засоби і локальні джерела шуму)

При розрахунках зниження рівня звуку шумозахисними екранами розглядаються розрахункові перетини, що з'єднують ДШ і РТ. Зниження рівня шуму екранами відбувається в результаті утворення за ними звукової тіні. Але повного зниження шуму не відбувається через дифракцію звукових хвиль (рис. 3.1).

Зниження шуму екраном $\Delta L_{\text{Аекр}}$ визначається за графіком на рис. 3.3 в залежності від різниці довжин шляхів проходження звуку δ – різниця між геометричною відстанню ДШ і РТ та найкоротшою відстанню між ДШ і РТ, м.

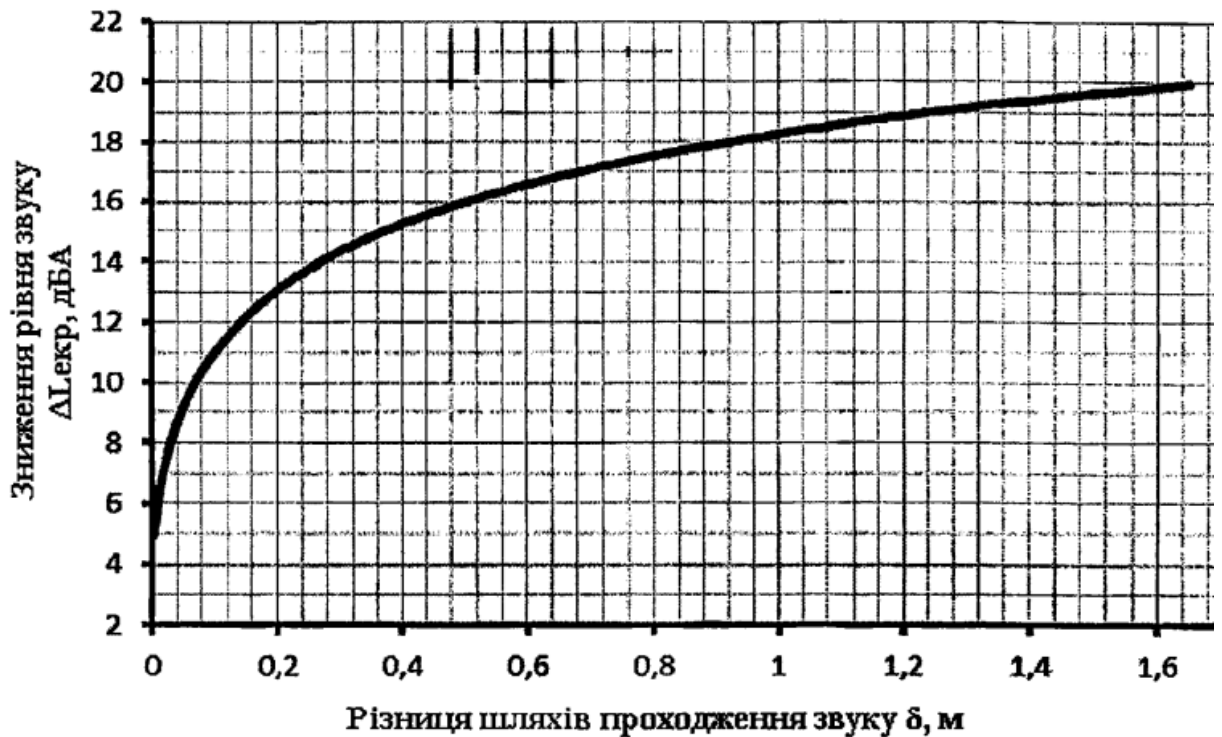


Рисунок 3.3 – Графік для визначення зниження рівня звуку екраном

За рисунком 3.4 різницю довжин шляхів звукового променя δ , м, визначається за формулою:

$$\delta = a + b - c \quad (3.5)$$

де a – найкоротша відстань між умовним акустичним центром джерела шуму та верхнім ребром екрана, м; при цьому, умовний акустичний центр потоків засобів автомобільного, залізничного та водного транспорту треба розташовувати на осі найдовшій від розрахункової точки смуги (шляху) руху на висоті 1 м від рівня поверхні проїзної частини вулиці або дороги (головки рейки, водної гладі), а для трансформаторів і джерел шуму усередині груп житлових будинків – у геометричному центрі джерела шуму;

b – найкоротша відстань між розрахунковою точкою та верхнім ребром екрана, м;

c – найкоротша відстань між умовним акустичним центром джерела шуму та розрахунковою точкою, м.

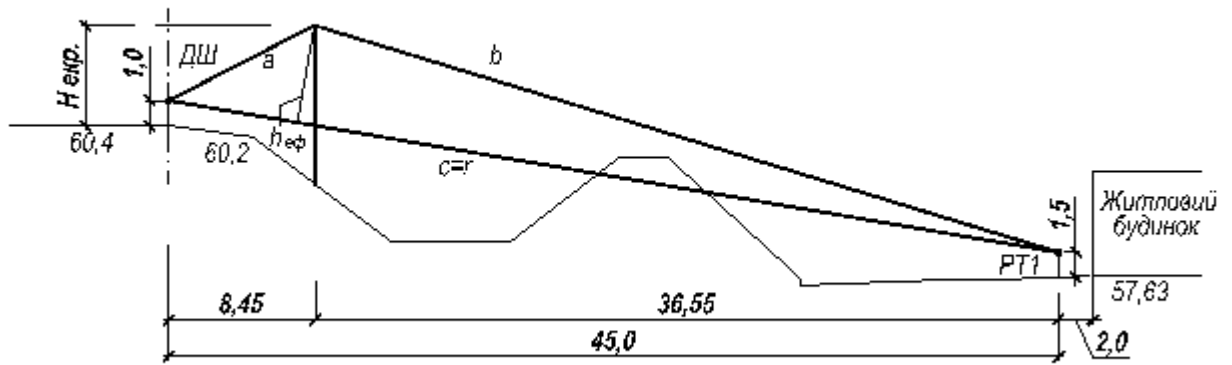


Рисунок 3.4 – Схема розташування довжин шляхів звукового променю

$$a = \sqrt{8,45^2 + (63,66 - 61,4)^2} = 8,75 \text{ м};$$

$$b = \sqrt{36,55^2 + (63,66 - 59,13)^2} = 36,82 \text{ м};$$

$$c = \sqrt{45,0^2 + (61,4 - 59,13)^2} = 45,06 \text{ м};$$

$$\delta = 0,52 \text{ м}$$

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot 0,52}{0,84} = 1,24$$

Згідно рисунку 3.2 $\Delta L_{\text{Аекр}} f(N)$ зниження рівня звуку екраном складе $\Delta L_{\text{Апарк}} = 12,20$ дБА.

удень: $L_{\text{Атер}} = 62,28 - 12,20 = 50,08$ дБА

уночі: $L_{\text{Атер}} = 58,28 - 12,20 = 46,08$ дБА

при нормативних:

з 8 до 22 години: $L_{\text{Аекв}} = 55,0$ дБА.

з 22 до 8 години: $L_{\text{Аекв}} = 45,0$ дБА.

Як видно, фактичні рівні звуку уночі перевищують нормативні.

Б) Розрахунок екрана висотою 4,0 м

$$a = \sqrt{8,45^2 + (64,16 - 61,4)^2} = 8,80 \text{ м};$$

$$b = \sqrt{36,55^2 + (64,16 - 59,13)^2} = 36,89 \text{ м};$$

$$c = \sqrt{45,0^2 + (61,4 - 59,13)^2} = 45,06 \text{ м};$$

$$\delta = 0,73 \text{ м}$$

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot 0,73}{0,84} = 1,73$$

Згідно рисунку 3.1 зниження рівня звука екраном складе $\Delta L_{A \text{ парк}} = 13,10 \text{ дБА}$.

$$\text{удень: } L_{A \text{ тер}} = 62,28 - 13,10 = 49,18 \text{ дБА}$$

$$\text{уночі: } L_{A \text{ тер}} = 58,28 - 13,10 = 45,18 \text{ дБА}$$

Як видно, фактичні рівні звуку уночі майже не перевищують нормативні.

Отже, за аналізом результатів проведених розрахунків з метою зменшення звукового тиску приймаємо для будівництва захисний екран висотою 4 м від рівня дороги.


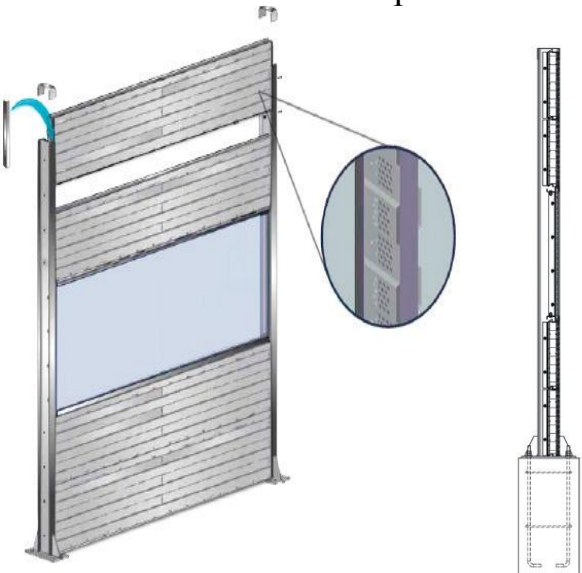
3.2 Обґрунтування рекомендованого варіанту. Захист за допомогою шумозахисних споруд

За результатами розрахунків рекомендується встановлення шумозахисних екранів висотою 4,0 м. Завданням цієї роботи є вибір типу шумозахисного екрану, отже й відомої компанії, яка виготовляє такі екрани для автомобільних доріг. Оціночними показниками є поглинання шуму і вартість повного комплексу робіт. Нижче наведено відомі в Україні виробники [14].

3.2.1 Компанія «ЄВРОФОРМАТ»

Компанія «ЄВРОФОРМАТ» розробила та виготовляє шумозахисні екрани для автомобільних доріг, які успішно пройшли механічні та акустичні випробування. Пропонуються різні типи шумозахисних екранів, зокрема шумовідбивні (прозорі та непрозорі) та шумопоглинаючі (непрозорі з наповнювачем) (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Конструктивні особливості екранів

Тип екрану	Конструктивні особливості
<p data-bbox="384 286 831 327">1. Шумопоглинаючі екрани</p> 	<p data-bbox="997 286 1511 882">Основним конструктивним елементом екрана є шумопоглинаюча панель. Панель виготовляють з оцинкованого металу або алюмінієвих сплавів товщиною 0,7 –1,2 мм з подальшим нанесенням полімерного покриття. Шумопоглинаюча панель може бути як без перфорації, так і з перфорованою передньою стінкою, що збільшує поглинаючу здатність. Панель має форму коробка і заповнюється мінеральною ватою.</p>
<p data-bbox="411 882 804 922">2. Шумовідбивні екрани</p> 	<p data-bbox="997 882 1511 1406">Основним конструктивним елементом екрану є шумовідбивна касета, яку виготовляють з акрилового скла або монолітного полікарбонату (з межею витривалості не менш 60 МПа та здатністю пропускати світло не менш 88%). Завдяки високій здатності пропускати світло, шумовідбивні екрани мають можливість огляду та перешкоджають виникненню тунельного ефекту.</p>
<p data-bbox="427 1406 788 1447">3. Комбіновані екрани</p> 	<p data-bbox="997 1406 1511 1603">Конструкція комбінованих екранів містить у собі шумопоглинальні панелі в сполученні з шумовідбивними касетами.</p>

Шумопоглинання залежить від типу екрану та використаних матеріалів. Ціна шумозахисних екранів залежить від багатьох факторів, таких як розміри, матеріали, умови встановлення та інші специфікації. Вартість повного комплексу робіт по спорудженню екрану даного типу висотою 3 м, становить 8,9 тис. грн. за метр погонний.

3.2.2 ТОВ «АТ Механіка»

ТОВ «АТ Механіка» спеціалізується на виробництві шумозахисних екранів для зниження шумового забруднення вздовж транспортних шляхів та в інших галузях. Згідно з дослідженням, рівень шумопоглинання панелей може сягати 28 дБА, а індекс ізоляції транспортного шуму становить 39 дБА. Вартість 4-метрового екрану становить приблизно 8 084 грн за погонний метр без ПДВ, що в перерахунку на квадратний метр складає близько 2 021 грн/м².

Шумопоглинання та індекс ізоляції транспортного шуму є різними характеристиками шумозахисних екранів, які визначають їх ефективність у боротьбі з шумом, але вимірюють різні аспекти цієї ефективності:

1. Шумопоглинання (Sound Absorption)

– суть: відображає здатність матеріалу або конструкції поглинати звукові хвилі, що досягають поверхні екрану.

– принцип: частина звукової енергії, яка потрапляє на екран, поглинається його матеріалом і перетворюється в теплову енергію.

– одиниці виміру: найчастіше визначається коефіцієнтом поглинання (від 0 до 1) або виражається в дБ.

– роль: зменшує рівень відбитого шуму в напрямку джерела або інших поверхонь, запобігаючи створенню «відлуння».

2. Індекс ізоляції транспортного шуму (Sound Transmission Loss, STL)

– суть: характеризує здатність екрану блокувати або ізолювати звукові хвилі, що проходять через нього.

– принцип: звук, який не відбивається або не поглинається, може проходити крізь конструкцію. Індекс ізоляції показує, наскільки ефективно екран запобігає цьому процесу.

– одиниці виміру: вимірюється в дБ, де більший індекс означає краще блокування звуку.

– роль: мінімізує проникнення шуму через екран на захищену територію (наприклад, до житлової зони).

Конструкція екранів складається з вертикально закріплених двотаврових балок або інших фіксуєчих елементів і встановлених в них акустичних перфорованих панелей. Панелі можливо установлювати в декілька рядів по висоті, табл. 3.2. Шумопоглинання екрану 30 дБА. Ціна 1026 грн за 1 м² панелі. Вартість повного комплексу робіт по спорудженню екрану даного типу висотою 4 м, становить 14,5 тис. грн. за метр погонний.

Таблиця 3.2 – Конструктивні особливості панелі

Тип панелі	Конструктивні особливості
	<p>Панелі представляють тришарову конструкцію, що складається з тонколистових металевих профілей – облицювань і середнього шару між ними; звукопоглинаючого пористо-волокнистого матеріалу з захисним шаром для запобігання випаданню волокон крізь перфоровані отвори і захисту волокна від зовнішніх дій.</p>

Облицювання виконують з перфорацією з однієї сторони панелей, або з обох сторін. Металеві облицювання мають повздовжні рельєфні поверхні для забезпечення жорсткості і виготовляються методом прокату. Між профілями встановлюються ребра жорсткості. З торців панелі закриваються торцевими кришками з гумовими ущільнювачами. Конструкція і розташування вертикально закріплених опор забезпечує фіксацію та утримання панелей.

В залежності від висоти екрану і його кліматичного розташування розраховується навантаження на екран за ДБН В.1.2-2, розмір фундаментних болтів для кріплення опор до поверхні або глибина закріплення опор в фундаменті, табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Основні розміри і технічні характеристики панелей

№ з/п	Найменування показника	Значення показника	
		Основне виконання	Додаткові варіанти
1	Довжина, L, мм	4000	1500, 2000, 3000
2	Висота, H, мм	975	500, 1105
3	Товщина, B, мм	130	
4	Індекс ізоляції повітряного шуму R_w , не менше, дБ	30	

3.2.3 Шумозахисні екрани «Саундлюкс»

Шумозахисні екрани «Саундлюкс» призначені для зниження рівня шуму вздовж автомобільних та залізничних шляхів, а також у промислових зонах (табл. 3.4). Шумопоглинання екранів може досягати значення до 33 дБА. Це означає, що екран може ефективно зменшувати рівень шуму до цього значення, залежно від його конструкції, типу використаних матеріалів і умов встановлення. Вартість 1 кв. м може варіюватися залежно від типу панелі та специфікацій.

Конструкція шумозахисних екранів «Саундлюкс» включає фундаментну частину, вертикальні несучі стійки і заповнення у вигляді спеціалізованих шумопоглинаючих або світлопрозорих панелей.

Висота і довжина екрана, а також конкретний тип застосовуваних шумопоглинаючих перфорованих панелей визначаються на підставі технічного завдання замовника, або на підставі вимірів фактичного рівня шуму від джерела і акустичних розрахунків.

Таблиця 3.4 – Конструктивні особливості панелі

Тип панелі	Конструктивні особливості
<p>Шумопоглинаюча перфорована панель</p> 	<p>Панель являє собою багат шарову конструкцію оптимально підібрану для вирішення питань захисту від шуму. Звукопоглинання до 90%, звукоізоляція до 33 дБ.</p>
<p>Антивандальна панель (без перфорації)</p> 	<p>Як і звуковбирна перфорована панель, є багат шаровою конструкцією. Істотною відмінністю є відсутність перфорованої обшивки на лицьовій стороні, що робить панелі більш стійкими до механічних пошкоджень. Як правило такі панелі розміщуються в першому ряду від землі або дорожнього полотна.</p>
<p>Світлопрозора панель</p> 	<p>Панелі становлять собою раму з оцинкованого металу, товщиною 2 мм, забарвлену в будь-який колір по каталогу RAL. У раму кріпиться заповнення з світлопрозорого матеріалу. Можливі варіанти: триплекс 4 + 4 мм зі скла або монолітний полікарбонат товщиною від 8 до 12 мм.</p>

Підводячи підсумки щодо порівняння шумозахисних екранів різних виробників, окрім вартісних факторів зверталася увага на показники, що наведені в табл. 3.3

Таблиця 3.3 – Основні відмінності шумопоглинання й індексу ізоляції

Характеристика	Шумопоглинання	Індекс ізоляції
Що вимірює?	Поглинання звукової енергії	Блокування проходження шуму
Джерело звуку	Відбитий звук	Прямий звук
Використання	Зменшення відлуння та рефлексії	Захист від проникнення шуму
Ціль	Комфорт джерела звуку	Комфорт за екраном

Якщо екран має високий коефіцієнт шумопоглинання (~28 дБА), це зменшить відлуння від дороги, але шум все одно може проходити через екран, якщо його індекс ізоляції низький.

Високий індекс ізоляції (~39 дБА) забезпечує тихе середовище за екраном, але може залишити проблему відбитого шуму, якщо шумопоглинання незначне.

Отже, оптимальний шумозахисний екран повинен мати збалансовані показники шумопоглинання та індексу ізоляції для максимальної ефективності залежно від конкретних умов.

З урахуванням вище викладеного, рекомендується встановлювати шумозахисні екрани висотою 4,0 м компанії «СВРОФОРМАТ».

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Охорона праці під час виконання робіт з монтажу захисних екранів

Під час монтажу будівельних конструкцій, виробів, трубопроводів і обладнання (далі – виконання монтажних робіт) необхідно передбачати заходи із запобігання негативному впливу на працівників таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- розташування робочих місць поблизу перепаду по висоті 1,3 м і більше;
- машини, що рухаються, їх робочі органи; переміщення конструкцій, матеріалів;
- обвалення елементів конструкцій будівель і споруд;
- падіння матеріалів, інструменту;
- виконання робіт у зоні поблизу повітряних ліній електропередачі;
- піднімання вантажів, вага яких перевищує вантажопідйомність механізмів;
- недостатня жорсткість конструкції, яка може призвести до її руйнування під час монтажу;
- перекидання машин, падіння їх частин;
- недостатня освітленість робочого місця;
- підвищена напруга в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини.

За наявності небезпечних і шкідливих виробничих факторів, зазначених у п.1), безпека монтажних робіт повинна бути забезпечена відповідно до цих Норм, рішень проектно-технічної документації (проект організації будівництва (ПОБ), проектів виробництва робіт (ПВР) тощо), зазначених заходів безпеки праці:

- точного визначення місця встановлення крана із зазначенням його марки, позначенням небезпечних зон під час його роботи, рис. 4.1;
- зазначення ваги вантажу, що піднімається;
- забезпечення безпеки робочих місць на висоті;

- визначення послідовності та забезпечення безпечного встановлення конструкцій;
- забезпечення стійкості конструкцій і частин будинку під час зведення;
- зазначення схем і способів укрупнювального складання елементів конструкцій.

Під час монтажних робіт безпеку праці необхідно забезпечувати з урахуванням вимог розділу 7 НПАОП 45.2-7.02-12 [15].



Рисунок 4.1 – Монтаж акустичних екранів

У робочій зоні монтажних робіт не допускається виконання інших робіт і перебування сторонніх осіб.

Фарбування й антикорозійний захист конструкцій і устаткування у випадках, коли це виконується на будівельному майданчику, необхідно робити до піднімання конструкцій на проектну позначку. Після піднімання зазначених конструкцій фарбування чи здійснення антикорозійного захисту допускається

виконувати тільки в місцях стиків і з'єднань конструкцій.

Розпакування і розконсервування обладнання, що підлягає монтажу, необхідно виконувати у зоні, відведеній відповідно до ПВР, і здійснювати на спеціальних стелажах чи прокладках висотою не менше ніж 100 мм. Під час розконсервування обладнання не допускається застосування інструментів і матеріалів із вибухо-пожежонебезпечними властивостями.

Стропування конструкцій і обладнання необхідно виконувати засобами, що забезпечують можливість дистанційного розстропування з робочого горизонту у разі, коли висота до замка вантажо-захоплювального засобу перевищує 2 м.

4.2 Заходи щодо зменшення впливу шуму на етапі реконструкції автомобільної дороги

Під час реконструкції автомагістралі в Рівненській області на ділянці км 360 – км 370, запроектованої з чотирма смугами руху відповідно до категорії 1а, передбачено низку заходів для зменшення впливу шуму на навколишнє середовище та мешканців прилеглих територій.

Основні заходи щодо зниження шумового впливу:

1. Встановлення шумозахисних екранів. Передбачено монтаж спеціальних бар'єрів уздовж ділянки дороги, особливо в місцях, де траса проходить поблизу житлових зон. Ці екрани ефективно знижують рівень шуму, що поширюється від дороги.

2. Використання шумопоглинаючих матеріалів. Під час будівництва дорожнього покриття та інших конструкцій застосовуються матеріали, здатні поглинати звукові хвилі, що сприяє зменшенню шумового навантаження.

3. Озеленення прилеглих територій. Планується висадка дерев та кущів уздовж дороги, що не лише покращує естетичний вигляд, але й слугує природним бар'єром для шуму.

4. Обмеження швидкісного режиму. У певних зонах можуть бути введені обмеження швидкості руху транспорту, що сприяє зниженню рівня шуму від транспортних засобів.

5. Регулярне обслуговування дорожнього покриття. Забезпечення належного стану дороги допомагає зменшити шум, який виникає через нерівності та пошкодження покриття.

Зазначені заходи відповідають сучасним стандартам та практикам зниження шумового впливу під час будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

Одним із суттєвих негативних наслідків є шумове забруднення. В умовах урбанізації найбільший внесок у шумове забруднення вносить шум, що розповсюджується від доріг, по яким щоденно рухаються тисячі автомобілів різного типу. Саме тому розробка методів та способів шумозахисту є надзвичайно важливою на сьогоднішній день (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд шумозахисних екранів

Як зазначено вище, для зменшення акустичного впливу на прилеглі території було встановлено сучасні шумозахисні екрани. Основні характеристики таких екранів:

– екрани виготовлялися з металу, полікарбонату, залізобетону, деревини та ПВХ. Також використовувалися зелені насадження, ґрунтові елементи та інші

композитні матеріали. Полікарбонатні конструкції забезпечують прозорість, що зменшує візуальний вплив на довкілля;

– висота екранів зазвичай становить 3-5 метрів, залежно від конкретної ділянки та рівня шуму. Екрани монтували на ділянках дороги біля населених пунктів, таких як Крилів, Грушвиця, Рівне та інші.

Такі екрани дозволили зменшити рівень шуму, створюваного транспортними засобами, і відповідають сучасним екологічним стандартам.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

На сьогоднішній день мережа автомобільних доріг України становить близько 170 тис. км. Одним із суттєвих недоліків сьогоденної автомобільної інфраструктури є шумове забруднення.

В кваліфікаційній магістерській роботі розглядаються заходи зниження шумового забруднення за рахунок встановлення шумозахисних конструкцій екранів (шумопоглинаючих, шумовідбиваючих та комбінованих).

Було розраховано рівні шуму від транспортних засобів і за отриманими результатами зроблено висновок, що шумове забруднення лінійно залежить від швидкості руху автомобілів та їх складу.

Відповідно до завдання в магістерській роботі досліджувалася робота автомагістралі в Рівненській області, зокрема ділянка км 360–км 370, яка запроєктована з чотирма смугами руху відповідно до категорії 1-а та забезпечує високий рівень пропускну здатності й безпеки руху. Покриття проїжджої частини – асфальтобетон.

Автомобільна дорога є джерелом шуму досить великого частотного діапазону. Для зниження рівня шуму на житлові будинки було прийняте рішення про встановлення шумозахисних екранів на проєктній ділянці.

На ділянці, що розглянута в роботі, було розраховано декілька варіантів шумозахисних конструкцій екранів з різною висотою. З розрахованих варіантів обраний варіант конструкції, який відповідає нормативним вимогам. Висота шумозахисних екранів складає 4 м, що дозволяє знизити рівень шуму від автотранспорту до 30 дБА.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. Київ, Мінрегіон України. 2014. – 42 с.
2. Traffic and Environment / [D. Gruden, W. Berg, K. Bormann et al.]. – Luxemburg, Springer, 2011 у. – 294 р.
3. Murphy E. Environmental Noise Pollution, Noise Mapping, Public Health and Policy // Murphy E., King E. – University of Hartford, CT, Elsevier Inc., 2014 у. – 282 р.
4. Методичні рекомендації щодо проведення акустичного розрахунку для автомобільних доріг загального користування : МР В.2.3- 03450778-865:2016 [Чинний від 2016-05-01]. – К., 2016. – 30 с.
5. Малишева В.В. Удосконалення методу визначення інгредієнтно параметричного забруднення автомобільних доріг та обґрунтування параметрів захисних екранів: дис. ...кан-та техн. наук. Харків, 2016. 154 с
6. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. ДБН В.2.3-4-2015. [Текст] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015.
7. Claudio Guarnaccia, T. Lenza, Nikos E Mastorakis J. Quartieri A Comparison between Traffic Noise Experimental Data and Predictive Models Results/International Journal of Mechanics 5(4) January 2011. – С. 379-386.
8. Заєць В. П. Методи визначення шуму транспортних потоків/ В.П. Заєць, В.С. Дідовський, М.В. Контар // Акустичний вісник. Київ, 2009. Т.12, №2. – С. 25-30.
9. Автомобільні дороги. Споруди шумозахисні. Вимоги до проектування: ГБН В.2.3-37641918-556:2015 [Чинний від 2015-12-01]. – К.: Мінінфраструктури України, 2015. – 30 с.
10. Anon, Calculation of Road Traffic Noise, London, United Kingdom Department of Environment and welsh Office Joint Publication, HMSO, 1975р.

11. ДБН В.1.1-31:2013 Захист територій, будинків і споруд від шуму. – Видання офіційне. – К.: Мінрегіон України, 2014
12. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. – Видання офіційне. – К.: Мінрегіон України, 2014
13. ДСТУ-Н Б В.1.1-35:2013 Настанова з проведення розрахунку шуму в приміщеннях і на територіях. – Видання офіційне. – К.: Мінрегіон України, 2013
14. Левчук І. В. Методи зниження шуму транспортних потоків на ділянці М03 Київ – Харків – Довжанський. Дипломна робота випускника ОКР магістр за спец. «Екологія та охорона навколишнього середовища». Київ, Нац. авіац. ун-т, 2021.- 123 с.
15. НПАОП 45.2-7.02-12 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення (ДБН). – Видання офіційне. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012. - С. 59 - 62

