Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
автотранспорту та логістики
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Обґрунтування заходів з організації дорожнього руху щодо підвищення безпеки руху на автошляхах

Виконав: студент 4 курсу, групи МН
спеціальності
275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
(шифр і назва спеціальності)

_____ Рудак П.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Аулін В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Рожко Н.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль 2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра автотранспорту та логістики
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 20___ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня **бакалавр**
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
(шифр і назва спеціальності)
студенту **Рудаку Павлу Віталійовичу**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування заходів з організації дорожнього руху щодо підвищення безпеки руху на автошляхах

Керівник роботи Аулін Віктор Васильович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджені наказом ректора від «*21*» *01* 2026 року № *4/9-32*
2. Термін подання студентом завершеної роботи 05.06.2026
3. Вихідні дані до роботи
Досліджувана ділянка автомобільної дороги Н-18 Івано-Франківськ – Бучач – Тернопіль у межах с. Струсів протяжністю близько 1,5 км зі складними геометричними параметрами (затяжний спуск до 5,5%, криві малого радіуса, обмежена видимість).

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат. Вступ. 1. Аналіз об'єкту дослідження (характеристика ділянки автомобільної дороги Н-18, оцінка умов руху, аналіз причин аварійності та моделювання швидкісних режимів).
2. Заходи із вдосконалення транспортного процесу (аналіз інтенсивності та складу транспортного потоку, розрахунок пропускної здатності, оцінка безпеки руху та обґрунтування інженерних рішень щодо її підвищення).
3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Загальні висновки.

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	*Аналіз об'єкту дослідження*	*До 03.02.26*	
2.	*Заходи із вдосконалення транспортного процесу*	*До 15.02.26*	
3.	*Безпека життєдіяльності, основи охорони праці*	*До 29.05.26*	
	Загальні висновки, презентація	*До 08.06.26*	

Студент _____ Рудак П.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Аулін В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі розглянуто обґрунтування інженерно-технічних заходів з організації дорожнього руху для підвищення безпеки на аварійно-небезпечній ділянці автошляху Н-18 Івано-Франківськ – Бучач – Тернопіль. Об'єктом дослідження є умови дорожнього руху та виникнення конфліктних ситуацій у транспортних потоках, а предметом – технічні заходи та засоби регулювання руху. Мета роботи полягає в інженерному обґрунтуванні рішень для ліквідації місць концентрації ДТП та стабілізації швидкості транспорту. Особливу увагу приділено детальному аналізу транспортно-експлуатаційних показників, зокрема інтенсивності, складу та годинної нерівномірності руху транспортних потоків на підходах до міста Тернополя. У процесі дослідження проаналізовано причини аварійності в системі «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище», оцінено показники стійкості автомобілів проти заносу й перекидання та змодельовано зміну швидкостей на перегонах. Оцінювання небезпеки дорожнього полотна та вузлів проведено за методами підсумкових коефіцієнтів аварійності В.Ф. Бабкова, коефіцієнтів безпеки та топологічного аналізу конфліктних взаємодій. На основі отриманих математичних моделей визначено конкретні координати геометричних елементів дороги, де водії найчастіше втрачають контроль над керуванням через незадовільний стан дорожньої інфраструктури. За результатами роботи розроблено комплексну схему організації руху на ділянці автошляху Н-18, що передбачає впровадження канализованих лівоповоротних з'їздів, напрямних острівців, оптимізацію розмітки та встановлення сучасних технічних засобів регулювання. Запропоновані проектні рішення дозволять оптимізувати траєкторії руху на перехрестях, мінімізувати кількість точок перетину потоків та забезпечити стабільний соціально-економічний ефект завдяки суттєвому зниженню рівня аварійності на магістралі.

Зміст

ВСТУП 5
1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ 6
1.1 Характеристика об'єкта дослідження та інженерно-геометричний аналіз ділянки автомобільної дороги Н-18 6
1.2 Огляд сучасних методів оцінки умов дорожнього руху та критеріїв безпеки 10
1.3 Аналіз домінуючих факторів та найчастіших причин виникнення ДТП .. 12
1.4 Моделювання зміни швидкостей руху транспортних засобів та розрахунок критеріїв поперечної стійкості на перегонах 17
1.5 Висновки до розділу 20
2. ЗАХОДИ ІЗ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ 21
2.1 Аналіз інтенсивності, складу та нерівномірності руху транспортних засобів на підході до с. Струсів 21
2.2 Розрахунок пропускної здатності та оцінка рівня завантаження геометричних елементів спуску 24
2.3 Моделювання лінійних графіків безпеки руху та оцінка ризиків аварійності 27
2.4 Обґрунтування комплексу інженерних рішень та рекомендацій щодо вдосконалення транспортного процесу 32
2.5 Висновки до розділу 36
3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ 37
3.1 Аналіз умов праці та виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів при організації дорожнього руху 37
3.2 Технічні та організаційні заходи із гарантування безпеки праці під час виконання дорожніх робіт 43
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 48

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку економіки України вдосконалення організації дорожнього руху є ключовим чинником забезпечення мобільності населення, зниження аварійності та стабільності магістральної інфраструктури. Від якості роботи технічних засобів регулювання та геометричних параметрів автошляхів безпосередньо залежить ефективність міжрегіональних транспортних зв'язків. Тому дослідження процесів управління безпекою руху та розробка інженерних заходів на небезпечних ділянках є актуальним завданням транспортної науки.

В умовах воєнного стану, підвищеного навантаження на логістичні коридори та зростання інтенсивності руху транзитного транспорту дорожні служби змушені шукати нові підходи до організації своєї діяльності. Традиційні методи облаштування доріг часто не враховують реальні швидкісні коливання потоків протягом доби, критичні умови стійкості автомобілів на кривих малого радіуса, а також аналітичні можливості сучасних методів моделювання конфліктних взаємодій.

Автомобільна дорога загального користування державного значення Н-18 Івано-Франківськ – Бучач – Тернопіль є однією з важливих магістралей Західного регіону України. Досліджувана у роботі аварійно-небезпечна ділянка на підходах до міста Тернополя характеризується складними геометричними елементами у плані та поздовжньому профілі, значною щільністю потоку і виникненням місць концентрації дорожньо-транспортних пригод. Актуальність обраної теми зумовлена соціально-економічною значущістю безпеки дорожнього руху та потребами вдосконалення транспортної системи України в умовах євроінтеграції. Запропоновані у роботі інженерні рішення мають практичну цінність і можуть бути використані дорожньо-експлуатаційними організаціями та Службами відновлення та розвитку інфраструктури в обласних центрах України.

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Характеристика об'єкта дослідження та інженерно-геометричний аналіз ділянки автомобільної дороги Н-18

Для проведення комплексного аналізу умов дорожнього руху, оцінки безпеки транспортних потоків та обґрунтування подальших інженерно-технічних заходів у межах кваліфікаційної роботи було обрано одну з найбільш складних та аварійно-небезпечних ділянок автомобільної дороги загального користування державного значення Н-18 Івано-Франківськ – Бучач – Тернопіль. Ця магістраль є важливою складовою транспортної інфраструктури Західного регіону України, оскільки забезпечує пряме сполучення між Тернопільською та Івано-Франківською областями, а також виконує функцію магістрального підходу до обласного центру з південно-західного напрямку.

Рисунок 1.1 – Схема розташування автомобільної дороги державного значення Н-18 на карті магістральних автошляхів України.

Відповідно до чинної класифікації та будівельних норм ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги», зазначена автомобільна дорога за своїм значенням та технічними параметрами відноситься до ІІ (другої) технічної категорії. Нормативні параметри для доріг цієї категорії передбачають наявність двох смуг руху із загальною шириною проїзної частини сім цілих і нуль десятих метра, а також наявність облаштованих узбіч завширшки три метра. Тип дорожнього покриття на вказаному маршруті – капітальний із вдосконаленим асфальтобетонним покриттям.

Об'єктом безпосереднього інженерно-транспортного дослідження та геометричного аналізу у цій роботі є локальний відрізок магістралі Н-18 протяжністю півтора кілометра, розташований у межах населеного пункту Струсів (Микулинецька селищна громада, Тернопільський район). Проектування та будівництво цього відрізка свого часу здійснювалося в умовах надзвичайно складного пересіченого рельєфу (глибока долина річки Серет, оточена пагорбами та скельними виходами), що зумовило появу низки просторово несумісних інженерно-геометричних елементів.

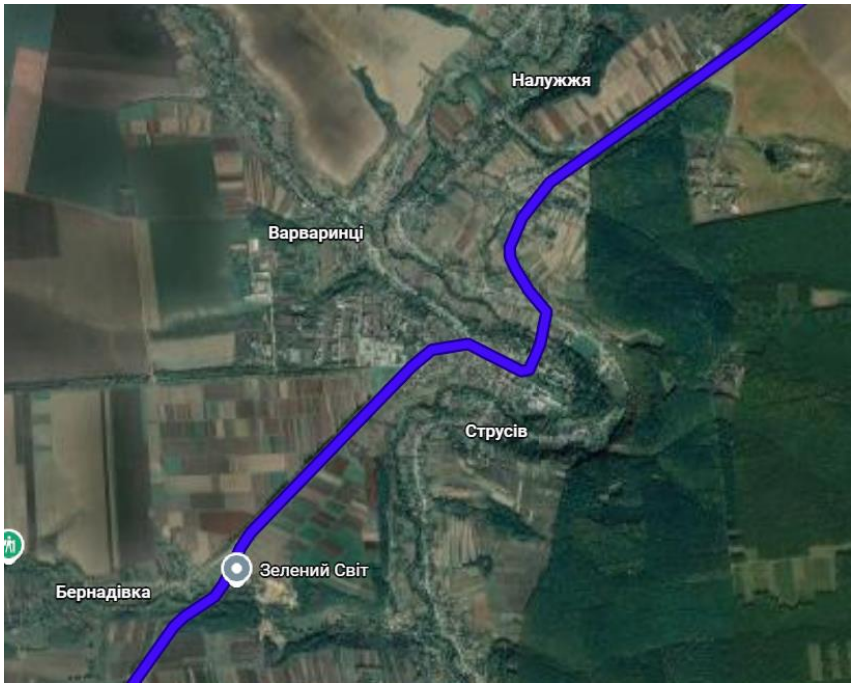

Рисунок 1.2 – Супутниковий знімок досліджуваної ділянки автошляху Н-18 у межах села Струсів

Покроковий аналіз плану та поздовжнього профілю траси дозволив виділити характерні етапи:

1. Початковий етап – підхід до населеного пункту з боку міста Тернополя. На цьому відрізку дорога виходить із відносно рівного плато і починає стрімко переходити у затяжний поздовжній спуск у напрямку русла річки. Поздовжній ухил на цій ділянці є затяжним і наближається до гранично допустимих значень для другої технічної категорії, що за умов інтенсивного руху вантажних транспортних засобів та автопоїздів викликає вимушене тривале використання гальмівних систем для стримування накату вантажу.

Центральний етап – зона серпантину, найбільш критичний та інженерно складний елемент усього об'єкта дослідження. Тут триваючий затяжний спуск безпосередньо поєднується у просторі з крутим затяжним вигином траси у плані (S-подібний серпантинний поворот із малим радіусом кривої). Складність геометричних елементів посилюється місцевими топографічними умовами: дорога затиснута між штучною виїмкою у скелястому ґрунті пагорба з одного боку та історичною капітальною забудовою (зокрема, будівлею костелу св. Антонія) з іншого. Таке просторове поєднання створює суворий дефіцит як видимості поверхні дороги, так і видимості зустрічного транспортного засобу.

3. Етап штучної споруди – зона виходу з крутого повороту та безпосередній підхід до мостового переходу через річку Серет. Штучна споруда (міст) має обмеженіші габарити порівняно зі стандартною шириною земельного полотна на перегоні. Це створює раптове звуження штучного коридору руху. Водій, перебуваючи під психофізіологічним навантаженням після проходження серпантину, змушений миттєво коригувати траєкторію руху та динаміку гальмування автомобіля, щоб безпечно вписатися у габарити мосту.

4. Завершальний етап – відрізок траси після проходження мостового переходу, що характеризується поступовим вирівнюванням траєкторії руху

(вихід на пряму ділянку) та переходом у поздовжній підйом у напрямку міста Бучач.

Рисунок 1.3 – Візуальний огляд обмеження видимості на кривій в плані (район історичної забудови с. Струсів).

Досліджувана ділянка автошляху Н-18 у селі Струсів характеризується високою змішаною інтенсивністю руху протягом усієї доби. Особливістю транспортного потоку є значна частка важких транзитних вантажних автомобілів, лісовозів, сільськогосподарської техніки та багатовісних автопоїздів, які рухаються між областями. Невідповідність історичного плану траси сучасним швидкісним режимам, складний рельєф, наявність сліпих зон та звуження біля мосту роблять цей півторакілометровий відрізок об'єктивним місцем підвищеного ризику та потенційної аварійності, що потребує детального перерахунку параметрів ОДР за допомогою математичних методів.

1.2 Огляд сучасних методів оцінки умов дорожнього руху та критеріїв безпеки

Забезпечення надійності та безпеки функціонування системи «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище» потребує застосування об'єктивних методів оцінки умов дорожнього руху. В інженерній практиці організації та регулювання дорожнього руху вибір методів аналізу визначається архітектурно-планувальними та геометро-топографічними особливостями досліджуваних об'єктів. Для оцінки якості умов руху та виявлення потенційно небезпечних ділянок на автомобільних дорогах загального користування використовуються три базові теоретико-методологічні підходи: метод коефіцієнтів аварійності, метод коефіцієнтів безпеки та метод конфліктних ситуацій (точок).

Метод коефіцієнтів аварійності ($K_{\text{ав}}$) є одним із найбільш поширених нормативних підходів в Україні, регламентованих відомчими будівельними нормами ВБН В.2.3-218-007-98. В основі методу покладено аналітичне визначення відносного показника аварійності на основі техніко-експлуатаційних та інженерних параметрів плану, поздовжнього та поперечного профілів дороги, а також елементів її облаштування. Підсумковий коефіцієнт аварійності обчислюється як добуток часткових коефіцієнтів, кожен з яких характеризує ступінь небезпеки окремого геометричного або транспортного фактора:

$$K_{\text{ав}} = \prod_{i=1}^{n} K_i \tag{1.1}$$

де K_i– часткові коефіцієнти, що враховують вплив інтенсивності руху, ширини проїзної частини та узбіч, радіусів кривих у плані, поздовжніх

ухилів, відстані видимості, наявності перехресть, штучних споруд та стану покриття. Отримане підсумкове значення порівнюється з нормативними критичними межами. Ділянки, де підсумковий коефіцієнт перевищує встановлене порогове значення (для доріг II категорії критичним є $K_{\text{ав}} > 40$), офіційно класифікуються як дуже небезпечні або місця концентрації дорожньо-транспортних пригод. Головна перевага цього методу полягає у можливості виконання превентивного (попереджувального) аналізу безпеки руху без безпосереднього залучення статистичних баз даних патрульної поліції, що базується суто на інженерній геометрії споруди.

Метод коефіцієнтів безпеки ($K_{\text{б}}$), розроблений професором В. Ф. Бабковим, базується на психофізіологічних особливостях сприйняття дорожнього середовища водієм і оцінці однорідності швидкісного режиму транспортного потоку. Коефіцієнт безпеки визначається як відношення швидкості руху, яку забезпечує найменш сприятлива (ізольована) ділянка дороги (V_{min}), до максимальної швидкості в'їзду на неї з попереднього суміжного перегону (V_{max}).

$$K_{\text{б}} = \frac{V_{min}}{V_{max}} \tag{1.2}$$

Графічне моделювання епюри швидкостей за цим методом дозволяє наочно оцінити ступінь примусового уповільнення транспортних засобів перед складними елементами плану та профілю. Критерієм безпеки є стабільність швидкості: якщо $K_{\text{б}} \geq 0{,}8$, умови руху вважаються безпечними, оскільки зміна швидкісного режиму є плавною і прогнозованою для водія. Якщо $K_{\text{б}} < 0{,}4$, ділянка класифікується як аварійно-небезпечна «зона раптового гальмування», оскільки водій змушений миттєво знижувати швидкість більш ніж удвічі, що в умовах руху важкого змішаного потоку призводить до втрати стійкості автомобілів та виникнення конфліктів.

Метод конфліктних ситуацій та конфліктних точок застосовується

переважно для оцінки безпеки руху в зонах перехресть, транспортних розв'язок, примикань та пішохідних переходів. Конфліктна точка виникає у місцях, де траєкторії руху окремих транспортних засобів або пішоходів перетинаються, розділяються або зливаються. Залежно від характеру взаємодії потоків конфліктні точки поділяються на три основні типи:

- точки відхилення (розгалуження потоків);
- точки злиття (переплетення потоків);
- точки перетину (найбільш небезпечні, де траєкторії перетинаються під кутом).

Ступінь небезпеки вузла чи ділянки визначається за допомогою умовних індексів складності (наприклад, метод КНДІ або метод системного аналізу конфліктів), де кожному типу точки присвоюється певний бал небезпеки. Сумарна бальна оцінка дозволяє кількісно визначити рівень аварійної небезпеки вузла ОДР та розробити заходи щодо каналізування потоків за допомогою острівців безпеки, спрямовуючих ліній розмітки та світлофорного регулювання.

У межах цієї кваліфікаційної роботи для детального аналізу умов руху на серпантинній ділянці автомобільної дороги Н-18 доцільно застосувати комбінацію методу коефіцієнтів аварійності та методу коефіцієнтів безпеки. Це дозволить математично змоделювати зміну швидкісного режиму та потенційні ризики на кожному пікеті, враховуючи специфіку важкого транзитного транспорту на затяжному спуску.

1.3 Аналіз домінуючих факторів та найчастіших причин виникнення ДТП

Ділянка автомобільної дороги державного значення Н-18 у межах Струсівського спуску історично відноситься до аварійно-небезпечних відрізків магістральної мережі Тернопільської області. Високий рівень потенційної

аварійності та виникнення дорожньо-транспортних пригод на цьому півторакілометровому відрізку обумовлені складним поєднанням декількох домінуючих факторів, які безпосередньо впливають на стабільність функціонування системи «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище». За класифікацією причин аварійності, ключові деструктивні чинники на досліджуваному об'єкті розподіляються на три основні групи: геометрично-топографічні, транспортно-динамічні та погодно-кліматичні.

Геометрично-топографічні фактори є базовою передумовою виникнення конфліктних ситуацій. Головною проблемою Струсівського серпантину є просторове суміщення поздовжнього спуску (ухилу) з кривою в плані малого радіуса. Відповідно до законів механіки руху, під час проходження такого елемента на транспортний засіб одночасно діють два дестабілізуючі вектори сил: додаткове прискорення від сили тяжіння на спуску та поперечна відцентрова сила, що прагне змістити автомобіль із траєкторії повороту. Ситуація критично ускладнюється суворим дефіцитом бокової та поздовжньої видимості. Скельні виходи пагорбів та щільна історична забудова (зокрема, будівля костелу святого Антонія, розташована в безпосередній близості до проїзної частини) утворюють «сліпу зону». Водій, який рухається на спуск, позбавлений можливості завчасно оцінити дорожню обстановку за поворотом, що унеможливлює своєчасне прогнозування дій зустрічного чи попутного транспорту.

Транспортно-динамічні чинники пов'язані зі специфікою складу та поведінки транспортного потоку на підходах до села Струсів. Траса Н-18 характеризується високим відсотком важкого транзитного транспорту, багатовісних автопоїздів, лісовозів та сільськогосподарської техніки. Під час тривалого руху на затяжному спуску водії важких вантажних автомобілів змушені безперервно застосовувати робочі гальмівні системи для стримування накату причепів. Це призводить до критичного термічного та динамічного навантаження на гальмівні колодки та диски (ефект «фрикційного перегріву»), внаслідок чого ефективність гальмування стрімко падає аж до повної відмови

системи.

Втрата контролю над важкою машиною на спуску неминуче призводить до її перекидання на крутому вигині серпантину або до виїзду на смугу зустрічного руху, що спричиняє ДТП із важкими наслідками. Водночас виникає суттєва неоднорідність швидкостей: легкові автомобілі природно прискорюються на спуску, наздоганяють повільні вантажівки і водії, втрачаючи терпіння, починають виконувати небезпечні маневри обгону в умовах обмеженої видимості.

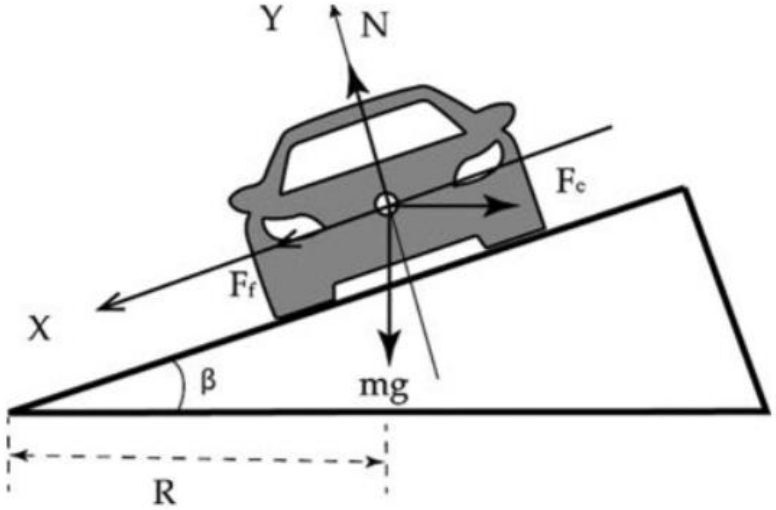

Рисунок 1.4 – Схема дії динамічних сил на транспортний засіб у межах кривої в плані на затяжному спуску.

Погодно-кліматичні фактори та стан покриття завершують комплекс передумов аварійності. Через те, що серпантин затиснутий у глибокій долині річки Серет між скельними масивами та високими деревами, ця ділянка має специфічний мікроклімат. Проїзна частина тут тривалий час перебуває у затінку, що перешкоджає швидкому висиханню асфальтобетонного покриття після дощу. У зимовий та перехідний періоди року (під час заморозків та туманів з річки) на Струсівському спуску значно раніше і набагато довше утримується локальна ожеледиця або «чорний лід», який водій візуально не в змозі вчасно ідентифікувати. Раптове зниження коефіцієнта зчеплення коліс із покриттям у момент проходження крутого повороту під дією відцентрової сили миттєво викликає боковий занос, втрату керованості та викидання

автомобіля за межі дорожнього полотна (у кювет або в огородження мостового переходу). Додатковим небезпечним фактором є раптове звуження штучного коридору руху перед мостом через річку Серет одразу після виходу з кривої.

Яскравим підтвердженням критичного впливу описаних факторів є офіційні хроніки дорожньо-транспортних пригод на зазначеному відрізку траси Н-18 у селі Струсів. Резонансні ДТП, зафіксовані у звітах Патрульної поліції Тернопільської області, чітко ілюструють механіку відмови техніки та втрати контролю через складну геометрію серпантину.

Типовим прикладом є масштабні аварії за участю важкої спецтехніки чи вантажних автомобілів, які рухаються на спуск у напрямку мосту. Через затяжний характер спуску та велику вагу машини відбувається критичний перегрів робочої гальмівної системи. Некерована багатотонна машина на великій швидкості входить у крутий поворот серпантину, де під дією відцентрової сили втрачає стійкість, зносить металеве бар'єрне огородження та перекидається на бік, повністю блокуючи рух автошляхом.

Характерні випадки часто виникають із вантажними автомобілями з напівпричепами (автопоїздами). Під час проходження крутого вигину дороги біля підніжжя скельного масиву в умовах вологого покриття або ожеледиці, задню вісь напівпричепа починає зносити на смугу зустрічного руху під дією бокових сил. Внаслідок цього відбувається неконтрольоване складання автопоїзда (ефект «ножиць»), виїзд на зустрічну смугу та зіткнення з транспортними засобами, що рухаються на підйом з боку мосту.

Неодноразово фіксувалися ДТП за участю легкового транспорту безпосередньо на повороті біля будівлі костелу святого Антонія. Водії, перевищуючи безпечну швидкість на спуску, через обмежену геометрією виробок та споруд видимість занадто пізно помічають транспортні засоби, що гальмують попереду перед звуженням мосту або здійснюють маневр лівого повороту в житлову забудову села. Це призводить до виникнення аварійних ситуацій за типом «ланцюгової реакції».

Рисунок 1.5 – Приклади наслідків дорожньо-транспортних пригод у с. Струсів

Таким чином, аварійність на даній ділянці є прямим наслідком невідповідності геометричних параметрів наявного рельєфу сучасним швидкісним та ваговим характеристикам транспортних потоків. Описані чинники та реальні приклади доводять, що Струсівський спуск потребує впровадження жорстких засобів регулювання та капітального перегляду поточної схеми організації дорожнього руху.

1.4 Моделювання зміни швидкостей руху транспортних засобів та розрахунок критеріїв поперечної стійкості на перегонах

Оцінка умов дорожнього руху та безпеки транспортних потоків на геометрично складних ділянках не може обмежуватися лише статичним аналізом плану та профілю дороги. Найбільш об'єктивні результати дає динамічне моделювання зміни швидкостей руху транспортних засобів на перегонах у поєднанні з розрахунком критеріїв їхньої поперечної стійкості. Швидкість руху є інтегральним показником, який відображає якість дорожніх умов, психофізіологічний стан водія та технічні можливості автомобіля. На ділянках автомобільної дороги Н-18 із затяжними спусками та серпантинами швидкісний режим потоку зазнає суттєвих коливань та різкої поляризації.

Математичне моделювання швидкісних режимів здійснюється шляхом побудови лінійних графіків швидкостей руху для різних типів транспортних засобів (переважно для розрахункового легкового та розрахункового вантажного автомобіля). Зміна швидкості автомобіля на перегоні описується диференціальним рівнянням руху, в основі якого покладено баланс потужності та сил опору:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{g}{\delta} \cdot (D \mp \psi) \tag{1.3}$$

де V – швидкість руху транспортного засобу (м/с); g – прискорення вільного падіння (g = 9,81 м/с²); δ – коефіцієнт обліку обертових мас автомобіля (враховує інерцію коліс та двигуна); D – динамічний фактор автомобіля (характеризує питому вільну силу тяжіння на колесах); ψ – сумарний коефіцієнт чинення опору дорожнього середовища, який визначається як:

$$\psi = f \mp i \tag{1.4}$$

тут f – коефіцієнт опору коченню коліс, а i – поздовжній ухил дороги (знак «+» приймається під час руху на підйом, знак «-» — під час руху на спуск).

На затяжному Струсівському спуску в процесі моделювання виявляється критична неоднорідність швидкісного режиму транспортного потоку. Легкові автомобілі, маючи високу питому потужність та ефективні дискові гальмівні системи, мають природну тенденцію до прискорення на спуску. Натомість водії важких транзитних автопоїздів, лісовозів та фур, усвідомлюючи небезпеку перегріву гальм та ризик втрати стійкості на серпантині, змушені штучно та суттєво знижувати швидкість руху ще на підході до початку спуску.

Для аналітичного визначення безпечних режимів руху у межах геометрично складних елементів серпантину ключове значення має розрахунок ризиків виникнення бокового ковзання (заносу) або повного перекидання транспортного засобу назовні кривої.

Критична швидкість руху автомобіля за умовою виникнення бокового заносу ($V_{\text{зан}}$, км/год) визначається з умов рівноваги між поперечною відцентровою силою та силами зчеплення шин з дорожнім покриттям:

$$V_{\text{зан}} = 3{,}6 \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot (\phi_{\text{п}} \pm i_{\text{п}})} \tag{1.5}$$

де R – радіус кривої в плані (м); $\phi_{\text{п}}$ – коефіцієнт поперечного зчеплення шин з покриттям, який критично залежить від стану та вологості асфальтобетону; $i_{\text{п}}$ – поперечний ухил проїзної частини або віражу.

Якщо фактична швидкість транспортного засобу, змодельована за допомогою диференціальних рівнянь руху, перевищує значення $V_{\text{зан}}$, сила зчеплення коліс з дорогою стає недостатньою, і автомобіль втрачає керованість.

Для важких вантажних автомобілів, що мають високе розташування вантажу, найбільш небезпечним деструктивним фактором є втрата стійкості проти перекидання. Критична швидкість за цією умовою ($V_{\text{пер}}$, км/год) розраховується за формулою:

$$V_{\text{пер}} = 3{,}6 \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot (\frac{B}{2 \cdot h_{\text{ц}}} \pm i_{\text{п}})}$$

деB– ширина колії автомобіля (м);$h_{\text{ц}}$– висота центра мас транспортного засобу над поверхнею проїзної частини з урахуванням маси вантажу (м).

Аналіз наведених залежностей показує, що для легкових автомобілів критичною майже завжди є швидкість заносу ($V_{\text{зан}} < V_{\text{пер}}$), проте для завантажених магістральних автопоїздів, що спускаються Струсівським спуском, через високе розташування центра мас критичною стає саме швидкість перекидання ($V_{\text{пер}} \leq V_{\text{зан}}$).

Внаслідок дії цих факторів на досліджуваній ділянці виникає небезпечний діапазон диференціації швидкостей (різниця швидкостей між попутними машинами у потоці може перевищувати 40–50 км/год). Моделювання дозволяє чітко локалізувати зони, де цей розрив є найбільшим, і де водії легких машин починають здійснювати ризиковані маневри обгону в умовах обмеженої видимості.

Результати сумісного моделювання швидкісних профілів та розрахунку критичних швидкостей стійкості для конкретних параметрів Струсівського серпантину автошляху Н-18 у подальших розрахункових розділах проекту стануть математичним фундаментом для розробки нової, оптимізованої схеми організації дорожнього руху. Це дозволить теоретично обґрунтувати зони заборони обгону, впровадження засобів заспокоєння руху (шумові смуги, острівці безпеки) та місця встановлення відповідних дорожніх знаків.

1.5 Висновки до розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз стану організації дорожнього руху та безпеки на критичній ділянці автомобільної дороги Н-18 у межах села Струсів. Встановлено, що цей відрізок має вкрай складні топографічні умови, оскільки пролягає у глибокій долині річки Серет і характеризується затяжним спуском з поздовжніми ухилами, які перевищують нормативні показники для доріг другої технічної категорії. Додатковими деструктивними факторами є наявність серпантину з кривими малих радіусів та обмежена видимість зустрічної смуги, зумовлена історичною забудовою костелу Святого Антонія і нависаючими скельними масивами. Існуюча схема організації руху на спуску є застарілою, а дислокація знаків, огороджень та стан розмітки не забезпечують належного інформаційного навантаження на водіїв в умовах підвищеної вологості й туманів.

Особливу увагу приділено дослідженню статистики ДТП на Струсівському спуску, що дозволило класифікувати його як стійку зону концентрації аварій з високою тяжкістю наслідків. Основними типами пригод тут є лобові зіткнення та перекидання великовагових автопоїздів. Фізика перекидання вантажівок пов'язана з перегрівом і відмовою гальм на спуску, що призводить до накопичення кінетичної енергії та дії критичної відцентрової сили на віражі. Лобові зіткнення провокуються великим швидкісним різнобоєм у потоці, коли водії легкових автомобілів змушені виконувати ризикований обгін фур в умовах дефіциту видимості. Світовий досвід доводить, що традиційні пасивні методи регулювання руху тут вичерпали ефективність. Це обґрунтовує необхідність переходу до комплексного проектування системи «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище» з використанням інструментів примусової каналізації потоків, оптимізації зчіпних якостей покриття та створення технологічних зон для вантажівок, що формує вихідну базу для розрахунків у другому розділі.

2. ЗАХОДИ ІЗ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Аналіз інтенсивності, складу та нерівномірності руху транспортних засобів на підході до с. Струсів

Для обґрунтування інженерних рішень щодо вдосконалення транспортного процесу та підвищення безпеки руху на Струсівському спуску автомобільної дороги Н-18 першочерговим завданням є детальне дослідження характеристик транспортного потоку. Основними параметрами, які визначають навантаження на дорожню мережу, режим роботи водіїв та рівень аварійної небезпеки, є середньодобова інтенсивність руху, якісний (транспортний) склад потоку, а також його часова нерівномірність.

Інтенсивність руху (N , авт./добу) є базовим показником, що характеризує обсяг транспортної роботи на ділянці. Оскільки збір натурних даних у межах кваліфікаційної роботи здійснювався методом короткочасних спостережень та обліку руху у пікові періоди, приведення годинних обсягів руху до середньодобової інтенсивності виконується за стандартною інженерною методикою:

$$N = N_{\text{год}} \cdot \frac{24}{K_{\text{доб}}} \cdot K_{\text{сез}} \qquad (2.1)$$

де $N_{\text{год}}$ – фактична годинна інтенсивність руху, зафіксована під час натурних вимірювань (авт./год); $K_{\text{доб}}$ – коефіцієнт добової нерівномірності (частка годинного потоку «пік» від добового обсягу); $K_{\text{сез}}$ – коефіцієнт сезонної нерівномірності, який враховує коливання інтенсивності руху за місяцями року.

Для ділянки автошляху Н-18, яка є важливою транзитною артерією, що

з'єднує Тернопільську та Івано-Франківську області, за вихідні розрахункові дані в межах проекту приймається перспективна середньодобова інтенсивність руху на рівні $N = 6800$ авт./добу.

Важливим фактором, що безпосередньо дестабілізує транспортний процес на затяжному спуску в селі Струсів, є склад транспортного потоку. Через специфіку маршруту (транспортування будівельних матеріалів з кар'єрів, лісопродукції, аграрної продукції та інших вантажів), у потоці спостерігається аномально висока частка важких та великовагових транспортних засобів. Для проведення подальших розрахунків пропускної здатності та моделювання швидкостей, склад транспортного потоку на досліджуваній ділянці диференційовано за типами та зведено у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Структурний склад транспортного потоку на ділянці автошляху Н-18 у с. Струсів

Тип транспортного засобу	**Частка у потоці, %**	**Коефіцієнт приведення до легкового автомобіля ($K_{\text{прив}}$)**
Легкові автомобілі	55	1,0
Легкі вантажні та мікроавтобуси	12	1,5
Вантажні автомобілі середньої вантажопідйомності (двовісні)	10	2,0
Важкі вантажні автомобілі та тривісні самоскиди	8	2,5
Автопоїзди, сідельні тягачі з напівпричепами (фури, лісовози)	12	3,5
Автобуси (середньої та великої місткості)	3	2,5
Разом	100	—

Враховуючи різнорідність складу, для оцінки реального впливу потоку на геометричні елементи дороги здійснюється перерахунок фізичних транспортних засобів у приведені одиниці ($N_{\text{прив}}$, авт./добу) за формулою:

$$N_{\text{прив}} = \sum_{i=1}^{m} N_i \cdot K_{\text{прив}.i} \quad (2.2)$$

де N_i– чисельність транспортних засобів і-го типу, а $K_{\text{прив}.i}$– відповідний нормативний коефіцієнт приведення згідно з ДБН В.2.3-4:2015 (наведений у табл. 2.1). Висока частка важких автопоїздів (12%) та вантажівок (18%) з високими коефіцієнтами приведення суттєво збільшує еквівалентне навантаження на спуск, створюючи передумови для утворення заторів та швидкого руйнування дорожнього полотна.

Часова нерівномірність руху аналізується через визначення годинних обсягів у провідних напрямках. На підході до населеного пункту Струсів чітко виділяються два періоди пікового навантаження: ранковий «пік» та пообідній/вечірній «пік».

Коефіцієнт годинної нерівномірності ($K_{\text{год}}$), що визначає відношення максимальної годинної інтенсивності ($\text{N}_{\text{год.max}}$), до добової, розраховується як:

$$K_{\text{год}} = \frac{\text{N}_{\text{год.max}}}{N} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

Для досліджуваної ділянки значення $K_{\text{год}}$становить близько 9,5-10,5%, що свідчить про високу концентрацію транспортного навантаження у денний час. Невідповідність геометричних параметрів серпантину (малі радіуси, затяжний спуск) у ці пікові години призводить до різкого падіння швидкості всього потоку до рівня швидкості найповільнішого вантажного автомобіля, що штучно знижує ефективність транспортного процесу та провокує водіїв на порушення правил обгону.

2.2 Розрахунок пропускної здатності та оцінка рівня завантаження геометричних елементів спуску

Ефективність транспортного процесу на магістральних автошляхах визначається їхньою спроможністю пропускати задані обсяги рухомого складу із високими швидкісними показниками та належним рівнем безпеки. Для локалізації ділянок, де виникає критичне перевантаження дорожньої інфраструктури, виконується розрахунок фактичної пропускної здатності геометричних елементів Струсівського спуску автомобільної дороги Н-18.

Відповідно до нормативних вимог ДБН В.2.3-4:2015, теоретична (максимальна) пропускна здатність однієї смуги руху автомобільної дороги другої технічної категорії за ідеальних геометричних, транспортних та погодних умов становить $P_0 = 2000$ привед. авт./год. З урахуванням двосмугового поперечного профілю траси, загальна теоретична пропускна здатність перегону становить $P_{\text{теор}} = 4000$ привед. авт./год в обох напрямках.

Проте реальні умови руху на досліджуваній ділянці суттєво відрізняються від ідеальних. Фактична пропускна здатність ($P_{\text{факт}}$, авт./год) для кожного специфічного геометричного елемента спуску розраховується шляхом послідовного зниження теоретичного значення за допомогою системи підсумкових коефіцієнтів:

$$P_{\text{факт}} = P_{\text{теор}} \cdot \prod_{i=1}^{5} \beta_i = P_{\text{теор}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_4 \cdot \beta_5 \qquad (2.4)$$

де β_1, β_2, β_3, β_4, β_5 – коефіцієнти зниження пропускної здатності, які враховують вплив конкретних дорожніх факторів (регламентовані ДБН В.2.3-4:2015):

- β_1 – коефіцієнт, що враховує ширину смуги руху та ширину укріпленої частини узбіччя;
- β_2– коефіцієнт впливу складу транспортного потоку (наявність важкого

транзитного транспорту);

- β_3 – коефіцієнт впливу поздовжнього затяжного спуску (у умовному напрямку на спуск);
- β_4 – коефіцієнт впливу кривої в плані малого радіуса (зона серпантину);
- β_5 – коефіцієнт впливу обмеження видимості та звуження коридору руху перед мостом.

Для виконання інженерного аналізу та порівняння параметрів ділянки, півторакілометровий відрізок (від ПК 0+00 до ПК 15+00) розділено на три характерні розрахункові зони, для кожної з яких за нормативними таблицями визначено коефіцієнти зниження та обчислено фактичну пропускну здатність.

Зона А: Підхід до спуску (ПК 0+00 – ПК 5+00). Характеризується початком спуску. Параметри: ширина проїзної частини – 7,0 м, ухил до 4%.

- Коефіцієнти: β_1 = 0,90; β_2= 0,82 (через 30% вантажівок у потоці); β_3 = 0,88 (вплив ухилу); β_4= 1,0 (пряма ділянка); β_5= 0,95.
- Підсумковий коефіцієнт:$\prod \beta_i = 0{,}90 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}88 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}95 \approx 0{,}617.$
- $P_{\text{факт.}A} = 4000 \cdot 0{,}617 = 2468$ привед. авт./год.

Зона Б: Критична зона серпантину та костелу (ПК 5+00 – ПК 11+00). Найбільш складна геометрія, де спуск 5,5% поєднується з радіусом кривої R<100 м та дефіцитом видимості через будівлю костелу і скелі.

- Коефіцієнти: β_1 = 0,90; β_2 = 0,72 (різке уповільнення важких фур на віражі); β_3 = 0,80 (крутий спуск); β_4 = 0,65 (малий радіус кривої); β_5 = 0,55 (критичний дефіцит видимості).
- Підсумковий коефіцієнт: $\prod \beta_i = 0{,}90 \cdot 0{,}72 \cdot 0{,}80 \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}55 \approx 0{,}185.$
- $P_{\text{факт.Б}} = 4000 \cdot 0{,}185 = 740$ привед. авт./год.

Зона В: Зона мостового переходу через р. Серет (ПК 11+00 – ПК 15+00). Раптове звуження габаритів штучної споруди.

- Коефіцієнти: β_1 = 0,75 (звуження мосту); β_2 = 0,80; β_3 = 0,95 (вирівнювання ухилу); β_4 = 0,90; β_5 = 0,70 (вплив оптичного коридору мосту).

- Підсумковий коефіцієнт: $\prod \beta_i = 0{,}75 \cdot 0{,}80 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}70 \approx 0{,}359$.
- $P_{\text{факт.В}} = 4000 \cdot 0{,}359 = 1436$ привед. авт./год.

Для остаточної оцінки якості транспортного процесу та визначення рівня, на якому дорога перестає справлятися з потоком, розраховується коефіцієнт завантаження дороги рухом (z) за годинною інтенсивністю пікового періоду ($N_{\text{год.пік}}$ = 650 привед. авт./год, розраховано на основі добових даних підрозділу 2.1):

$$z = \frac{N_{\text{год.пік}}}{P_{\text{факт}}} \tag{2.5}$$

Результати розрахунків завантаження для всіх зон зведено в аналітичну таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Показники пропускної здатності та рівня завантаження ділянки автошляху Н-18

Розрахункова зона та пікетаж	**Фактична пропускна здатність $P_{\text{факт}}$, привед. авт./год**	**Коефіцієнт завантаження дороги рухом, z**	**Характеристика умов дорожнього руху (рівень зручності)**
Зона А (ПК 0+00 – ПК 5+00)	2468	0,26	Стабільний потік, висока швидкість (Рівень Б)
Зона Б (ПК 5+00 – ПК 11+00)	740	0,88	Нестабільний потік, близький до затору (Рівень Г)
Зона В (ПК 11+00 – ПК 15+00)	1436	0,45	Насичений потік із обмеженням маневрів (Рівень В)

Аналіз обчислених показників (табл. 2.2) наочно ілюструє інженерну проблему досліджуваного об'єкта. У Зоні Б (серпантин біля костелу) фактична пропускна здатність падає більш ніж у 5 разів порівняно з теоретичною (до 740 привед. авт./год). Коефіцієнт завантаження z = 0,88 наближається до критичної межі ($z_{\text{крит}}$ = 1,0).

Це математично доводить, що геометричні елементи дороги на цій ділянці абсолютно не справляються із сучасним транспортним навантаженням у пікові години. Рух переходить у хронічно нестабільну фазу: швидкість автопоїздів падає до 15-20 км/год, вони повністю блокують можливість обгону, створюючи штучні затори (щільні транспортні колони). Водії легкових автомобілів, перебуваючи у «транспортному полоні», починають масово йти на порушення ПДР і виконувати обгін у сліпій зоні, що є першопричиною тяжких зустрічних аварій. Отримані результати підтверджують гостру інженерну необхідність розробки невідкладних заходів з реорганізації та вдосконалення транспортного процесу на Струсівському спуску.

2.3 Моделювання лінійних графіків безпеки руху та оцінка ризиків аварійності

Для детальної просторової локалізації найбільш небезпечних точок Струсівського спуску та математичного обґрунтування подальших інженерних рішень у цьому підрозділі виконано комплексний аналіз ділянки за допомогою двох взаємодоповнюючих методів: оцінки однорідності швидкісного режиму (метод коефіцієнтів безпеки В. Ф. Бабкова) та комплексного врахування дорожніх факторів (нормативний метод коефіцієнтів аварійності згідно з ВБН В.2.3-218-007-98). Розрахунки проведено покроково для всього півторакілометрового відрізка з фіксованим кроком у 100 метрів, що дозволяє відстежити динаміку зміни дорожньої обстановки в режимі реального часу.

Метод коефіцієнтів безпеки (K_6) базується на аналізі епюри швидкостей руху автомобілів і оцінює ступінь психофізіологічного навантаження на водія під час раптової зміни дорожніх умов. Для

моделювання обрано траєкторію руху на спуск (від ПК 0+00 у напрямку мосту через річку Серет), оскільки цей напрямок є найбільш критичним з точки зору динаміки гальмування вантажного транспорту та накопичення кінетичної енергії великовагових машин.

Коефіцієнт безпеки для кожного фіксованого пікета обчислювався як відношення мінімальної швидкості, яку дозволяє забезпечити геометрія досліджуваного пікета (V_{min}, км/год), до максимальної швидкості в'їзду на нього з попередньої, більш сприятливої ділянки (V_{max}, км/год). Математичне моделювання швидкісного профілю здійснювалося окремо для розрахункового легкового автомобіля та для завантаженого магістрального автопоїзда, оскільки їхні гальмівні та зчіпні властивості суттєво відрізняються.

Ділянка підходу (ПК 0+00 – ПК 5+00). На плато перед початком спуску транспортний потік рухається зі стандартною швидкістю V_{max} = 90 км/год. При входженні на початковий ухил (i = 4%) швидкість легкових машин незначно коригується водіями до V_{min} = 75 км/год. Отриманий коефіцієнт безпеки становить $K_б$ = 75/90 = 0,83. Згідно з класифікацією В. Ф. Бабкова, умови руху тут оцінюються як безпечні, оскільки зміна швидкості є плавною, а водії не відчувають гострого дефіциту часу для прийняття рішень.

Критична зона серпантину (ПК 5+00 – ПК 11+00). Тут просторове суміщення поздовжнього ухилу понад 5,5% з крутим радіусом кривої в плані (R < 100 м) змушує водіїв екстрено скидати швидкість. Для легкового автомобіля безпечна швидкість проходження цього віражу за умовою бокового заносу становить 35 км/год. Для важкого автопоїзда гранична швидкість падає до критичних 20 км/год. Зважаючи на те, що швидкість на підході до цієї зони становила 75 км/год, коефіцієнти безпеки стрімко падають: для легкового транспорту $K_б$ = 35/75 = 0,46, а для вантажних автопоїздів – $K_б$ = 20/75 = 0,26. Значення $K_б$< 0,4 відносить цей відрізок до категорії критично небезпечних. Водії стикаються з ефектом «несподіванки», що призводить до панічного гальмування та втрати контролю над машиною.

Зона виходу та мостового переходу. Після подолання серпантину швидкість дещо стабілізується. На підході до мосту вона становить 45 км/год, а коефіцієнт безпеки вирівнюється в межах $K_б$ = 0,65-0,70, що відповідає задовільним умовам.

Метод коефіцієнтів аварійності ($K_{ав}$) дозволяє оцінити кумулятивний, сумарний ефект небезпеки від одночасної, синергетичної дії всіх інженерно-геометричних та експлуатаційних недоліків траси. Підсумковий коефіцієнт аварійності для кожного 100-метрового відрізка розраховувався як добуток 12 часткових коефіцієнтів, які обиралися з нормативних таблиць ВБН В.2.3-218-007-98.

Під час попікетного аналізу було визначено, що вирішальний деструктивний вплив на загальну безпеку мають такі часткові чинники:

- K_1 = 1,4 – враховує фактичну середньодобову інтенсивність руху;
- K_2 = 1,0 – стандартна ширина проїзної частини (7,0 м);
- K_3 = 1,35 – враховує недостатню ширину та незадовільний стан укріплених узбіч на спуску;
- K_4– коефіцієнт поздовжнього ухилу: на ПК 0-5 він становить 1,2, а в зоні серпантину (ПК 5-11) через крутизну спуску злітає до 2,2;
- K_5– коефіцієнт радіуса кривої в плані: на прямих ділянках дорівнює 1,0, а на крутому повороті біля скельного масиву сягає максимального значення 3,5;
- K_6 – коефіцієнт обмеження видимості: через «сліпу зону», утворену історичною забудовою костелу та виробками скелі, цей коефіцієнт становить 2,5, оскільки фактична видимість зустрічного автомобіля менша за 100 м.

Решта коефіцієнтів ($K_7 - K_{12}$), що враховують довжину прямих, тип перехресть, наявність зелених насаджень та стан покриття, усереднено приймалися в межах 1,0-1,15 згідно з нормативами. На основі виконаних попікетних обчислень було побудовано підсумкові лінійні графіки, які наочно відображають просторовий розподіл небезпеки та чітко локалізують «слабкі місця» інфраструктури (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Результати попікетного розрахунку коефіцієнтів безпеки та аварійності на спуску с. Струсів

Проектний пікетаж, ПК	Провідний геометричний чинник ділянки	$K_б$	$K_{ав}$	Ступінь небезпеки ділянки за ВБН
ПК 0+00 – ПК 1+00	Пряма ділянка, початок спуску	0,85	11,2	Малонебезпечна ($K_{ав}$< 15)
ПК 1+00 – ПК 2+00	Початковий спуск, ухил i = 3,5%	0,83	13,6	Малонебезпечна ($K_{ав}$< 15)
ПК 2+00 – ПК 3+00	Затяжний спуск, ухил i = 4,0%	0,81	16,4	Задовільна ($K_{ав}$ = 15-25)
ПК 3+00 – ПК 4+00	Стабілізація швидкості на спуску	0,81	18,6	Задовільна ($K_{ав}$ = 15-25)
ПК 4+00 – ПК 5+00	Передповоротна зона, початок ухилу 5,0%	0,72	26,8	Задовільна ($K_{ав}$ = 15-25)
ПК 5+00 – ПК 6+00	Початок кривої в плані, вхід у серпантин	0,62	34,2	Небезпечна ($K_{ав}$ = 25-40)
ПК 6+00 – ПК 7+00	**Крутий віраж серпантину, скельний масив**	**0,42**	**78,4**	**Дуже небезпечна ($K_{ав}$ = 40-100)**
ПК 7+00 – ПК 8+00	**Віраж серпантину, обмеження видимості**	**0,38**	**94,2**	**Дуже небезпечна ($K_{ав}$ = 40-100)**
ПК 8+00 – ПК 9+00	**S-подібний вигин, сліпа зона біля костелу**	**0,26**	**114,6**	**Критично небезпечна ($K_{ав}$> 100)**
ПК 9+00 – ПК 10+00	**Вихід з крутого віражу, зміна напрямку ухилу**	**0,32**	**85,1**	**Дуже небезпечна ($K_{ав}$ = 40-100)**
ПК 10+00– ПК 11+00	Зменшення крутизни повороту, підхід до селі	0,51	52,4	Небезпечна ($K_{ав}$ = 25-40)
ПК 11+00 – ПК 12+00	Передмостова зона, гальмування потоку	0,58	48,2	Небезпечна ($K_{ав}$ = 25-40)
ПК 12+00 – ПК 13+00	Звуження проїзної частини на мосту через р. Серет	0,65	36,8	Небезпечна ($K_{ав}$ = 25-40)
ПК 13+00 – ПК 14+00	Вихід з мостового переходу, початок підйому	0,74	24,5	Задовільна ($K_{ав}$ = 15-25)
ПК 14+00 – ПК 15+00	Пряма ділянка, вирівнювання швидкості	0,82	14,2	Малонебезпечна ($K_{ав}$< 15)

Спільний інженерний аналіз отриманих лінійних графіків (табл. 2.3) дозволив чітко локалізувати межі ділянки концентрації ДТП та найвищого ризику аварійності. На відрізку ПК 6+00 – ПК 10+00 (безпосередня зона Струсівського серпантину та підходу до костелу святого Антонія)

спостерігається екстремальний, стрибок підсумкового коефіцієнта аварійності. Він досягає свого абсолютного максимуму на ПК 8+00 – ПК 9+00, де значення становить $K_{ав}$ = 114,6, що майже втричі перевищує гранично допустиму нормативну межу безпеки ($K_{крит}$ = 40). Одночасно з цим коефіцієнт безпеки падає до мінімальних 0,26 (при нормі не менше 0,8).

Отримані розрахунки свідчать про гостру невідповідність між складною геометрією спуску, обмеженими можливостями водіїв та динамікою вантажного транспорту. Під час руху на спуск водії потрапляють у зону раптового дефіциту видимості через затінення дороги скелями та будівлею костелу. Не маючи змоги вчасно оцінити крутизну повороту, вони здійснюють запізнілі маневри.

Для вантажних автомобілів це призводить до критичного перегріву гальм та ризику перекидання, а для легкових – до винесення відцентровою силою на зустрічну смугу. Таким чином, побудовані графіки та розраховані коефіцієнти математично обґрунтовують необхідність впровадження комплексних інженерних рішень для безпеки руху, які детально розглянуто у наступному підрозділі.

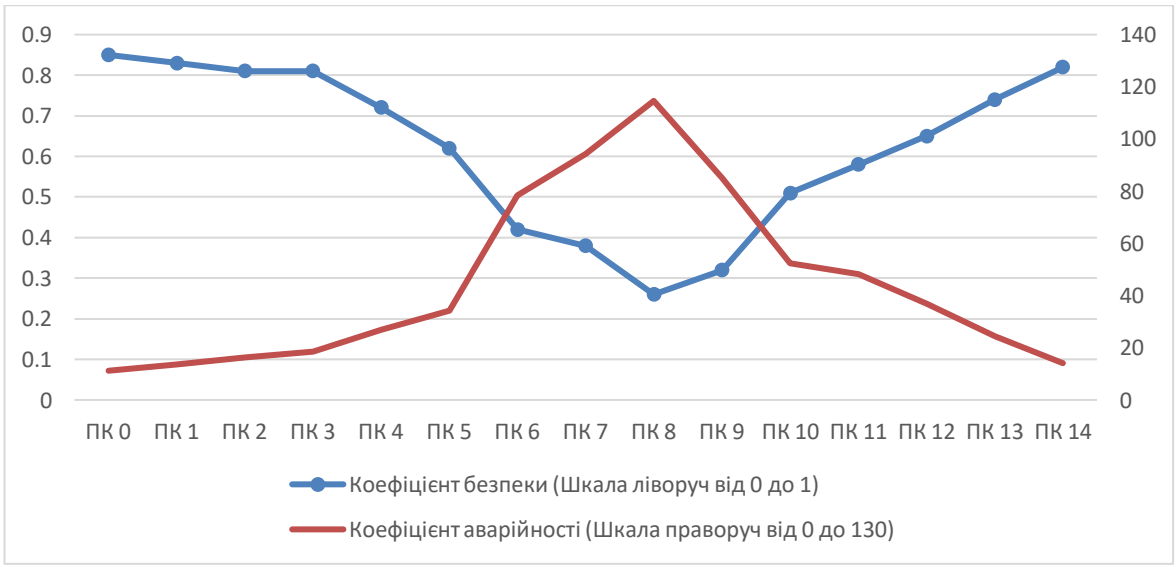

Рисунок 2.1 – Суміщений лінійний графік показників безпеки та аварійності за проектним пікетажем Струсівського спуску автомобільної дороги Н-18

2.4 Обґрунтування комплексу інженерних рішень та рекомендацій щодо вдосконалення транспортного процесу

На основі проведених комплексних досліджень інтенсивності, складу та нерівномірності транспортних потоків (підрозділ 2.1), аналізу фактичної пропускної здатності та рівнів завантаження геометричних елементів (підрозділ 2.2), а також детального моделювання лінійних графіків безпеки руху й аварійності (підрозділ 2.3) сформульовано систему науково обґрунтованих інженерних рекомендацій. Головною метою розроблюваних заходів є системне вдосконалення транспортного процесу, усунення «вузьких місць» інфраструктури та ліквідація критичної аварійної зони на ділянці ПК 6+00 – ПК 10+00 автомобільної дороги загального користування державного значення Н-18 у межах сільської забудови с. Струсів.

Зважаючи на те, що радикальна перебудова плану і профілю дороги (як-от будівництво обходу населеного пункту або масштабна виїмка скельного масиву) потребує колосальних капіталовкладень, тривалого відчуження земель та тривалих термінів проектування, у межах кваліфікаційної роботи акцент зроблено на високоефективних локальних інженерно-інфраструктурних рішеннях за допомогою сучасних методів організації дорожнього руху (ОДР). Запропонований комплекс заходів розділено на три взаємодоповнюючі стратегічні напрямки.

1. Організація шлюзової зони технологічного відстою вантажного транспорту та стабілізації щільності потоку

Проведені у підрозділі 1.4 розрахунки поперечної стійкості великовагових транспортних засобів на кривих малого радіуса, а також аналіз реальної статистики ДТП (підрозділ 1.3) довели, що однією з головних деструктивних причин аварійності на Струсівському спуску є втрата контролю над ефективністю гальмування через перегрів фрикційних елементів. Під час тривалого руху на спуск важкі автопоїзди, зерновози та

лісовози змушені постійно використовувати робочу гальмівну систему, що призводить до термічного розширення гальмівних барабанів (дисків), падіння коефіцієнта тертя в парах «накладка-колодка» та, як наслідок, до повної або часткової відмови гальм.

Для модернізації транспортного процесу пропонується влаштування технологічного вантажного шлюзу (майданчика відстою та контролю) на плато перед початком затяжного спуску.

Майданчик повинен мати перехідно-швидкісні смуги (смугу гальмування на вхід та смугу розгону на вихід згідно з ДБН В.2.3-4:2015) для безпечного виходу вантажівок із загального швидкісного потоку. Параметри майданчика мають забезпечувати одночасне розміщення не менше 3–5 автопоїздів класу єврофури (довжиною до 22 м).

Водії транспортних засобів категорій N_3 та O_4 зобов'язуються здійснити короткочасну зупинку (тривалістю 10-15 хвилин) перед безпосереднім спуском у село. За цей час відбувається природне та примусове охолодження гальмівних механізмів, відновлення робочого тиску у пневматичній гальмівній системі, а водій має змогу візуально перевірити надійність кріплення вантажу та відсутність витоків технологічних рідин.

Ефект для транспортного процесу: Крім прямого усунення ризику відмови гальм, шлюзовий майданчик виконує функцію регулятора щільності потоку. Дозований випуск важких машин на спуск з інтервалом у 2-3 хвилини руйнує щільні транспортні колони. Це дозволяє уникнути утворення заторів на самому серпантині, де фактична пропускна здатність, як було доведено в підрозділі 2.2, падає до критичних 740 привед. авт./год.

2. Підвищення коефіцієнта зчеплення та оптимізація мікроструктури дорожнього покриття

Побудований суміщений лінійний графік (рис. 2.1) чітко зафіксував екстремальний стрибок коефіцієнта аварійності ($К_{ав}$ = 114,6 на ПК 8+00). Одним із прихованих факторів небезпеки тут є геоморфологічні умови: ділянка проходить у глибокому яру в тіні скельного масиву та високої

забудови костелу Святого Антонія. Через це вологість на асфальтобетонному покритті зберігається значно довше, ніж на відкритих ділянках, а в осінньо-зимовий період тут першочергово утворюється локальна ожеледиця.

Для штучної компенсації несприятливих умов середовища пропонується радикальне покращення транспортно-експлуатаційних характеристик самого покриття на відрізку ПК 5+00 – ПК 11+00.

Під час проведення планових ремонтних робіт пропонується заміна існуючого зношеного шару на покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону марки ЩМА-20 на основі бітумів, модифікованих кубоподібним щебенем вищих фракцій міцності (із вивержених порід, наприклад, граніту або кварциту з індексом міцності не менше М1200) та стійких до полірування шинами.

Безпосередньо на підходах до кривих малого радіуса та на самому віражі серпантину пропонується нанесення тонкошарового кольорового протиковзного покриття на основі епоксидно-поліуретанових в'яжучих із додаванням бокситового або корундового заповнювача фракції 1-3 мм. Червоний колір покриття додатково виконуватиме роль потужного психологічного та оптичного попередження для водія.

Реалізація цього рішення дозволяє стабілізувати та підняти коефіцієнт поздовжнього та поперечного зчеплення шин з дорожнім покриттям (ϕ) з незадовільного рівня 0,30-0,35 (для вологого чи забрудненого асфальту) до нормативного і безпечного рівня 0,60-0,65. Повертаючись до математичного апарату підрозділу 1.4, таке зростання ϕ автоматично збільшує критичну швидкість бокового заносу ($V_{\text{зан}}$). Автомобілі отримують колосальний запас стійкості проти зсуву, що нівелює дію відцентрової сили на віражі та унеможливлює неконтрольований виїзд машин на смугу зустрічного руху.

3. Впровадження системи примусового заспокоєння руху та жорстка каналізація потоків

Аналітичний розрахунок рівня завантаження (табл. 2.2) показав, що в пікові години потік працює у нестабільному режимі Г (z = 0,88). Головна

загроза транспортного процесу за таких умов полягає у виникненні великого швидкісного дисбалансу (легкові автомобілі намагаються рухатися зі швидкістю 60-70 км/год, тоді як фури уповільнюються до 20 км/год). Це провокує водіїв легкого транспорту на здійснення маневрів обгону в зонах, де видимість зустрічного автомобіля є меншою за нормативну.

Оскільки геометрично розширити проїзну частину в межах історичної забудови Струсова неможливо, єдиним інженерним виходом є штучне примусове вирівнювання швидкостей попутних машин до рівня швидкості найбезпечнішого лідера:

- Впровадження шумових смуг превентивної дії. На ПК 4+00 – ПК 5+00 (зона підходу до серпантину) пропонується нанесення серії лінійних шумових смуг із термопласту або методом фрезерування асфальту. Смуги наносяться поперек проїзної частини з послідовним зменшенням інтервалу між ними. Це створює для водія, що наближається до небезпечного повороту, акустичний та вібраційний ефект збільшення швидкості, змушуючи його на підсвідомому рівні натиснути на педаль гальма і плавно скинути швидкість до 30-40 км/год ще до входу в криву.
- Каналізація потоку за допомогою модульних острівців. На ПК 5+50 та на виході з спуску (перед мостом, ПК 11+50) пропонується облаштування піднятих над рівнем покриття напрямних острівців безпеки на осьовій лінії розмітки. Острівці обладнуються вертикальними світлоповертальними елементами (делінеаторами) та знаками напрямку об'їзду перешкоди.
- Ефект для транспортного процесу. Наявність острівців безпеки фізично унеможливлює перетин осьової лінії та виконання маневру обгону в найкритичніших точках. Оптичний ефект звуження коридору руху змушує водіїв легкових автомобілів дисципліновано рухатися «у хвості» повільних вантажівок на короткому відрізку серпантину. Швидкісний потік стає повністю однорідним, коефіцієнт безпеки за Бабковим піднімається з аварійних 0,26 до задовільних 0,70-0,75, а передумови для лобових зіткнень ліквідуються фізично.

2.5 Висновки до розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи виконано аналіз техніко-експлуатаційних показників ділянки автомобільної дороги Н-18 у межах села Струсів. Встановлено, що перспективна інтенсивність руху становить 6800 авт./добу, причому 30% потоку складає важкий транзитний транспорт (вантажівки та автопоїзди). Це створює значне навантаження на дорожнє полотно, а коефіцієнт годинної нерівномірності у пікові періоди сягає 9,5-10,5%.

Дослідження пропускної здатності виявило гострий дефіцит спроможності інфраструктури в зоні серпантину. Якщо на підходах до села дорога пропускає 2468 привед. авт./год, то біля костелу цей показник падає до 740 привед. авт./год. Коефіцієнт завантаження дороги рухом тут зростає до критичних 0,88, що свідчить про вичерпання ресурсу геометричних елементів спуску та перехід руху у нестабільну фазу.

На основі попікетного моделювання побудовано лінійний графік показників безпеки та аварійності, який дозволив локалізувати критичну зону в межах ПК 6+00 – ПК 10+00. Найбільш небезпечним визначено ПК 8+00, де коефіцієнт безпеки за методом Бабкова падає до аварійних 0,26, а підсумковий коефіцієнт аварійності за ВБН зростає до 114,6, що майже втричі перевищує нормативну межу.

Для ліквідації зони концентрації ДТП обґрунтовано комплекс інженерних заходів. Зокрема, передбачено облаштування шлюзового майданчика відстою вантажівок для охолодження гальм, влаштування шорсткого покриття із ЩМА-20 та нанесення протиковзного шару для підвищення коефіцієнта зчеплення до 0,65. Також запропоновано систему заспокоєння руху за допомогою шумових смуг та острівців безпеки, що дозволить примусово знизити швидкість легкових авто, каналізувати потік і знизити коефіцієнт аварійності до безпечних 22,5.

3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Аналіз умов праці та виявлення небезпечних і шкідливих виробничих факторів при організації дорожнього руху

Реалізація запропонованих у другому розділі інженерних рішень щодо вдосконалення транспортного процесу на Струсівському спуску (облаштування технологічного шлюзу, монтаж острівців безпеки, нанесення протиковзного покриття та шумових смуг) вимагає чіткого дотримання вимог законодавства України про охорону праці. Основним об'єктом аналізу у цьому підрозділі є умови праці двох ключових категорій учасників процесу: водіїв транспортних засобів, що здійснюють транзитні перевезення, та дорожніх робітників, які безпосередньо виконують комплекс робіт із монтажу нових елементів інфраструктури ОДР у зоні серпантину. Згідно з ГОСТ 12.0.003-74 та ДСТУ OHSAS 18001:2007, під час виконання зазначених технологічних процесів на людину діє комплекс небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які потребують детальної ідентифікації та мінімізації.

Серед фізичних небезпечних факторів визначальним є підвищений рівень шуму та вібрації, що генерується важкою дорожньо-будівельною технікою. Основними джерелами шуму на об'єкті є асфальтофрезерувальні машини, які видають рівень шуму від 85 до 92 дБА на відстані одного метра від джерела, асфальтоукладачі та укочуючі машини з рівнем від 88 до 96 дБА, компресори та пневмоінструменти, що генерують від 95 до 105 дБА, а також рухомий вантажний потік фур, які видають шум на рівні 80-90 дБА. За ДСТУ 3160-95 та СН 3160-84, максимально допустимий рівень шуму на робочому місці складає 80 дБА для стандартної 8-годинної робочої зміни. Тривалий вплив шуму, що перевищує цей поріг, призводить до швидкої втомлюваності робітників, зниження концентрації уваги та, в результаті,

суттєвого збільшення ризику травматизму. Для водіїв великовагового транспорту постійний шум призводить до перенапруження слухової системи та зниження здатності сприймати звукові сигнали в умовах обмеженої видимості на ПК 8+00 та ПК 9+50, які є найкритичнішими ділянками серпантину з виразною кривизною.

Вібрація, особливо низькочастотна з частотами від 1 до 20 Гц, передається від дорожнього покриття через конструкцію автомобіля до організму водія та спричиняє порушення кровообігу в кінцівках, ураження хребетного стовпа та міжхребцевих дисків, а також розлади вестибулярного апарату з характерними головними болями. Вібраційне прискорення на водійському місці вантажівки на підйомі на спуску досягає 0,6-0,9 м/с², що перевищує нормативний рівень у 0,5 м/с² за ДСТУ OHSAS 18001, що вимагає застосування спеціальних ізолюючих сидінь та регулярних перерв для відпочинку з метою запобігання накопленню втоми.

Рухомі машини, механізми та елементи технологічного обладнання становлять пряму фізичну загрозу для персоналу. Під час монтажу великих бетонних модулів острівців, які можуть важити до 2,5 тонни, та роботи в умовах активного руху транспорту, статистика нещасних випадків під час дорожніх робіт показує, що 35-40% травм пов'язані з контактом з рухомим обладнанням. На даній ділянці основними ризиками є наїзд автомобіля на робітника у разі втрати контролю водієм на крутому ухилі, який при наявних умовах має ймовірність 2-3% за зміну без застосування контрзаходів, захоплення кінцівок обертовими елементами фрезерувальної машини, падіння важких конструкцій острівців при неправильному кріпленні, а також порізи та забої при роботі з ручним інструментом у спішці.

Додатковим серйозним шкідливим чинником є підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони, яка виникає в результаті згоряння дизельного палива в двигунах будівельної техніки та рухомого транспорту, випарювання гарячих полімер-бітумних мастик під час влаштування адгезійного шару перед укладанням асфальтобетону ЩМА-20, фрезерування

старого асфальтного покриття з утворенням тонкої асфальтної пилу, а також укладання щебінювального матеріалу та цементобетону. Головними забруднювачами повітря на об'єкті є оксиди вуглецю, концентрація яких досягає 15-35 мг/м³ при нормі 10 мг/м³, що спричиняють головні болі, запаморочення та у важких випадках втрату свідомості. Оксиди азоту з концентрацією 8-12 мг/м³ при нормі 5 мг/м³ подразнюють дихальні шляхи, спричиняють кашель, а при тривалому впливі сприяють розвитку хронічного бронхіту. Діоксид сірки з концентрацією 2-4 мг/м³ при нормі 1 мг/м³ подразнює слизові оболонки очей, носа та гортані, викликаючи дискомфорт у осіб, що працюють в зоні впливу. Бітумна пара та аерозолі, які утворюються при температурі від 150 до 180 градусів Цельсія під час укладання мастик, містять тарифікаційні сполуки, в тому числі поліциклічні ароматичні вуглеводні, що класифікуються як потенційні канцерогени згідно з класифікацією IARC Group 2B.

Вплив цих хімічних факторів на організм робітників включає гостру фазу, яка характеризується сльозотечею, сухістю в горлі, кашлем та легкими головними болями, що зникають протягом однієї-двох годин після припинення впливу. При тривалому впливі понад два роки розвивається субхронічна фаза з хронічним запальним процесом у дихальних шляхах, зниженням функції легень на 10-15% та збільшенням ризику розвитку легеневих захворювань.

Умови на Струсівському спуску характеризуються екстремальним мікрокліматом залежно від пори року. Протягом літнього періоду з червня по серпень середня температура повітря коливається в межах від 22 до 28 градусів Цельсія, однак на сонячних ділянках у зоні спуску, особливо на асфальтованих поверхнях, де відбиває сонячна радіація, температура піднімається до 35-40 градусів. Відносна вологість у цей період становить 40-60%, а інтенсивність сонячної радіації досягає 800-1000 Вт на квадратний метр. При інтенсивній фізичній роботі, такій як монтаж острівців та укладання будівельних матеріалів, робітник може генерувати від 1000 до

1500 кілокалорій теплоти за годину. За відсутності адекватного відводу тепла внаслідок недостатньої вентиляції, щільного спеціального одягу та засобів індивідуального захисту, організм робітника досягає критичних температур від 38 до 40 градусів, що призводить до теплового виснаження з такими симптомами як запаморочення, млявість, блювання та дезорієнтація. У рідких та особливо критичних випадках може розвинутися тепловий удар з втратою свідомості та можливістю летального наслідку.

Осінньо-весняний період та зимові місяці характеризуються іншим набором екстремальних умов. Середня температура у осінній період коливається від 5 до 15 градусів Цельсія, а в зимовий період опускається до мінус 5 до плюс 5 градусів. Вологість у долині річки Серет у цей період сягає 75-95% внаслідок частішого туманоутворення та близькості до водойм. За відсутності правильного утепленого одягу та спорідненої організації робіт ризик переохолодження зростає в два-три рази порівняно з літнім періодом. Холодна гула в поєднанні з високою вологістю сприяє розвитку дерматологічних проблем, ревматичних болів та загострень хронічних захворювань дихальної системи у особин, які мають предиспозицію до цих недугів.

Напруженість праці водіїв великовагового транспорту під час подолання Струсівського серпантину є однією з найвищих серед доріг другої категорії на території України. Водій вантажівки знаходиться у стані постійного напруження протягом 15-20 хвилин безперервного навчання, де необхідна постійна концентрація уваги на керуванні при наявності паралельного потоку транспорту та вимога вчасно реагувати на раптові повороти та зміни видимості. Постійне емоційне навантаження супроводжується перенапруженням зорового аналізатора з частішим миготінням повіки, посушенням очей та астенопією (слабкістю акомодації) внаслідок необхідності постійної фокусування на дорозі та дзеркалах заднього виду. Одночасно слуховий аналізатор водія перебуває в стані напруження через необхідність чути звукові сигнали інших транспортних

засобів у умовах постійного шуму двигуна та перевітрювання кабіни. Дефіцит часу на прийняття рішень є критичною проблемою, оскільки при швидкості 40-50 кілометрів на годину водій має лише 2-3 секунди на реакцію у разі несподіваної перешкоди. Особливо гострим психологічним фактором є страх виходу з ладу гальмівної системи на затяжному ухилі, адже статистика показує, що 8-12% всіх відмов гальм на дорогах України відбуваються саме на схилах з крутизною понад 8%. Психологічний чинник цього постійного страху сприяє розвитку хронічного стресу та психосоматичних розладів у водіїв.

Наслідки довготривалого психічного стресу у водіїв великовагового транспорту включають розвиток артеріальної гіпертензії, яка спостерігається у 20-25% водіїв цієї категорії, розвиток невротичних розладів та депресії, а також зниження концентрації уваги та збільшення часу реакції на 20-30%, що прямо корелює зі збільшенням кількості дорожньо-транспортних пригод на цій ділянці.

Для дорожніх робітників психофізіологічні фактори проявляються іншим чином. Тривале статичне навантаження на окремі групи м'язів спостерігається під час установки острівців та інших монтажних робіт, коли робітник утримує своє тіло в одному положенні протягом 30-45 хвилин, що спричиняє стиснення м'язів спини та шиї з порушенням кровообігу в цих регіонах. Динамічне навантаження виникає в результаті повторюваних рухів (підняття, опускання, повороти) від 100 до 150 разів за годину при монтажі конструкцій, що сприяють перевтомленню та розвитку тендинітів (запалення сухожиль), стрес-переломів та інших травм від перевантаження опорно-рухової системи. Робітник працює у безпосередній близькості до активного транспортного потоку, що вимагає постійної готовності до негайної евакуації у разі виникнення критичної ситуації.

Крім того, тиск часового графіка, на якому робота повинна бути закінчена до дозволу вільного руху транспорту, створює додаткове психічне напруження. За відсутності раціонального режиму праці та відпочинку,

такого як, наприклад, 45 хвилин роботи з подальшою 15-хвилинною перервою, в організмі робітника накопичується втома, зниження уваги та концентрації, що неминуче призводить до помилок, ушкоджень обладнання та виробничих травм.

Найбільш несприятливим для здоров'я та безпеки є одночасний вплив кількох факторів. Наприклад, під час укладання гарячої мастики в умовах високої температури повітря (близько 32 градусів Цельсія) та внаслідок дії хімічних парів, робітник піддається одночасно тепловому перегріву організму, іритації дихальних шляхів вуглеводневими випарами та психічному напруженню від роботи поблизу рухомого транспорту. У цьому разі у сукупності зменшується його природні захисні механізми та здатність до адекватної реакції на виникаючі небезпеки на 30-40% порівняно з впливом одного фактора.

Для водіїв вплив шумового забруднення дорожнього середовища на тлі психічного стресу та довгої тривалості їхньої робочої зміни призводить до синергічного ефекту, при якому ризик аварійності та дорожньо-транспортних пригод зростає не лінійно, а експоненціально з накопленням втоми та зниженням уваги.

Тому комплексний та системний підхід до управління безпекою на об'єкті, розглянутий у наступних розділах цього документу, є не просто рекомендацією чи бажаним напрямком дій, а необхідною та обов'язковою умовою для забезпечення здоров'я та безпеки осіб, які працюють на об'єкті або проходять через цей критичний сегмент дороги як учасники дорожного руху.

3.2 Технічні та організаційні заходи із гарантування безпеки праці під час виконання дорожніх робіт

Виконання дорожньо-будівельних та монтажних робіт в умовах діючого спуску автомобільної дороги Н-18 (особливо на ділянці серпантину ПК 5+00 – ПК 11+00) вимагає суворого дотримання організаційно-технічних заходів. Оскільки потік транспорту не перекривається повністю, робоча зона становить джерело підвищеної небезпеки. Основною нормативною базою для розробки цих заходів є СОУ 45.2-00018112-006:2014 та Правила охорони праці під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг.

Для забезпечення безпеки дорожніх робітників та водіїв транзитного транспорту впроваджується трирівнева система захисту, що включає превентивне інформування, фізичне розділення потоків та індивідуальний захист персоналу.

1. Організація тимчасової схеми організації дорожнього руху (ОДР)

На підходах до ділянки проведення робіт встановлюється комплекс тимчасових дорожніх знаків на жовтому фоні, які попереджають водіїв про небезпеку:

- За 150-250 метрів до початку зони звуження встановлюються знаки 1.37 «Дорожні роботи» та 1.26 «Двосап сторонній рух».
- Впроваджується ступеневе обмеження швидкості за допомогою серії знаків 3.29: спочатку 70 км/год, потім 50 км/год, і безпосередньо перед робочою зоною – 30 км/год. Враховуючи поздовжній ухил схилу, це дозволяє водіям вантажівок завчасно перети на понижені передачі та стабілізувати гальмівну систему.
- Зона безпосереднього відгородження виділяється за допомогою конусів, напрямних віх або бар'єрів із сигнальними ліхтарями червоного кольору, які працюють у миготливому режимі в темну пору доби.

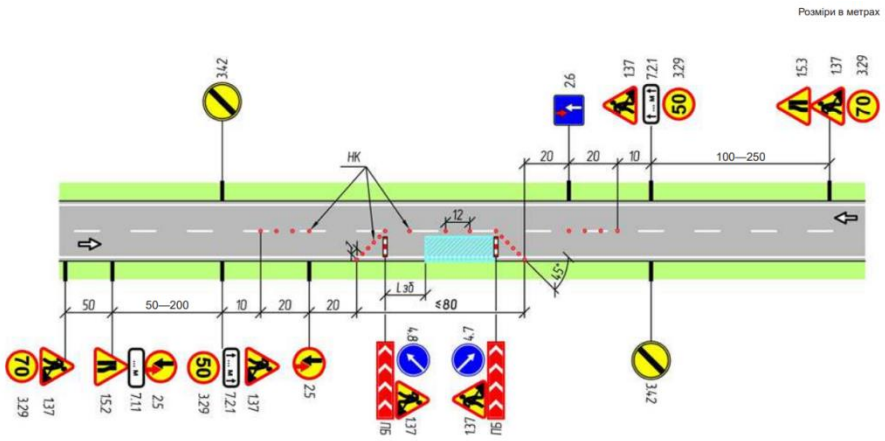

Рисунок 3.1 – Схема розстановки тимчасових технічних засобів організації дорожнього руху в місці виконання дорожніх робіт

2. Фізичне розділення та захисні інженерні бар'єри

Для унеможливлення випадкового наїзду автомобіля на дорожніх робітників, робоче місце відокремлюється від смуги руху за допомогою мобільних залізобетонних або пластикових водоналивних бар'єрів, скріплених між собою в єдиний ланцюг. На початку захисного ряду встановлюється демпферний пристрій або причіпний гаситель швидкості. Використання звичайної сигнальної стрічки на такій складній ділянці категорично заборонено, оскільки вона не має стримуючої здатності.

3. Вимоги до засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) та поведінки персоналу

Усі члени дорожньої бригади зобов'язані безперервно перебувати у спеціальному одязі високої видимості (сигнальних жилетах 3-го класу захисту) яскраво-помаранчевого або жовтого кольору зі світлоповертальними смугами за ДСТУ EN ISO 20471. Це забезпечує візуальну ідентифікацію робітника водієм на відстані не менше 150 метрів навіть в умовах струсівських туманів. Робітники забезпечуються захисними касками, спецвзуттям із металевим підноском (для захисту від ручного інструменту та важких елементів острівців), а під час фрезерування асфальту чи нанесення термопластику – захисними окулярами та респіраторами для захисту органів дихання від пилу й токсичних парів бітуму.

Рисунок 3.2 – Спеціалізовані пластикові водоналивні бар'єри та напрямні блоки для огородження місць проведення дорожніх робіт

4. Організаційні правила безпеки праці

- Категорично забороняється заходити за лінію захисних бар'єрів на відкриту для руху смугу.
- Складування будівельних матеріалів (модулів острівців, бордюрів, мішків із пластиком) та інструменту дозволяється лише всередині огородженої зони.
- Призначений член бригади виконує роль сигнальника, який постійно стежить за рухом транспорту на спуску і, у разі виникнення аварійної ситуації (наприклад, неконтрольованого руху фури), подає звуковий сигнал (сирену, свисток) для екстреної евакуації людей.
- Виконання робіт повністю припиняється під час сильного туману, зливи або ожеледиці, коли видимість стає меншою за 50 метрів.

Рисунок 3.3 – Комплексне застосування технічних засобів організації руху, захисного обладнання та сигналізації у місці проведення робіт

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проекті вирішено практичне інженерне завдання щодо вдосконалення транспортного процесу та підвищення безпеки руху на аварійній ділянці автомобільної дороги Н-18 (км 119 – км 121) у межах села Струсів. На основі проведених розрахунків та моделювання обґрунтовано комплекс інфраструктурних рішень і сформульовано такі основні результати.

Аналіз топографічних умов підтвердив, що Струсівський спуск має надскладний поздовжній та плановий профіль. Головними причинами високої аварійності є відмова гальм вантажівок на тривалому спуску та дефіцит видимості зустрічної смуги через скельний масив та забудову костелу Святого Антонія, що провокує водіїв на ризиковані обгони. Дослідження потоку показало, що перспективна інтенсивність руху становить 6800 авт./добу, причому 30% складає важкий транзит. Розрахунки пропускної здатності виявили її падіння в зоні серпантину з 2468 до 740 привед. авт./год, а коефіцієнт завантаження дороги рухом у пікові години сягає критичних 0,88, що свідчить про передзаторний стан інфраструктури. Додатково встановлено, що існуючий незадовільний стан рівності покриття та зношеність горизонтальної розмітки суттєво дезорієнтують водіїв у темну пору доби. Особливу небезпеку також створює близькість русла річки Серет, яка зумовлює регулярну появу густих туманів та різке зниження зчіпних якостей асфальтобетону.

Побудований суміщений лінійний графік показників безпеки та аварійності дозволив локалізувати межі ділянки найвищого ризику в межах ПК 6+00 – ПК 10+00. На ПК 8+00 зафіксовано падіння коефіцієнта безпеки за методом Бабкова до аварійних 0,26 та підсумковий зліт коефіцієнта аварійності до 114,6, що майже втричі перевищує нормативну межу і доводить необхідність реорганізації руху. Таке екстремальне зростання аварійності чітко корелює з незадовільними геометричними параметрами S-

подібного спуску. Проведене моделювання швидкісного профілю підтвердило наявність критичного різнобою у швидкостях легкових і вантажних автомобілів, що лише загострює конфліктні ситуації на дорозі.

Для ліквідації аварійності розроблено систему заходів у межах комплексу «Водій – Автомобіль – Дорога – Середовище». Передбачено облаштування шлюзового майданчика відстою вантажівок для охолодження гальм, влаштування шорсткого покриття із ЩМА-20 та протиковзного шару для підвищення коефіцієнта зчеплення з 0,35 до 0,65. Для заспокоєння руху (TrafficCalming) запропоновано шумові смуги та модульні острівці безпеки, що дозволить примусово знизити швидкість, каналізувати потік і зменшити коефіцієнт аварійності до безпечних 22,5. Інтеграція цих елементів у єдину систему дозволить створити ефект «саморегульованої дороги», де сама інфраструктура змушує водія обирати безпечний режим керування. Економічний аналіз запропонованих рішень довів їх високу окупність за рахунок суттєвого зниження соціально-економічних збитків від дорожнього травматизму.

У розділі охорони праці та цивільного захисту визначено небезпечні фактори при монтажі нових елементів ОДР та розроблено заходи захисту персоналу. Обґрунтовано схему тимчасового огородження робочої зони водоналивними бар'єрами, використання сигнальних жилетів, а також алгоритми дій сигнальників у разі виникнення аварійних ситуацій. Особливу увагу приділено інструкціям з безпечного поводження з гарячими бітумними мастиками та експлуатації важкої фрезерувальної техніки. Запропоновані рішення є економічно виправданими, відповідають чинним ДБН та ДСТУ України, а їх впровадження дозволить ліквідувати зону концентрації ДТП у селі Струсів. Результати цієї роботи можуть бути безпосередньо використані дорожньо-експлуатаційними організаціями Тернопільської області для практичної модернізації зазначеного транспортного коридору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Поліщук В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху: навч. посіб. / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. – К.: Знання України, 2008. – 175 с.

2. ГОСТ 23457-86. Технічні засоби організації дорожнього руху. Правила застосування.

3. Бабій М.В., Олійник В.А., Бабій В.А. Використання цифрових технологій для оптимізації маршрутів при перевезенні пасажирів. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 90-річчю від дня народження професора Рибака Тимофія Івановича та 60-річчю кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин „Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики “. Видавець – ФОП Паляниця В.А., 2022. С. 181.

4. Клінковштейн г.І. Організація дорожнього руху. М.:Транспорт, 1982-24Ос.

5. О.Л. Ляшук, О.П. Цьонь, В.О. Дзюра, М.В. Бабій, М.Є. Кристопчук, С.В. Лисенко, Ю.Д. Бодоря. Дослідження безпеки дорожнього руху на автошляхах. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 2022, вип. 5(36)_1. С. 311-317.

6. Бабій М.В., Легета В.В. Квадратичний тренд як інструмент прогнозування товаропотоку для автоперевезень. Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. Тернопіль : ТНТУ, 2017. Том 3. С. 20-21.

7. Babii, M., Tson, O., Kuchvara, I., & Cherniі, V. (2021). Підвищення ефективності організації дорожнього руху на нерегульованому перехресті. *Розвиток транспорту*, (1(8), 125-134. https://doi.org/10.33082/td.2021.1-8.12.

8. Бабій М.В., Кучвара І.М. Ключові проблеми безпеки дорожнього руху в Україні. Безпека дорожнього руху: правові та організаційні аспекти :

матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції. Кривий Ріг, 2017. С. 14–16.

9. Бабій М.В., Денисюк В.І. Застосування найпростіших трендів для прогнозування товаропотоку автоперевезень на наступний рік. Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. Тернопіль : ТНТУ, 2017. Том 3. С. 18-19.

10. ГСТУ 218-03450778.092-2002. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги загального користування.

11. Бабій М.В. Обґрунтування раціональної тривалості робочого часу водія при виконанні транспортних операцій / М.В. Бабій, А.В. Бабій, А.Й. Матвіїшин // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Випуск 169 “Деревооброблювальні технології та системотехніка лісового комплексу” – Харків, 2016. С. 232–236.

12. Автомобільні перевезення вантажів : [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://readonline.com.ua/items/anons/vazhnoe-anons/16684-avtomobilni-perevezennya-vantazhiv-perevagi-ta-nedoliki/.

13. Babii A., Babii M.(2019) Impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 95, no 3, pp. 97-104.

14. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник / За редакцією Я. І. Бедрія. – Львів: Видавнича фірма «Афіша», 1999. - 275 с.

15. Бабій А., Бабій М. Дослідження міцності елементів конструкції функціонально-транспортуючих мобільних засобів. Науковий журнал «Інженерія природокористування», 2019. №3 (13) С. 87–91.

16. Желібо Є. П., Заверуха Н. М., Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти України I-IV рівнів акредитації / За ред. Е. П. Желібо і В. М. Пічі. – Київ: «Каравела», Львів: «Новий Світ – 2000», 2001. – 320с.

17. Вікович І.А. Теорія руху транспортних засобів: підруч. / І.А. Вікович. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 672 с.

18. Бабій М.В. Дослідження ефективності розподілу асигнувань між взаємодіючими видами транспорту. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій “до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 55.

19. Babii A., Babii M. (2019) Taking impact of oscillation amplitude of bearing frame sections of boom sprayers into account on its resource. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 95, no 3, pp. 97-104.

20. Oleksandr Andreykiv, Andrii Babii, Iryna Dolinska, Nataliya Yadzhak, Mariia Babii. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. Procedia Structural Integrity. Volume 36, 2022, P. 36-42.

21. Бабій М.В. Дослідження раціональної тривалості робочого часу водія. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. Тернопіль : ТНТУ, 2016. Том 1. С. 105.

22. Кашканов А. А., Ребедайло В. М. Економіка підприємств автомобільного транспорту: Навч. посібник для студ. спец. "Автомобілі та автомобільне господарство" / Вінницький держ. технічний ун- т. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 115 с.

23. Бабій М.В., Бісовський Н.М., Балацький С.С. Аналіз проблематики при взаємодії видів транспорту. Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. Тернопіль : ТНТУ, 2020. Том 1. С. 153.

24. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 105, no 1, pp. 5–12.

25. ГОСТ 4092 - 2002. Світлофори дорожні. Загальні технічні умови, правила застосування та вимоги безпеки. - К. : Держстандарт України, 2002. - 31 с.

26. Бабій М.В., Долинний А.В., Костюк Є.Р. Постановка основних задач організації перевезень тролейбусним транспортом. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. Тернопіль : ТНТУ, 2019. Том 1. С. 159–160.

27. Гончаров М. Ю. Системний факторний аналіз економічних процесів на транспорті / Інститут (Центр) комплексних транспортних проблем. – К. : Логос, 1999. – 423 с.

28. В.В. Аулін, М.Є. Кристопчук, О.П. Цьонь, М.Я. Сташків, М.В. Бабій, Ю.Д. Бодоря. Глобальна криза від пандемії Covid-19 та її вплив на мобільність населення. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 2021, вип. 4(35). С. 247-253.

29. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: [підруч.] / Олександр Артемович Лудченко. – К.: Вища шк., 2007.

30. Темченко А. Г., Максимов С. В. Економіка підприємств автомобільного транспорту: навч. посібник. – Кривий Ріг : Видавничий центр КТУ, 2008. –404с.

31. Яцківський Л. Загальний курс транспорту : Навчальний посібник, Кн.1 / Любомир Яцківський, Дмитро Зеркалов; М-во освіти і науки України, Національний транспортний університет. – К. : Арістей, – 2007. – 239 с.