

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**  
**КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І ГОСПОДАРСТВА**  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

на тему «Вплив динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг»

Виконав: студент 2 курсу, групи БУД 18-5мд1  
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
(код і назва спеціальності)

освітньої програми «Міське будівництво та господарство»  
(код і назва освітньої програми)

Сегрушні Іссам  
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н. Банах А.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент ст.викл. Світлична В.Б.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет Будівництва та цивільної інженерії  
Кафедра Міського будівництва і господарства  
Рівень вищої освіти другий рівень (магістерський)  
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
(код та назва)  
Освітня програма Міське будівництво та господарство  
(код та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри А.В. Банах  
« 08 » січня 20 20 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Сегрушні Іссам  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) «Вплив динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг»

керівник роботи Банах Андрій Вікторович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «10» вересня 2019 року № 1542-с

2 Строк подання студентом роботи 08.01.2020

3 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливості розв'язання проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) проаналізувати та узагальнити методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг; проаналізувати нормативну базу та результати досліджень щодо впливу динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг; провести аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку конструкцій автомобільних доріг; обґрунтувати критерії міцності з врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування;

*розробити рекомендації щодо підвищення стійкості до утворення асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.*

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових аркушів із результатами аналітичних обчислень).

*Від восьми графічних аркушів із результатами експериментальних досліджень наукового напрямку досліджень, результатами експериментальних досліджень, доказами оптимальності запропонованих методик, результатами розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів дослідження.*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прий
1	Банах А.В., доцент		
2	Банах А.В., доцент		
3	Банах А.В., доцент		
4	Банах А.В., доцент		

4 Дата видачі завдання 03.09.2019

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	П
1.	Розділ 1 Аналіз деформацій та руйнувань конструкцій дорожнього одягу	20 жовтня	
2.	Розділ 2 Методи розрахунку конструкцій автомобільних доріг	15 листопада	
3.	Розділ 3 Практичні приклади впровадження	10 грудня	
4.	Розділ 4 Охорона праці та техногенна безпека у будівництві	25 грудня	
	Попередній захист	8 січня	

Студент (підпис)

Сегрушні Іссам  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) (підпис)

Банах А.В.  
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер (підпис)

Фостащенко О.М.  
(ініціали та прізвище)

Активация Windows  
Чтобы активировать Windows

## АНОТАЦІЯ

Сегрушні Іссам. Вплив динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник А.В. Банах. Факультет будівництва та цивільної інженерії, кафедра міського будівництва та господарства, 2020.

Наведені методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг, проведений аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку конструкцій автомобільних доріг, обґрунтовані критерії міцності з врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування. Розроблені рекомендації щодо розрахунку основних показників, які визначають надійність конструкцій автомобільних доріг.

Ключові слова: ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ, КОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, ДІЇ НАПРУЖЕНЬ ВІД ТРАНСПОРТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ, НАДІЙНІСТЬ

## ABSTRACT

Segrushni Issam. The influence of dynamic loads on the construction of roads. Qualification final work for obtaining a higher education degree of a master in specialty 192 - Construction and civil engineering, supervisor A.V. Banach. Faculty of Civil Engineering and Civil Engineering, Department of Urban Construction and Economics, 2020.

The given methodological approaches are aimed at improving the reliability of roads, the analysis of structural solutions and methods for calculating the construction of roads is carried out, strength criteria are justified taking into account the combined action of stresses from the transport load and stresses from

thermal deformation. Recommendations have been developed for calculating the main indicators that determine the reliability of road structures.

Key words: DYNAMIC LOADS, STRUCTURES OF ROADS, ACTIONS OF VOLTAGES FROM TRANSPORT LOADS, RELIABILITY.

#### АНОТАЦИЯ

Сегрушни Иссам. Влияние динамических нагрузок на конструкции автомобильных дорог.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 192 - Строительство и гражданская инженерия, научный руководитель А.В. Банах. Факультет строительства и гражданской инженерии, кафедра городского строительства и хозяйства, 2020.

Приведенные методические подходы направлены на повышение надежности автомобильных дорог, проведен анализ конструктивных решений и методов расчета конструкций автомобильных дорог, обоснован критерии прочности с учетом совместного действия напряжений от транспортной нагрузки и напряжений от температурного деформирования.

Разработаны рекомендации по расчету основных показателей, определяющих надежность конструкций автомобильных дорог.

Ключевые слова: ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ, КОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, ДЕЙСТВИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ, НАДЕЖНОСТЬ.

#### ЗМІСТ

Анотація .....	3
Abstract .....	3
Анотация .....	4
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ ДЕФОРМАЦІЙ ТА РУЙНУВАНЬ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ .....	11
1.1 Аналіз деформацій та руйнувань конструкцій дорожнього одягу з асфальтобетонними шарами на жорсткій основ.....	11
1.2 Аналіз методів і засобів оцінювання деформативності дорожніх конструкцій .....	18
1.3 Аналіз виникнення колійності на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу .....	21
РОЗДІЛ 2	
МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ .....	28
2.1 Конструювання і розрахунки нежорстких дорожніх одягів .....	28
2.2 Параметри для визначення розрахункового сумарного числа прикладення навантаження за термін служби дорожнього одягу.....	30
2.3 Розрахунок надійності конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу .....	36
2.4 Методи розрахунку від дії транспортного навантаження .....	44

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНІ ПРИКЛАДИ ВПРОВАДЖЕННЯ

3.1 Розрахунки тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі за критеріями міцності .....	48
3.2 Моделювання напружено-деформованого стану тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі від одночасної дії транспортного навантаження та температурного деформування .....	54
3.3 Дослідження процесів накопичення незворотних пластичних деформацій у вигляді колії в асфальтобетонних шарах дорожніх одягів .....	66
3.4 Практичні рекомендації щодо підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу .....	74

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Вимоги безпеки та охорони навколишнього середовища .....	84
4.2 Вимоги охорони навколишнього середовища .....	85
4.3 Особливості організації будівництва вулиць, доріг і штучних споруд .....	86
ВИСНОВКИ .....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	91

## ВСТУП

*Актуальність проблеми.* Як свідчить практика, проблеми які виникають при експлуатації автомобільних доріг, у більшості випадків пов'язані зі швидким руйнуванням дорожнього покриття та полягають у порушенні основних вимог, які закладаються на етапі проектування: порушення технології будівництва; нехтування впливу факторів навколишнього середовища, а зокрема погодно-кліматичних умов; неврахування складного напружено-деформованого стану у поперечних профілях конструкцій автомобільної дороги, який виникає у результаті постійного динамічного навантаження, спричиненого автотранспортними засобами тощо.

Основними факторами, що призводять до збільшення динамічної дії транспорту в процесі експлуатації, є зниження рівності дорожнього покриття і збільшення швидкісних режимів руху.

Головний недолік існуючої мережі автомобільних доріг – недостатній коефіцієнт запасу міцності дорожніх конструкцій. Це пов'язано з тим, що раніше вантажопідйомність автомобілів знаходилась в межах до 15 тон, а зараз повна маса автопоїздів може досягати 50 тон. Існуюча дорожня мережа експлуатується в режимі, який перевищує розрахунковий.

Складний напружено-деформований стан асфальтобетонного шару, що пояснюється одночасною дією напружень від транспортного навантаження та температурних напружень може призвести до досить швидкого руйнування та витрат на передчасні ремонти.

Виходячи з вищевикладеного, підвищення надійності автомобільних доріг є однією з головних складових підвищення надійності функціонування доріг.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Випускна робота виконана відповідно з планами науково-дослідних робіт кафедри міського будівництва та господарства Запорізького національного університету. Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – аналіз методів розрахунку

за критеріями міцності з врахуванням одночасної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування.

*Метою роботи* є дослідження впливу динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг та аналіз методу розрахунку за критеріями міцності з врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачене рішення наступних задач:

- проаналізувати та узагальнити методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг;
- проаналізувати нормативну базу та результати досліджень щодо впливу динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг;
- провести аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку конструкцій автомобільних доріг;
- обґрунтувати критерії міцності з врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування.
- розробити рекомендації щодо підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.

*Об'єкт дослідження* – процес деформування конструкцій автомобільних доріг.

*Предмет дослідження* – напружено-деформований стан конструкцій автомобільних доріг від комплексного навантаження, що виникає під дією транспортного навантаження та температурного деформування.

*Методи дослідження.* В процесі опрацювання роботи застосовано метод аналізу та узагальнення; теоретичних досліджень, заснованими на сучасних досягненнях в області теорії та практики підвищення надійності конструкцій автомобільних доріг згідно сучасних нормативних документів.

*Джерела дослідження.* Під час дослідження теми були використані наукові статті в періодичних виданнях, монографії, дисертаційні рукописи, збірки тез доповідей науково-практичних конференцій, інтернет-ресурси наукових електронних бібліотек.

*Наукова новизна* одержаних результатів полягає в наступному:

- досліджені та узагальнені методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг;
- проаналізована нормативна база та результати досліджень щодо впливу динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг;
- проведений аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку конструкцій автомобільних доріг;
- обґрунтовані критерії міцності з врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування.
- розроблені рекомендації щодо підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.

*Практичне значення одержаних результатів* полягає у дослідженні та узагальненні методичних підходів, що спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг; наведені результати досліджень щодо сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, що технічні характеристики геосинтетичних матеріалів; наведені приклади впровадження сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, обґрунтовано мінімально допустиму товщину асфальтобетонного шару на жорсткій основі з умови забезпечення зчеплення на контактні шарів для різних типів підґрунтовки для різних регіонів України.

Результати запропонованої роботи можуть бути використані всіма учасниками будівельного проекту на стадії його реалізації.

*Особистий внесок автора.* Наведені методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг, проведений аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку конструкцій автомобільних

доріг, обґрунтовані критерії міцності з врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування. Розроблені рекомендації щодо розрахунку основних показників, які визначають надійність конструкцій автомобільних доріг.

Розроблені рекомендації щодо підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.

*Відомості про апробацію результатів роботи.* Апробація роботи – за результатами досліджень опубліковано тези доповіді на XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів ІІ ЗНУ, Запоріжжя, 26-29 листопада 2019 р. Запоріжжя: ІІ ЗНУ, 2019. Том ІІ. С. 12.

*Відомості про публікації здобувача.* Вплив динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг – тези доповіді на XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів ІІ ЗНУ, Запоріжжя, 26-29 листопада 2019 р. Запоріжжя: ІІ ЗНУ.

*Структура та обсяг магістерської роботи.* Робота складається з вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 100 сторінках, 10 таблиць, 18 рисунків. Для написання даної роботи використано 68 літературних джерела.

## РОЗДІЛ І АНАЛІЗ ДЕФОРМАЦІЙ ТА РУЙНУВАНЬ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

### 1.1 Аналіз деформацій та руйнувань конструкцій дорожнього одягу з асфальтобетонними шарами на жорсткій основі

В Україні переважна більшість вантажів транспортується автомобільним транспортом. За даними І.П. Гамеляка [1] протягом багатьох років спостерігається зростання інтенсивності руху (більше ніж у два рази за десять років) і навантаження на вісь (з 60 – 100 кН до 115 – 130 кН) та тиск (з 0,45 – 0,60 МПа до 0,85 – 0,90 МПа). Конструкції нежорстких дорожніх одягів не розраховані на таке навантаження, що приводить до катастрофічного руйнування дорожнього покриття. Науковці І.П. Гамеляк, С.М. Толмачов, О.П. Афіногенов, В.К. Апестін стверджують про доцільність збільшення будівництва доріг з використанням дорожнього одягу жорсткого типу, оскільки він має високу міцність та довговічність [1-5].

Важливими є економічні аспекти будівництва бетонних покриттів. В Україні спостерігається нестача власної сировини для виробництва дорожнього бітуму, щоб забезпечити потреби будівництва, а випуск цементу в Україні практично необмежений з точки зору сировини і ресурсів [4, 5].

За кордоном вже давно найбільш вантажонапружені автомобільні дороги будують з використанням жорсткого дорожнього одягу [6].

За даними Укравтодору станом на 2019 р. в Україні експлуатується понад 2100 км доріг загального користування з жорстким дорожнім одягом (Миронівна – Канів – Софіївка (під'їзд до Каніва), Київ – Харків – Довжанський (об'їзд Харкова), Харків – Красноград – Перещепіно, Кіпті – Глухів – Бачівськ (в Чернігівській області), Київ – Ковель – Ягодин, Київ – Чоп та ін.) [7-9].

Більшість існуючих автомобільних доріг з цементобетонним покриттям в Україні збудовано більше 30 років тому, логічно що майже всі вони потребують ремонту [2, 10]. Найчастіше дефекти на покритті з'являються протягом перших років експлуатації [2, 11]. До найпоширеніших дефектів і руйнувань цементобетонних покриттів відноситься: лущення поверхневого шару бетону, тріщинуватість, обколи кутів і країв плит, викривлення, руйнування стикових з'єднань і заповнювачів швів [2, 3, 7-14]. При цьому несуча здатність багатьох дорожніх одягів залишається достатньо високою і вони потребують лише підвищення транспортно-експлуатаційного стану. Тому в більшості випадків, оскільки цементобетонні плити зберігають високу міцність їх варто використовувати в якості основи під асфальтобетонне покриття, бо асфальтобетон є більш ремонтпридатним та дозволяє підвищувати транспортно-експлуатаційні характеристики покриття [14]. При цьому варто зазначити, що перед влаштуванням асфальтобетонного шару вважається за необхідне відремонтувати старі цементобетонні плити: заповнити місця глибокого лущення бетону, залити тріщини, очистити та заповнити герметизуючим матеріалом деформаційні шви [14]. Після цього можна влаштувати шар з асфальтобетону на основу з старого цементобетону, а інакше все нове покриття швидко зруйнується та не буде досягнуто позитивного ефекту.

Дорожній одяг у 90-х роках влаштований з монолітного цементобетону, який при експлуатації зазнав значних дефектів у вигляді:

- шліфування поверхні плит та втрати шорсткості, що значно зменшує безпеку руху;
- лущення поверхневого шару цементобетону;
- сколи країв та кутів плит;
- тріщинуватість;
- руйнування стикових з'єднань та заповнювачів швів;
- вибоїни та раковини.

Причиною цих дефектів є дія транспортного навантаження, природнокліматичних факторів та дія хімічних протижелезних реагентів. Ці дефекти важко усунути, також вони є основою для подальшого руйнування цементобетонних плит. Тому вкрай важливо при новому будівництві та ремонті цементобетонних плит влаштувати захисний шар з тонкого асфальтобетонного покриття.

При влаштуванні асфальтобетонного шару на цементобетонних плитах використовуються різні товщини асфальтобетонного шару в залежності від стану цементобетонних плит. При новому будівництві варто використовувати тонкошарове асфальтобетонне покриття, оскільки немає необхідності у вирівнюванні цементобетонного покриття.

Тонкі одношарові асфальтобетонні покриття варто використовувати в разі необхідності підвищення коефіцієнта зчеплення та незначного підвищення рівності цементобетонних плит. Таким чином виконано ремонт об'їзної дороги навколо Харкова. Дорожній одяг перед початком ремонту був наступний: шар піску, цементобетонні плити товщиною від 19 см до 21 см, асфальтобетон шар товщиною від 3 см до 9 см. В процесі ремонту були виконані роботи по фрезеруванню старого асфальтобетону, заміна окремих зруйнованих цементобетонних плит, в місцях, де це необхідно, влаштування вирівнюючого шару з дрібнозернистого асфальтобетону та верхнього шару покриття з щебенево-мастикового асфальтобетону товщиною 5 см [7].

Двох і більше шарова конструкція асфальтобетонних покриттів використовується у випадках, коли цементобетонні плити зазнали значних руйнувань, втрату рівності та потребують посилення. Також значна товщина асфальтобетону може з'явитися в результаті систематичного влаштування нових шарів поверх існуючих.

Конструкція, що отримана влаштуванням тонкошарового асфальтобетонного покриття на цементобетонних плитах характеризується достатньо міцною та довговічною основою у вигляді цементобетонних плит,

а асфальтобетонний шар виконує функцію захисного або шару зносу і дозволяє отримати високі транспортно-експлуатаційні показники [16, 18].

Підвищення транспортно-експлуатаційних показників цементобетонних плит за допомогою тонких асфальтобетонних шарів використовується в Німеччині, Росії, Італії, Франції, Угорщині, США та інших країнах [19, 20].

Недоліком використання конструкцій з асфальтобетонним шаром на цементобетонних плитах є досить висока ймовірність виникнення температурних тріщин та відображених тріщин в асфальтобетонному шарі над швами цементобетонних плит.

Небезпека виникнення тріщин у асфальтобетонному покритті полягає у тому, що поступово погіршується рівність покриття, суттєво знижується комфортність руху, знижується безпека руху, підвищуються транспортні витрати, відбувається потрапляння вологи у тріщини та під асфальтобетонний шар.

Утворення тріщин призводить до передчасного руйнування покриття, а також погіршує умови роботи цементобетонної плити. Ремонтні роботи по ліквідації таких руйнувань мають значну вартість та трудоемкість [21-23].

Існує дві основні причини відображеного тріщиноутворення в асфальтобетонному шарі над швами цементобетонних плит:

а) при коливанні температури цементобетонні плити змінюють свої лінійні розміри, при цьому змінюється ширина температурного шва між ними. Тому в зоні температурного шва цементобетонних плит ці деформації будуть сприйматися асфальтобетонним шаром [11].

б) під дією транспортного навантаження над стиком цементобетонних плит в асфальтобетонному шарі виникають деформації і напруження зсуву або згину.

Завдяки циклічності температурного деформування і транспортного навантаження в асфальтобетонного шару над стиком цементобетонних плит поступово накопичуються втомні пошкодження, що призводить до формування відображеної тріщини над швом [11].

Дослідженнями науковців: О.Г. Бабака, А.М. Богуславського, В.А. Веренько, Л.Б. Гезенцевя, М.В. Горелишева, Л.С. Губача, О.О. Жукова, М.М. Іванова, О.Ю. Мерзликіна, В.В. Мозгового, А.М. Онищенко, Б.С. Садовського, Г.К. Сюньї та інших встановлено, що температурні тріщини в асфальтобетонному покритті виникають від дії розтягуючих напружень, які призводять до температурного розтріскування покриття [24].

Основними причинами виникнення розтягуючих температурних напружень є [24]:

- забезпечення зчеплення покриття з основою, що призводить до обмеження можливості вільного скорочення розмірів асфальтобетонного покриття при охолодженні;
- вигин покриття в результаті морозного здимання;
- жолоблення внаслідок різниці температури по товщині конструктивних шарів.

Дослідниками встановлено, що до основних видів пошкоджень, окрім відображених тріщин відносять вибоїни, колійність, розшарування асфальтобетонного шару і цементобетонної плити, напливи та ін [11, 13, 17, 19].

Ділянки дорожнього одягу, на яких відбулося розшарування (відрив) асфальтобетонного покриття від цементобетонної основи (рис. 1.1) з подальшим руйнуванням покриття.

Причиною цього є те, що при незабезпеченому зчепленні асфальтобетонного шару та цементобетонної плити асфальтобетонний шар конструктивно працює окремо від жорсткої основи.

До швидкого руйнування тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі при втраті зчеплення призводить горизонтальне навантаження від сил гальмування та тягової сили транспортних засобів.

Умова вільного, тобто не зчепленого контакту асфальтобетонного шару та цементобетонної плити призведе до накопичення води в зоні



контакту шарів. Накопичення води також сприяє швидкому руйнуванню покриття, оскільки при проїзді транспортних засобів відбувається швидке переміщення води під покриттям та виникає ефект гідравлічного удару [21, 24].



Рисунок 1.1 – Розшарування асфальтобетонного шару і цементобетонної плити на автомобільній дорозі

Окрім розшарування на ділянці спостерігається утворення колії глибиною понад 30 мм (основному на ділянках підйомів та спусків (рис. 1.2)).



Рисунок 1.2 – Колія в асфальтобетонному покритті на жорсткій основі на автомобільній дорозі

Найбільш поширеними деформаціями і руйнуваннями асфальтобетонних покриттів на жорсткій основі є:

- розшарування асфальтобетонного шару і цементобетонної плити при незабезпеченому зчепленні контакту шарів;
- колійність (в основному на ділянках підйомів і спусків, на кривих в плані та перехідно-швидкісних смугах);
- випирання (зсув частини асфальтобетону у поперечному та поздовжньому напрямку);
- руйнування деформаційного шва у асфальтобетонному шарі.

Всі перераховані деформації і руйнування виникають завдяки дії двох головних факторів: температурних напружень від зміни температурного режиму і дії транспортного навантаження.

Як відомо, при зміні температури навколишнього середовища асфальтобетонний шар і цементобетонна плита змінюють свої розміри. В той же час лінійні коефіцієнти температурного розширення асфальтобетону і цементобетону значно відрізняються і відрізняється їхній температурний градієнт [21-24, 29].

Оскільки модуль пружності, жорсткість та товщина у асфальтобетонного шару значно менше ніж у цементобетонної плити, то асфальтобетонний шар змушений деформуватися так, як деформується цементобетонна плита. При цьому в асфальтобетонному шарі залишається нереалізована або вимушена деформація, що призводитиме до появи температурних напружень.

Для запобігання відображеного тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах необхідно передбачити влаштування деформаційних швів над швами цементобетонних плит.

Температурні деформації і напруження в асфальтобетонному шарі на цементобетонній основі виникають коли відбувається зміна температури навколишнього середовища, а отже діють майже постійно, зменшуючись, або збільшуючись залежно від властивостей асфальтобетонного шару, температури повітря і сонячної радіації.

## 1.2 Аналіз методів і засобів оцінювання деформативності дорожніх конструкцій

Розробкою методів і засобів оцінки деформативності дорожніх конструкцій займалися: Аленіч М.Д., Апестін В.К., Балащенко Ю.О., Біруля О.К., Білан О.О., Батраков О.Т., Гамеляк І.П., Глуховський В.М., Гусєв В.М., Зінченко В.Д., Іваніца Є.В., Іванов М.М., Іноземцев А.А., Кизима С.С., Коганзон М.С., Коновалов С.С., Корсунський М.Б., Кривисський А.М., Міщенко М.Л., Мозговий В.В., Павлюк Д.О., Піскунов В.Г., Пузаков М.О., Радовський Б.С., Сіденко В.М., Смірнов О.В., Стелюк Л.П., Теляєв П.І., Теренецький К.С., Титаренко О.М., Троїцька М.М., Федоренко Ю.М.

Аналіз виявив, що серед великої кількості методів і засобів оцінювання деформативності дорожньої конструкції найбільш точними та надійними є статичні випробування.

У той же час встановлено, що статичні випробування мають низку суттєвих недоліків:

- низька продуктивність вимірювань при штапових випробуваннях, обумовлена навантаженням ручним домкратом;
- громіздкість обладнання, трудомісткість його монтажу;
- при навантаженні дорожньої конструкції колесом автомобіля мають місце похибки, обумовлені неточністю забезпечення розрахункового навантаження на вісь, зміною площі контакту колеса з покриттям в результаті нагрівання шини та зміни тиску повітря в ній;
- складність повторення випробувань на одній і тій же точці;
- вплив часті прогину від коліс великовагової техніки, яка використовується для створення навантаження, на результати вимірювань;
- вплив температурних деформацій конструкцій прогиномірів на результати вимірювань.

На практиці найбільшого поширення отримали засоби, що реалізують динамічний метод. Вони характеризуються мобільністю, відсутністю потреби

в великовантажній техніці для створення навантаження та моделюють близьку до реальної взаємодію рухомого колеса з покриттям.

Від дії транспортного навантаження асфальтобетонне покриття знаходиться у складному напружено-деформованому стані. Це пояснюється тим, що на покриття діє не тільки вертикальне навантаження, а і горизонтальна сила [30-32]. Горизонтальне навантаження виникає в наслідок тягових зусиль на ведучих колесах або гальмівної сили. Напруження більш за все залежать від властивостей дорожньої конструкції, режиму руху, часу дії навантаження і ваги транспортного засобу. При цьому на відміну від температурних напружень вони діють лише при наявності руху транспортних засобів. А температурні напруження виникають навіть за відсутності руху транспортних засобів. Тому, при проїзді транспортного засобу виникають напруження від транспортних засобів, а асфальтобетонний шар вже до цього моменту знаходиться в напруженому стані від дії температурних напружень.

Напруження від дії температури і транспортного навантаження можуть компенсувати одне одного або доповнювати. При розрахунку конструкції окремо на дію температурних напружень і окремо на дію транспортного навантаження може бути забезпечена міцність конструкції і матеріалів. Але оскільки в реальних умовах можливе поєднання цих напружень, що посилюватиме руйнівну дію на конструкцію, то при розрахунках необхідно враховувати одночасність дії температурних напружень і напружень від дії транспортного навантаження.

Виходячи з аналізу найпоширеніших деформацій і руйнувань, притаманних асфальтобетонним шарам на цементобетонних плитах та факторів, що їх викликають, при конструюванні та розрахунках на міцність асфальтобетонних шарів обов'язково потрібно врахувати, що:

- необхідно вживати конструктивних заходів для попередження відображеного тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах над швами цементобетонних плит;

- необхідно конструктивно забезпечити надійне зчеплення контакту асфальтобетонного шару та цементобетонної плити для попередження швидкого руйнування покриття;

- асфальтобетонні шари на жорсткій основі майже постійно знаходяться під впливом змінних температурних напружень, тому їх слід враховувати при розрахунках конструкції за критеріями міцності;

- напруження в асфальтобетонному шарі на цементобетонній плиті виникають від дії двох різних факторів (температурного деформування та від дії транспортного навантаження), які діють незалежно один від одного. Проте напруження від дії цих факторів можуть поєднуватись і перебільшувати межу міцності асфальтобетонного шару;

- тріщиноутворення асфальтобетонного шару притаманно для режиму охолодження конструкції, а випирання, зсуви та колійність асфальтобетону притаманні переважно для високих експлуатаційних температур. Тому при розрахунках на міцність від дії температурних напружень та транспортного навантаження необхідно враховувати як режими нагріву, так і охолодження конструкції.

Недоліком переважної більшості засобів, що реалізують динамічний метод є те, що для вимірювань необхідно встановлювати реперну балку. Це ускладнює конструкцію, потребує додаткових витрат часу, ручної праці оператора, знижує його безпеку під час вимірювань.

За останні роки, завдяки багатьом дослідженням [21, 23, 75, 88-90], створено наукову базу для аналізу термореологічних властивостей асфальтобетону з врахуванням зміни температури. Це створює передумови для врахування часу дії температурного деформування асфальтобетонного шару та зміни температури, що варто враховувати при розрахунках температурних напружень, які на відміну від транспортного навантаження діють значний проміжок часу.

### 1.3 Аналіз виникнення колійності на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу

Під час експлуатації автомобільної дороги в результаті впливу природно-кліматичних факторів, характеристики будівельних матеріалів та постійного зростання інтенсивності руху зі швидкістю і вантажопід'ємністю автотранспортних засобів конструкція дорожнього одягу, навіть при дотриманні норм проектування та будівництва, втрачає поздовжню та поперечну рівність. В ній відбувається інтенсивне накопичення пластичних деформацій, в наслідок чого різко підвищується динамічний вплив від руху автомобілів на конструкцію дорожнього одягу та знижується безпека руху [1, 2]. Результати аналізу колійності на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг України наведено нижче на рис. 1.3.

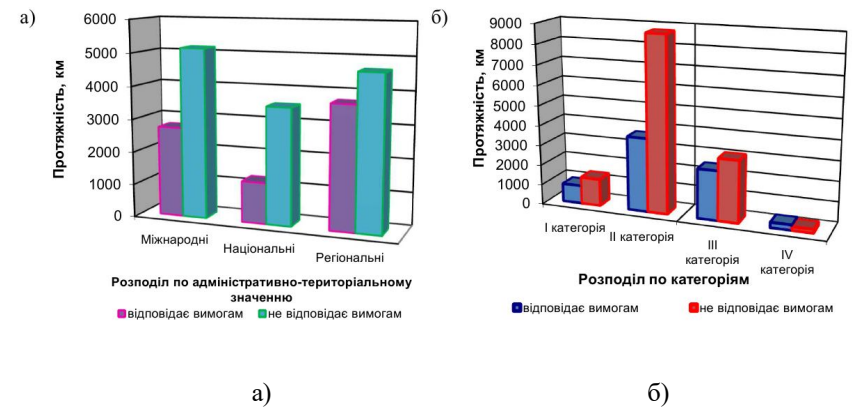


Рисунок 1.3 – Результати аналізу колійності на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу [3]:

- а) в залежності від адміністративно-територіального значення;
- б) категорії

При експлуатації дорожнього покриття на його поверхні з'являються й накопичуються різні пластичні деформації у вигляді колії, що пов'язане з недостатньою деформаційною стійкістю асфальтобетонних шарів, незв'язних шарів та основи конструкції дорожнього одягу [1, 2, 4].

Колія є результатом деформування поперечного профілю проїзної частини у вигляді поглиблень по смугах накату із гребенями або без гребенів випору.

Процес утворення колії супроводжується накопиченням залишкових деформацій і структурних руйнувань і може відбуватися як в одному, так й у декількох шарах дорожньої конструкції (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Натурне дослідження пошарового утворення залишкових деформацій в шарах конструкції нежорсткого одягу

Зміна транспортних навантажень вимагає постійного вдосконалювання конструкцій дорожніх одягів і методів їх розрахунку. Перші наукові дослідження як в області розрахунку, так й оцінки впливу транспортно-експлуатаційних факторів на дорожню конструкцію були проведені: Бабковим В.Ф., Батраковою А.Г., Бірулею А.К., Білятинським О.А., Березанцевим В.Г., Буличевським В.Г., Васильєвим О.П., Гамеляком І.П., Дубелірою Г.Д., Жданюком В.К., Івановим Н.Н., Іноземцевим А.А., Кіашком І.В., Кизимом С.С., Міховичем С.Г., Мозговим В.В., Некрасовим В.К.,

Онищенком А.М., Остоверхим О.Г., Павлюком Д.О., Покровським Г.І., Радовским Б.С., Раппопортом Р.М., Савенком В.Я., Сіденком В.М., Солодким С.Й., Смірноюю Н. В., Стороженком М.С., Телтаєвим Б.Б., Філіповим В.В., Якуніним М.Я. та іншими дослідниками [21, 32 – 38].

Результати досліджень [1-5] вказують, що пластичні деформації асфальтобетонного покриття пов'язано із числом циклів впливу навантаження, тривалістю навантаження, величиною навантаження на вісь, властивостями асфальтобетону й природньо-кліматичними умовами.

Конструкція нежорсткого дорожнього одягу сприймає різні види статичного й динамічного впливу від навантаження коліс автомобільного транспорту, що призводить до зворотних та незворотних деформацій, від характеру й величини яких залежить термін служби [1, 2, 4] автомобільної дороги.

В дослідженнях авторів [1, 2, 4-11] було детально розглянуто питання виникнення прогинів дорожньої конструкції під автомобільним транспортом. Вертикальні деформації приводять до виникнення напружень, які проникають на значну глибину дорожньої конструкції.

Результати дослідження свідчать, що напруження, які виникли на поверхні покриття, визначаються за інших рівних умов сумою нормальних сил, переданих на горизонтальну поверхню покриття пневматичними колесами нерухомого автотранспортного засобу.

В результаті досліджень [1, 2, 4-11] було виявлено, що величина прогину конструкції збільшується зі збільшенням питомого тиску від колеса автомобіля на автомобільну дорогу та зменшенням його площі відбитку.

Внаслідок багаторазового навантаження, від руху транспортних засобів, відбувається накопичення незворотних деформацій, що проявляють в утворенні поздовжньої деформації – колії асфальтобетонного покриття. Колія асфальтобетонного покриття являє собою поглиблення поздовжнього напрямку на проїзній частині, що утворилися по смузі накату під дією транспортних засобів.

Також горизонтальні напруження у верхньому шарі дорожнього покриття виникають при гальмуванні й прискоренні автомобільного транспорту і призводять до появи хвиль, що беруть участь у процесі утворення незворотних деформацій, які в свою чергу залежать від транспортного потоку.

Авторами [4-11] велику увагу приділено різновиду впливу динамічних і статичних навантажень на конструкцію нежорсткого дорожнього одягу.

Відмінність динамічного від статичного навантаження полягає в наступному [1, 2, 4]:

- при динамічному навантаженні виникають менші вертикальні деформації, що зумовлено часом дії навантаження;
- хвильові процеси на поверхні покриття збільшуються зі збільшенням швидкості руху транспортних засобів;
- при динамічному навантаженні напруження по глибині конструкції дорожнього одягу й у ґрунті земляного полотна загасає швидше;
- релаксація дорожнього одягу проходить за час, еквівалентний періоду пружної хвилі, що поширюється від транспортного засобу.

Циклічне повторення навантаження з послідовним збільшенням кількості циклів навантаження веде до росту дефектів [1, 2, 4]. Однак вплив ненормативних навантажень на покриття при циклічному впливі інтерпретується як лінійна інтегральна величина, що не дає реальної картини фізичних процесів при утворенні залишкової деформації в асфальтобетонному покритті.

Тенденція навантаження на конструкцію дорожнього одягу свідчить про вплив великовантажних транспортних засобів з осьовими навантаженнями, що перевищують розрахункове, установлене чинними нормативними документами на проектування нежорстких дорожніх одягів [12]. Для приведення розрахункових навантажень до реальних дорожніх умов у нормативній документації [1, 12] прийнято навантаження 115 кН, але й воно вже не відповідає тенденціям розвитку автомобільного транспорту.

Деформації і руйнування асфальтобетонного покриття від впливу навантаження, що перевищує розрахункове, потребує вивчення та подальшого вдосконалювання методів розрахунку й конструювання дорожніх одягів.

Недооцінка впливу величини транспортного потоку приводить до зниження міцності дорожньої конструкції, що проявляється в передчасній деформації дорожнього покриття.

Також під впливом колісного навантаження на покритті утворюється чаша прогину, величина якої залежить від часу й величини прикладеного навантаження [13]. Чаша прогину характеризується радіусом кривизни поверхні покриття під колесом автомобіля й діаметром, завдяки даним параметрам враховується спільна робота покриття й основи, яка в свою чергу передає навантаження на ґрунт земляного полотна, фізико-механічні характеристики якого враховуються при розрахунку дорожніх одягів. При проектуванні й оцінці міцності нежорстких дорожніх одягів пружний прогин є головним показником міцності.

Вплив повторного навантаження на асфальтобетонне покриття походить від всіх видів транспортних засобів у транспортному потоці з характерним часом дії: від вантажного транспорту, що рухається з невеликою швидкістю, і від легкового, що має менший час впливу на конструкцію нежорсткого дорожнього одягу.

Під час експлуатації автомобільної дороги відбувається руйнування покриття, що в свою чергу прискорюється зі збільшенням транспортного потоку. Кількість і час дії прикладеного навантаження впливає на втомне руйнування шарів нежорсткого дорожнього одягу, що проявляється в утворенні незворотної деформації верхнього шару покриття у вигляді колії асфальтобетонного покриття та виникнення тріщин на покритті.

Результати досліджень свідчать, що вплив транспорту на появу деформацій і руйнувань проявляються при збільшенні інтенсивності руху й скороченні часу між проїздами автомобілів. Зі збільшенням інтенсивності

поток руху, коли час між проїздами автомобілів стає мінімальним, конструкція нежорсткого дорожнього одягу не в повній мірі релаксується від впливу колісного навантаження попереднього автомобіля й на нього накладається вплив наступного. Це спричиняє збільшення прогину, що приводить до накопичення внутрішніх напружень у матеріалі, що містить органічні в'язучі речовини.

Особливий вплив на міцність конструкції нежорсткого дорожнього одягу мають і природно-кліматичні фактори.

Температура покриття впливає на властивості матеріалів, що містять органічні в'язучі речовини. Збільшення температури сприяє зміні фізико-механічних властивостей асфальтобетону, при підвищених температурах знижується модуль пружності і зсувостійкість та підвищується пластичність.

Зволоження ґрунту земляного полотна й ряду матеріалів, використовуваних в нежорсткому дорожньому одязі, спричиняє зниження їх міцнісних і деформаційних показників.

Крім того, зменшення розміру зерен мінеральної частини носить лінійний характер зниження величини опору зсуву, як наслідок на процес колієутворення впливає певний підбір матеріалів, вибір складу суміші, ступінь ущільнення, що дозволяє створити твердий структурний каркас.

З огляду на зовнішні фактори впливу у вигляді температури й транспортного навантаження, взаємозалежні із внутрішніми процесами зміни структури й складу асфальтобетону, а також з технологією будівництва й конструкцією нежорсткого дорожнього одягу, можна прогнозувати утворення колії.

Причину утворення залишкових деформацій конструкції дорожнього одягу, можна розділити на види [1, 2, 4]:

1. Стирання верхнього шару асфальтобетонного покриття внаслідок впливу коліс автомобілів без руйнування нижчерозташованих асфальтобетонних шарів.

2. Доущільнення верхнього шару асфальтобетонного покриття, викликане впливом коліс автомобілів, без ознак руйнування нижчерозташованих асфальтобетонних шарів.

3. Виникнення пластичних деформацій всіх асфальтобетонних шарів покриття й основи. Це відбувається внаслідок осідання і додаткового ущільнення нижчерозташованих шарів дорожньої конструкції під дією важкого транспорту й інтенсивного транспортного потоку та високій температурі повітря і покриття влітку, низькі фізико-механічні властивості асфальтобетону.

4. Накопичення залишкових деформацій у нестабільних шарах дорожнього одягу, розташованих нижче шарів покриття, або в земляному полотні.

5. Незадовільні властивості асфальтобетону конструктивних шарів до існуючих вимог експлуатації асфальтобетонного покриття. Внаслідок чого виникають напливи, зсуви, хвилі.

6. Виникнення пластичних деформацій внаслідок впливу природно-кліматичних факторів.

Характерними причинами деформування асфальтобетонного покриття являється низька водо-, морозостійкість асфальтобетону, зсув перезвожених дискретних матеріалів та ґрунтів.

Недостатня зсувостійкість шарів асфальтобетонного покриття або асфальтобетонної основи приводить до перерозподілу матеріалу покриття, сприяючи більш інтенсивному колієутворенню. При цьому відбуваються стирання верхнього шару покриття в смугу накату, доущільнення шарів дорожнього одягу, відшаровування верхнього шару, пластичне деформування шарів дорожнього покриття [1, 2, 4].

## РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКЦІЙ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

### 2.1 Конструювання і розрахунки нежорстких дорожніх одягів

Розвиток досліджень в сфері розрахунку і конструювання нежорстких дорожніх одягів пройшов декілька етапів.

В кінці 30-х років XX ст. В.Ф. Бабков, А.К. Біруля, А.А. Іноземцев, М.Б. Корсунський досліджували розподіл напружень в ґрунті земляного полотна [35, 36]. Вчені знайшли напівемпіричні залежності, які дали можливість обчислювати вертикальні нормальні напруження і вертикальні переміщення по осі навантаження, що рівномірно розподілене по площі круга.

Результатом цих досліджень є створений в 1943 р. метод розрахунку дорожніх одягів нежорсткого типу («Метод СоюздорНДІ»), який мав величезні переваги перед існуючими на той час закордонними методами, оскільки був чіткосформульований критерій граничного стану – максимальне вертикальне переміщення поверхні покриття.

Було досліджено, що в деяких випадках дорожні конструкції, які розраховані за методом СоюздорНДІ, володіють зайвим запасом міцності [35, 36].

В 1942 – 1953 рр. Г.С. Шапіро, Б.І. Коган, Р.М. Раппопорт та Д. Бурмістр отримали точне рішення першої граничної вісесиметричної задачі теорії пружності для багатопарового півпростору при дії нерухомого навантаження [35–38].

На сучасному етапі розрахунок та конструювання дорожніх одягів нежорсткого типу в Україні регламентується нормативним документом ГБН В.2.3-37641918-559 «Дорожній одяг не жорсткий. Проектування». Згідно із цими нормами розрахунок та конструювання дорожніх одягів нежорсткого типу здійснюється за трьома критеріями:

- допустимим пружним прогином;
- опором зсуву у ґрунтах і шарах із малозв'язних матеріалів;
- опором розтягу при згині.

Відомі вчені-дорожники В.О. Богомолов, С.В. Богомолов, В.К. Жданюк вказують на певні недоліки існуючої методики розрахунку і конструювання дорожніх одягів нежорсткого типу [108]:

- не має можливості отримати повні тензори напружень і деформацій в кожній точці півпростору;
- має місце проблема оцінки точності отриманих рішень;
- неможливо врахувати взаємний вплив колісної формули автомобіля та одночасний рух декількох автомобілів на НДС конструкцій дорожніх одягів;
- важко оцінити вплив міжшарового зчеплення на значення напружень, переміщень і деформацій в елементах конструкцій дорожнього одягу.

Встановлено, що для значної кількості транспортних засобів з відстанню між осями більше ніж 1,3 м, нормативне за ГБН В.2.3-37641918-559 навантаження перевищує розрахункове. Це означає, що для доріг III категорії і нижче, дозволений пропуск транспортних засобів з навантаженням на вісь, яке перевищує допустиме. За останні роки на автомобільних дорогах України суттєво зросла частка важких багатовісних багатоколісних автотранспортних засобів. Тому як для нових, так і для експлуатованих доріг додається проблема міжнародного транзиту, яка допускає навантаження до 130 кН/вісь.

Розрахунок дорожніх одягів нежорсткого типу згідно з сучасними нормами спирається на те, що конструкція працює чисто в пружній стадії.

Однак в даному випадку мають місце й мікропластичні деформації, які неодмінно призведуть до виникнення залишкових.

2.2 Параметри для визначення розрахункового сумарного числа прикладення навантаження за термін служби дорожнього одягу

При проектуванні дорожніх одягів за розрахункові приймають нормовані навантаження згідно ДБН В.2.3-4, що відповідають граничним навантаженням на вісь автомобілів (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Нормовані навантаження, що відповідають граничним навантаженням на вісь автомобілів

Група розрахункового навантаження	Нормативне статичне навантаження на вісь, кН	Нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля, Qрозр, кН	Розрахункові параметри навантаження		
			p, МПа	Dн, см	Dд, см
A1	115	57,5	0,80	30,0	34,5
A2	100	50	0,60	33,0	37,0
Б	60	30	0,50	28,0	32,0

Основні дані про навантаження, що передаються на дорожнє покриття серійними автотранспортними засобами, наведені в таблиці 2.2.

Значення сумарного коефіцієнта приведення визначають за формулою:

$$S_{i\text{сум}} = \sum_1^m S_n, \quad (2.1)$$

де  $n$  – число осей у даного транспортного засобу для приведення якого до розрахункового навантаження визначають коефіцієнт  $S_{i\text{сум}}$ ,

$S_n$  – коефіцієнт приведення номінального динамічного навантаження від колеса з кожної із  $n$  осей транспортного засобу до розрахункового динамічного навантаження.

Таблиця 2.2 - Основні дані про навантаження, що передаються на дорожнє покриття серійними автотранспортними засобами

Ч.ч.	Автотранспортний засіб	Повна маса автотранспортного засобу, т	Коефіцієнти приведення до розрахункового навантаження, кН		
			60	100	115
1	2	3	4	5	6
Легкі					
1	FIAT Ducato 14 2,8 D	3,25	0,01686	0,00178	0,00096
2	FORD Transit FT 150 2.5 D	3,2	0,01630	0,00172	0,00093
3	IVECO Daily 35 S 12V	3,5	0,02313	0,00244	0,00132
4	MERCEDES-BENZ Sprinter 200-300 <sup>1)</sup>	3,5	0,02313	0,00244	0,00132
5	MERCEDES-BENZ Sprinter 400 <sup>1)</sup>	4,6	0,06870	0,00726	0,00392
6	Peugot Boxer 350M 2,5D	3,5	0,02313	0,00244	0,00132
7	VOLKSWAGEN LT31 2.5D	3,1	0,01463	0,00155	0,00084
8	ГАЗ 2705 "ГАЗель"	3,5	0,02313	0,00244	0,00132
9	УАЗ 3741	2,8	0,00270	0,00040	0,00021
10	ГАЗ 2752 "Соболь"	2,66	0,00351	0,00037	0,00020
Середні					
11	DAF LF FA 45.130-06	6,2	0,21590	0,02281	0,01233
12	IVECO Daily 50 C 13 V	5,2	0,12553	0,01326	0,00717
13	IVECO Daily 65 C 15 V	6,5	0,25486	0,02693	0,01456
14	IVECO EuroCargo ML 80E18	8,6	1,13836	0,12027	0,06502
15	MERCEDES-BENZ Vario 500-600 <sup>1)</sup>	5	0,09102	0,00962	0,00520
16	MERCEDES-BENZ Vario 700-800 <sup>1)</sup>	7,5	0,42934	0,04536	0,02452
17	RENAULT Midliner S 135-08A	7,5	0,59650	0,06302	0,03407
18	ГАЗ 3307	7,85	0,98778	0,10436	0,05642
19	ЗИЛ 130	9,525	1,93346	0,20427	0,11044
20	ЗИЛ 5301 АО "Бычок"	6,95	0,45874	0,04846	0,02620
21	КАМАЗ 4326	11,6	1,73818	0,18364	0,09929
22	МАЗ 437040-022 (-062)	10,1	1,48693	0,15709	0,08493
Важкі					
23	DAF LF FA 45.150-10	10	0,21590	0,02281	0,01233
24	DAF CF FA 65.210	18,6	29,60979	3,39647	1,83636
25	IVECO EuroCargo ML 135E18W	13,5	7,46483	0,78865	0,4264
26	IVECO EuroCargo ML 180E21T	18	22,53430	2,38073	1,28718
27	MAN L2000 8.163	8	0,77898	0,08230	0,04450
28	MAN M2000 12.163	12	3,73722	0,39483	0,21347
29	MAN M2000 18.224	18	20,17607	2,13158	1,15248
30	MAN M2000 26.310	26	28,90325	3,34241	1,80071



Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
31	MERCEDES-BENZ Atego 1000 <sup>1)</sup>	10,5	2,33612	0,24681	0,13344
32	MERCEDES-BENZ Atego 1300 <sup>1)</sup>	13,5	6,81391	0,71988	0,38922
33	MERCEDES-BENZ Atego 1800 <sup>1)</sup>	18	19,13177	2,02125	1,09282
34	RENAULT Midliner S 150-09B	9,5	1,41055	0,14902	0,08057
35	SCANIA P94 4x2 220	20,5	32,69450	3,45414	1,86754
36	SCODA LIAZ 12.18PB	12	4,65051	0,49132	0,26564
37	VOLVO FL 616	16,5	13,23152	1,39790	0,75580
38	VOLVO FL 7	26	38,03830	4,18966	2,26521
39	ЗИЛ 433360	11	3,59330	0,37963	0,20525
40	ЗИЛ 133ГЯ	17,84	4,51390	0,53216	0,28772
41	КАМАЗ 5320	15,31	1,87618	0,21586	0,11671
42	КАМАЗ 53212	19	6,72356	0,80490	0,43518
43	КАМАЗ 55111	22,2	13,63445	1,65300	0,89372
44	КрАЗ 6510	24,88	25,94092	3,16353	1,71041
45	МАЗ 53362	16,38	10,77553	1,13842	0,61551
46	МАЗ 555102-2120	18	18,92890	1,99982	1,08124
47	МАЗ 630300-2121	26,5	28,95383	3,48749	1,88557
48	УРАЛ 377Н	14,95	1,86259	0,21626	0,11693
	Автомобілі з причепами				
49	DAF FAG 75CF	40			
50	IVECO Daily 50 C 13 V + Niewiadow A2001A	8	0,12943	0,01371	0,00741
51	MAN F2000 23/314 +KOGEL AN18P	41	26,25844	2,87738	1,55571
52	MERCEDES-BENZ Atego 2528 + Kassbohrer	40	27,53781	3,09713	1,67451
53	SCANIA R114 4x2 340 +KRONE ADP24	42	32,03608	3,51963	1,90295
54	VOLVO FH12 380R +KOGEL AN24P (20)	49	31,28339	3,58619	1,93893
55	ЗИЛ 130 +ГКБ 8328-01	17,53	2,26947	0,23980	0,12965
56	ЗИЛ 433360 +ГКБ 8328	19	3,92931	0,41517	0,22447
57	КАМАЗ 5320 +ГКБ 8350	26,81	3,53464	0,39108	0,21144
58	КАМАЗ 53212 +СЗАП 83571	33	10,66470	1,22139	0,66037
59	МАЗ 533702-2120 +МАЗ 8926-02	28	12,46710	1,31767	0,71242
60	МАЗ 630300-2121 +МАЗ 83781	42	36,12873	4,28435	2,31641
61	МАЗ 630305-020 +МАЗ 8701	44,5	33,37925	4,00675	2,16632
	Автомобілі з напівпричепами				
62	DAF XF FT 95.530 + Sommer SW 240	44,86			
63	IVECO EuroStart LD 440E52T + Schmitz Cargobull SCO 24	42,3			
64	MAN F2000 19.372 +Sommer SP 240	41,91	32,66671	3,70482	2,00307

65	MERCEDES-BENZ Actros 1840 + Kogel SLK 20-32	38,6	39,56168	4,26789	2,30751
66	RENAULT Premium HR 385.18 +Kassbohrer SB 12-20	38	39,09639	4,23122	2,28768
67	RENAULT Magnum AE +Schmitz Cargobull SCF 24 G	47	32,71233	3,93679	2,12849
68	SCANIA 113HA +Kogel SVKT 24 P 10	37,36	21,39386	2,33109	1,26034
69	VOLVO FH12/420 +Kogel SN24 P 100	41,51	30,65331	3,49879	1,89168
70	КАМАЗ 5410 +СЗАП 9370-01	25,75	3,25912	0,37358	0,20198
71	КАМАЗ 54112 +СЗАП 9905	33,02	11,55628	1,35961	0,73509
72	МАЗ 504В +МАЗ 5205А	32,35	24,12038	2,71383	1,46728
73	МАЗ 54323-028 +МАЗ 9397	33,85	24,04488	2,69780	1,45861
74	МАЗ 54323-028 +ППЦ 17	26,15	8,91922	0,95395	0,51577
75	МАЗ 543302-2120 +МАЗ 93802	25,35	19,53441	2,06380	1,11583
76	МАЗ 543202-2120 +МАЗ 93802	26,2	21,15523	2,23504	1,20841
77	МАЗ 642208-020 +МАЗ 93892	48,6	32,30354	3,82423	2,06763
78	МАЗ 642208-020 +МАЗ 93866	44,6	39,37173	4,53016	2,44931
79	МАЗ 642208-020 +ППЦ 35	48,6	33,80129	4,03904	2,18377
80	МАЗ 64226 +МАЗ 93802	28,15	13,17452	1,42111	0,76834
	Автобуси				
81	БОГДАН А091	8,1	0,77898	0,08230	0,04450
82	ГАЗ 32213 "ГАЗель"	3,5	0,02313	0,00244	0,00132
83	ЛАЗ 695	11,61	2,89295	0,30564	0,16525
84	ЛАЗ 699	13	4,80682	0,50784	0,27457
85	ЛАЗ 4207	15	8,23490	0,87001	0,47038
86	ICARUS 256	14,86	7,59322	0,80222	0,43373
87	IVECO Daily 50 S 13 B	5	0,12553	0,01326	0,00717
88	IVECO TurboDaily 3512	3,5	0,02313	0,00244	0,00132
89	MERCEDES-BENZ Sprinter 200-400 <sup>1)</sup>	3,5	0,02313	0,00244	0,00132
90	MERCEDES-BENZ Vario 500-700 <sup>1)</sup>	5	0,09102	0,00962	0,00520
91	MERCEDES-BENZ Vario 800 <sup>1)</sup>	7,49	0,42934	0,04536	0,02452
92	NEOPLAN N 117 Spaceliner	18,5	19,47718	2,05775	1,11255
93	NEOPLAN N 123 Skyliner	26	21,12532	2,64219	1,42854
94	VOLKSWAGEN Transporter	2,6	0,00250	0,00026	0,00014

Примітка. <sup>1)</sup> Коефіцієнти приведення до розрахункового навантаження визначені для усіх модифікацій наведеної моделі транспортного засобу корпорації DAIMLER – CRAICLER.

Коефіцієнти приведення навантажень  $S_n$  визначають за формулою:

$$S_n = \left( \frac{Q_{\text{он}}}{Q_{\text{розр}}} \right)^\beta, \quad (2.2)$$

де  $Q_{0n}$  – номінальне динамічне навантаження від колеса на покриття;  
 $Q_{розд}$  – розрахункове динамічне навантаження від колеса на покриття;  
 $\beta$  – показник степені, що приймається рівним 4,4.

Номінальне динамічне навантаження  $Q_{0n}$  визначається за паспортними даними на транспортні засоби з урахуванням розподілення статичних навантажень на кожну вісь:

$$Q_{0n} = K_{дин} \cdot Q_n, \quad (2.3)$$

де  $K_{дин}$  – динамічний коефіцієнт, приймається рівним 1,3;  
 $Q_n$  – номінальне статичне навантаження на колесо даної осі.

При визначенні номінального динамічного навантаження для багатовісних транспортних засобів необхідно визначити величину навантаження за формулою (2.4) з урахуванням впливу коліс сусідніх осей, розташованих на відстані, меншій за 2,5 м один від одного:

$$Q_{0n} = Q_{nj} (g_{n-1} + 1 + g_{n+1}) \times K_q \times K_{дин}, \quad (2.4)$$

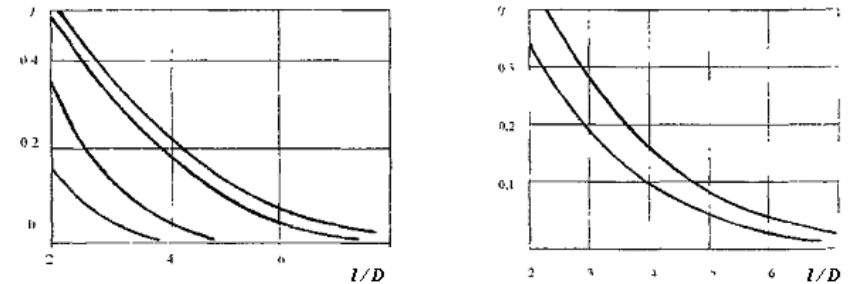
$$K_q = q_{j-1} + 1 + q_{j+1}, \quad (2.5)$$

де  $Q_{nj}$  – номінальне статичне навантаження на  $j$ -і колесо (з одиночними чи спареними шинами)  $n$ -ї осі;

$g_{n-1}$ ,  $g_{n+1}$  – коефіцієнти, що характеризують відповідно вплив попереду і позаду коліс, що рухаються, на напружено-деформований стан дорожнього одягу під даним колесом  $n$ -ї осі і визначається за графіком (рисунок 2.1) в залежності від відношення відстані  $L$  між осями до діаметра  $D_d$  сліду даного колеса;

$q_{j-1}, q_{j+1}$  – коефіцієнти, що характеризують додатковий вплив інших коліс  $n$ -ї осі і визначаються за графіком (рисунок 2.2).

При  $1 < l/D_d < 2$  приймають  $q(l) = 1$ .



1, 2 – значення  $g_{n-i}$  для дорожніх одягів, **Рисунок 2.2** – значення коефіцієнта  $q$ , що враховує вплив інших коліс даної осі транспортного засобу від відношення відстані  $l$  між центрами відбитків розглянутого колеса та інших коліс (у поперечному напрямку) до діаметра  $D_d$  сліду колеса для дорожніх одягів, що відповідають вимогам інтенсивного руху автомобілів групи  $A_2$  і  $B$ ; 3, 4 – те саме,  $g_{n+1}$  (позаду).

**Рисунок 2.1** – значення коефіцієнта  $g$ , який враховує вплив коліс інших осей транспортного засобу в залежності від відношення відстані  $L$  між осями до діаметра  $D_d$  сліду заданого колеса

Послідовність визначення сумарного коефіцієнта приведення така:

- призначають розрахункове навантаження та визначають його параметри  $Q_{розр}$ ,  $p$  і  $D_n$ ,  $D_d$ ;
- для кожної марки автомобілів у складі перспективного руху за паспортними даними встановлюють величину номінального статичного навантаження на колесо для всіх осей  $Q_n$ ;
- помноживши отримані значення  $Q_n$  і розрахункове навантаження  $Q_{розр}$  на динамічний коефіцієнт, знаходять величини номінальних динамічних навантажень  $Q_{0n}$  від колеса для кожної осі і величину розрахункового динамічного навантаження  $Q_{розр}$ ;

- за формулою (2.2) визначають коефіцієнт приведення номінального навантаження від колеса кожної із осей  $S_n$  до розрахункового;

- за формулою (2.1) визначають сумарний коефіцієнт приведення навантаження для даного автомобіля до розрахункового навантаження.

### 2.3 Розрахунок надійності конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу

Метою проектування доріг із заданою надійністю є мінімізація затрат на будівництво та ремонт доріг із урахуванням фактичного розкиду параметрів конструкції дорожнього одягу (далі – КДО).

Надійність конструкції дорожнього одягу визначається як імовірність безвідмовної роботи, при якій не буде перевищеним граничний стан:

$$H = K_H = P(\psi \geq 0). \quad (2.6)$$

де  $\psi$  – випадкова величина різниці опірності конструкції (міцності або жорсткості) та діючого навантаження (напруження або допустимого прогину), тобто  $\psi = R - Q$ .

Для випадку розрахунку конструкції дорожнього одягу за критеріями граничного стану:

$R$  – випадкова величина, яка позначає опірність (міцність на розтяг при згині  $R_{zг}$  при розрахунку монолітних шарів; допустиме напруження зсуву  $\tau_{доп}$  — при перевірці стійкості незв'язних шарів чи ґрунту земляного полотна, або загальний модуль пружності  $E_{заг}$  – при оцінюванні загальної деформативності конструкції);

$Q$  – випадкова величина, яка позначає діюче навантаження (відповідно, напруження розтягу при згині  $\sigma_t$ , активне напруження зсуву такт або потрібний модуль пружності  $E_{номр}$ ).

Надійність конструкції дорожнього одягу визначається, як імовірність безвідмовної роботи, за формулою:

$$K_H = 0,5 + F(\gamma) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\gamma}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (2.7)$$

де  $F(\gamma)$  – нормована функція Лапласа;

$\beta$  – характеристика надійності:

$$\beta = \frac{R - Q}{\sqrt{S_R^2 + S_Q^2}}, \text{ або } \beta = \frac{K_M - 1}{\sqrt{C_R^2 \cdot K_M^2 + C_Q^2}}, \quad (2.8)$$

де  $R$  – середнє значення "міцності";

$Q$  – середнє значення "напруження";

$S_R$  і  $S_Q$  – середньоквадратичні відхилення чи коефіцієнти варіації  $C_R$  міцності та  $C_Q$  напруження відповідно,

$K_M = \frac{R}{Q}$  – коефіцієнт запасу.

Характеристика надійності  $\beta$  встановлюється в залежності від запасу міцності (жорсткості), розрахункового розкиду напружень (жорсткості) та фактичних даних з розкиду параметрів властивостей шарів дорожнього одягу, неоднорідності за геометричними характеристиками в залежності від рівня якості будівництва. Нормативне значення характеристики надійності для розрахункових рівнів надійності дорожніх одягів для різних категорій автомобільних доріг приведено в таблиці 2.3 і встановлено з умов мінімуму дорожньо-транспортних витрат за термін служби конструкції.

Таблиця 2.3 – Нормативне значення характеристики надійності для розрахункових рівнів надійності дорожніх одягів для різних категорій автомобільних доріг

Категорія дороги	Ia	Iб,II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6
Надійність, $K_n$	0,97	0,95	0,9	0,85	0,75
Характеристика надійності	1,875	1,6449	1,280	1,035	0,68
Примітка: Коефіцієнт надійності $K_n$ конструкції дорожнього одягу для даної категорії може бути збільшений при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні.					

Необхідну товщину асфальтобетонних шарів та ресурс конструкцій дорожніх одягів за кількістю циклів прикладання розрахункового навантаження протягом всього терміну служби для забезпечення заданого в таблиці 2.3 рівня надійності приведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Категорія дороги	Товщина асфальтобетону, см	Інтенсивність руху	
		Середньодобова	Сумарна кількість розрахункових осей, один /за термін служби
1	3	4	5
Ia	20 – 24	більше 500	600 000 – 1 200 000
Iб-II	16 – 22	250 – 500	300 000 – 600 000
III	10 – 16	150 – 250	150 000 – 300 000
IV	7 – 10	70 – 150	50 000 – 150000
V	-	10 – 100	5 000 – 50 000

При розрахунку посилення дорожнього одягу необхідно використовувати експериментальні дані по визначенню середнього значення та варіації загального модуля пружності конструкції дорожнього одягу в розрахунковий період.

При відсутності даних експериментальних досліджень для розрахунку надійності конструкцій дорожніх одягів різних категорій при підсиленні рекомендується приймати параметри неоднорідності у відповідності з таблицею 2.5.

Розрахунок неоднорідності конструкції. Для розрахунку надійності необхідно визначити неоднорідність конструкції для різних груп граничного стану. При цьому можливе експериментальне визначення неоднорідності міцності  $C_R$  для різних технологічних операцій та експериментальне або теоретичне визначення варіації напружень  $C_Q$  шляхом інструментального обстеження або при розрахунку за приведеною нижче методикою.

Визначення неоднорідності за різними критеріями граничного стану встановлюється розрахунком за методами математичної статистики.

Таблиця 2.5

Категорія дороги	Коефіцієнт варіації міцності $C_R$ (жорсткості)			Коефіцієнт варіації напруження (потрібного модуля пружності), $C_Q$ для критеріїв розрахунку		
	на розтяг при згині, $C_{Rze}$	загальний модуль пружності, $C_{Ezag}$	зсуваючого напруження, $C_c$	згин монолітних шарів, $C_\sigma$	пружний прогин, $C_{Eпoпp}$	зсув у незв'язних шарах, $C_\tau$
Ia	0,12	0,17	0,16	0,12	0,08	0,12
Iб-II	0,12	0,17	0,18	0,14	0,1	0,12
III	0,14	0,18	0,2	0,14	0,1	0,14
IV	0,16	0,2	0,24	0,16	0,1	0,16
V	0,18	0,26	0,26	0,18	0,1	0,18

Коефіцієнт варіації діаметра відбитку колеса приймається рівним  $C_D = 0,05$  для доріг усіх категорій.

Однорідність за критерієм загального модуля пружності. Коефіцієнт варіації загального модуля пружності визначається за формулою:

$$C_E = \left[ \left( 0,3 \frac{h}{D} \frac{E_1}{E} \right)^2 (C_{E_1}^2 + C_h^2 + C_D^2) + \left( \frac{E_2}{E} \right)^2 C_{E_2}^2 \right]^{1/2}, \quad (2.9)$$

де  $E_1$  - середній модуль пружності пакета матеріалів шарів;

$E_2$  - модуль пружності ґрунтового півпростору;

$h$  – загальна товщина пакета шарів дорожнього одягу;

$c_h$  – коефіцієнт варіації товщини дорожнього одягу;

$C_{E1}$  – коефіцієнт варіації середнього модуля пружності пакета шарів дорожнього одягу;

$c_{E2}$  – коефіцієнт варіації модуля пружності ґрунту земляного полотна,

$E$  — середнє значення загального модуля пружності;

$D$  – діаметр відбитка колеса;

$c_D$  – коефіцієнт варіації діаметра відбитка колеса;

$p$  – інтенсивність дії розрахункового навантаження.

Коефіцієнт варіації загального модуля пружності приймається за таблицею 2.5 для доріг I – V категорії.

Однорідність за критерієм розтягу при згині монолітних шарів покриття. Коефіцієнт варіації напруження розтягу при згині  $C_\sigma$ :

$$C_\sigma = \sqrt{1.5810^{-3} \cdot (C_1^2 + C_2^2) \cdot \left(\frac{D}{h}\right)^4 \cdot K^2 + (C_h^2 + C_D^2) \cdot \left[2 \cdot \sigma_r - 0.119 \left(\frac{D}{h}\right)^2 \cdot K\right]^2 \cdot \frac{1}{\sigma_r}}, \quad (2.10)$$

де

$$K = \pi \cdot p \cdot (1 + \mu_1) \cdot K_g$$

де  $h$  – загальна товщина пакета монолітних шарів дорожнього одягу;

$c_{h1}$  – коефіцієнт варіації товщини монолітних шарів покриття;

$c_1$  – коефіцієнт варіації середнього модуля пружності пакета монолітних шарів;

$c_2$  – коефіцієнт варіації модуля пружності основи під покриттям;

$K_g$  – коефіцієнт, який враховує кількість коліс;

$\mu_1$  – коефіцієнт Пуассона матеріалу покриття;

$\sigma_r$  – середнє значення напруження розтягу при згині пакета монолітних шарів.

Однорідність за критерієм зсуву. Коефіцієнт варіації активного напруження зсуву  $c_\tau$ :

$$C_\tau = \sqrt{\left(\frac{\phi}{33}\right)^2 \cdot C_\phi^2 + \frac{C_H^2}{\left[\frac{50}{57} \cdot \left(\frac{D}{h_\Sigma}\right)^2 \left(\frac{E_{cp}}{E_{cp}}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^2} + \frac{C_{E1}^2 + C_{E2}^2}{\left[\frac{50}{19} \cdot \left(\frac{D}{h_\Sigma}\right)^2 \left(\frac{E_{cp}}{E_{cp}}\right)^{\frac{2}{3}} + \frac{3}{2}\right]^2}}, \quad (2.11)$$

де  $E_{cp}$  – середній модуль пружності пакета матеріалів;

$E_{cp}$  — модуль пружності ґрунтового півпростору;

$c_{E1}$  – коефіцієнт варіації середнього модуля пружності пакета шарів дорожнього одягу;

$c_{E2}$  – коефіцієнт варіації модуля пружності ґрунтового півпростору;

$\phi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту;

$c_\phi$  – коефіцієнт варіації кута внутрішнього тертя;

$h_\Sigma$  – загальна товщина пакета шарів дорожнього одягу;

$C_H$  – коефіцієнт варіації товщини дорожнього одягу;

$D$  – діаметр відбитка колеса.

Загальна неоднорідність товщини конструкції:

$$C_{h_\Sigma} = \frac{1}{h_\Sigma} \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_{h_i} \cdot h_i)^2}, \quad (2.12)$$

де  $h_\Sigma$  – сумарна товщина дорожнього одягу;

$h_i$  – товщина  $i$  – го шару покриття;

$n$  – кількість шарів у конструкції або кількість шарів покриття для критерію згину монолітних шарів;

$C_{hi}$  – коефіцієнт варіації товщини шару дорожнього одягу, визначається експериментально, або, за відсутності даних, за формулою:

$$C_{h_i} = \frac{A_h}{B_h + h_i} \quad (2.13)$$

тут параметри  $A_h = 2,84$ ,  $B_h = 10,2$  для асфальтобетону та  $A_h = 2,84$  і  $B_h = 5,6$  для інших матеріалів.

Неоднорідність модуля пружності пакета шарів дорожнього одягу:

$$C_{E\Sigma} = \frac{1}{E_{cp} \cdot h_{\Sigma}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_i \cdot h_i)^2 \cdot (C_{Ei} + C_{hi})^2}, \quad (2.14)$$

де  $C_{Ei}$ - коефіцієнт варіації модуля пружності шару покриття

$$C_{Ei} = A_E \cdot E_i^{B_E}, \quad \text{тут параметри } A_E = 0,9056, B_E = -0,285;$$

$E_i$  – модуль пружності  $i$  – го шару;

$E_{cp}$  – середній модуль пружності пакета шарів.

Для розрахунку надійності КДО встановлено відповідні формули та номограми для автомобільних доріг I – V категорій різної капітальності. У табличному вигляді (таблиця 2.6) приведено граничні значення коефіцієнта запасу для забезпечення надійності КДО в залежності від категорії дороги та типу дорожнього одягу.

Таблиця 2.6

Категорія дороги	Тип дорожнього одягу	Коефіцієнт надійності, $K_n$	Характеристика надійності, $\beta$	Коефіцієнт запасу, $K_{ми}$ , за критерієм граничного стану		
				згин монолітних шарів	Пружний прогин	зсув у незв'язних шарах
Ia	Капітальний	0,97	1,875	1,39	1,50	1,51
Iб – II	Капітальний	0,95	1,645	1,35	1,43	1,48
III	Капітальний	0,90	1,280	1,29	1,33	1,40
IV	Полегшений	0,85	1,035	1,27	1,29	1,38
V	Перехідний	0,75	0,68	1,19	1,23	1,25

Розрахунок надійності. Розрахунок надійності для різних критеріїв граничного стану є однотипним і виконується в такій послідовності.

1) За формулами (2.6 – 2.14) встановлюється неоднорідність напруженодеформованого стану для кожного критерію граничного стану.

2) За таблицями Е.1, Е.2, Е.5 та Е.6 додатку Е ВБН В.2.3-218-186-2004 визначається фактична варіація фізико-механічних характеристик властивостей матеріалів дорожнього одягу, за таблицею Д.6 додатка Д – ВБН В.2.3-218-186-2004 ґрунту земляного полотна.

3) Для кожного критерію міцності визначаються середні значення міцності, напруження й загальний модуль пружності та встановлюється коефіцієнт запасу  $K_{ми}$  для середніх значень.

4) Визначається характеристика надійності  $\beta$  за формулою (2.8).

При розрахунках приймається:

- для критерію загального модуля пружності опірність рівною значенню загального модуля пружності  $R = E_{zag}$ , жорсткість  $Q = E_{нотр}$  потрібному модулю, який зв'язаний з інтенсивністю руху розрахункових навантажень;

- для критерію розтягу при згині при розрахунку монолітних шарів покриття  $R = R_u$ , де  $R_u$  – граничне допустиме напруження розтягу матеріалу шару з урахуванням явища витривалості (втоми) від розрахункового навантаження;  $Q = \sigma_r$  – найбільше напруження розтягу в шарі, що розглядається, від розрахункового навантаження;

- для критерію зсуву  $R = T_{доп}$  – допустиме напруження зсуву, обумовлене зчепленням у ґрунті;  $Q = \tau$  – активне напруження зсуву в ґрунті або малозв'язному матеріалі.

За формулою (2.7) або номограмою (рисунок И.1) чи таблицею И.4. визначається ймовірність безвідмовної роботи, яка є характеристикою надійності роботи конструкції в пружній стадії.

5) Отримане значення коефіцієнта надійності  $K_n$  порівнюється з нормативним рівнем надійності  $H_{норм}$  (таблиця 2.3) за формулою:  $K_n \geq H_{норм}$

Відмова дорожнього одягу, пов'язана з недостатньою його міцністю може виникнути внаслідок:

- накопичення до закінчення заданого терміну служби конструкції від транспортного навантаження дотичних напружень, що виникають у конструктивних шарах і підстилаючих ґрунтах, неприпустимих залишкових деформацій із втратою рівності поверхні покриття і відповідним зниженням швидкості руху;

- руйнувань через втому монолітних шарів конструкції під впливом розтягуючих напружень від багаторазового транспортного навантаження і сколювання, і лущення покриття під впливом стискаючих напружень при згині з наступною інтенсивною втратою дорожнім одягом транспортно-експлуатаційних властивостей до закінчення заданого терміну служби.

Відповідно до цього розрахунок на міцність у шарах виконують по допустимих напруженнях, на зсув в шарах зі зниженим опором місцевому зсуву і на розтяг та стиск при згині в монолітних шарах.

Розрахунок за допустимим пружним прогином (або потрібним загальним модулем пружності) виконують для перевірки деформативної здатності конструкції в цілому і дотримання необхідних транспортно-експлуатаційних властивостей покриття.

#### 2.4 Методи розрахунку від дії транспортного навантаження

Вперше задача з розрахунку асфальтобетонних покриттів, що влаштовані на жорсткій основі, виникла в зв'язку з необхідністю не лише відновлення транспортно-експлуатаційних якостей старих цементобетонних покриттів, а і їх посилення. Розрахунок асфальтобетонного покриття та цементобетонної основи були присвячені роботи: О.Г. Бабака, В.Ф. Бабкова, О.І. Безбабічевої, Х.М. Вестергарда, В.К. Вирожемського, І.П. Гамеляка, Л.І. Горєцкого, В.К. Жданюка, А.М. Защепіна, М.М. Іванова, И.А. Меднікова, В.В. Мозгового, В.І. Каськіва, Є.Д. Прусенко, О.Г.

Острроверхова, А.М. Онищенко, О.М. Іщенко, В.Я. Савенко, Б.С. Садовського, Р. Томпсона, Г.Б. Фукса, та ін [11, 23, 46-55].

Переважно схеми розрахунку зводилися до визначення товщини цементобетонної основи з врахуванням асфальтобетонного покриття за формулою М.М. Іванова, яка до даного часу використовується при розрахунку товщини посилення існуючого жорсткого аеродромного покриття асфальтобетонним шаром: [47, 48, 56]:

$$h_a = (H - h_1) \times \sqrt[3]{\frac{E_b}{E_a}}, \quad (2.15)$$

де  $h_a$  – необхідна товщина шару асфальтобетону, см;

$H$  – необхідна товщина цементобетонного покриття під задане навантаження з врахуванням умов роботи шару асфальтобетону, см;

$h_1$  – товщина існуючого цементобетонного покриття, см;

$E_b$  – модуль пружності цементобетону, кГ/см<sup>2</sup>;

$E_a$  – модуль пружності асфальтобетону, кГ/см<sup>2</sup>).

При цьому шар асфальтобетону враховували або шляхом заміни його еквівалентним шаром бетону, або шляхом врахування розподільчої здатності асфальтобетонного покриття, зі збільшенням діаметра відбитка колеса [11].

В Україні розрахунок дорожніх одягів з асфальтобетонними шарами на жорсткій основі виконується згідно з [35]. Розрахунок асфальтобетонного покриття сумісно із цементобетонною основою пропонується вести в наступному порядку:

а) розраховують товщину цементобетонної основи на вплив транспортного навантаження при заданій товщині асфальтобетонних шарів (не менше мінімально допустимих від 14 см до 18 см). При цьому асфальтобетонне покриття і цементобетонна плита замінюються еквівалентним шаром;

б) товщину асфальтобетонного шару встановлюють виходячи з перевірки відповідності її мінімально допустимим значенням, а також на основі розрахунку на дію короточасного навантаження тривалістю 0,1 с.

Згідно з [35] напруження, що виникають у асфальтобетонних шарах при їх прогині під дією повторних короточасних навантажень не повинні викликати порушення структури матеріалу й призводити до утворення тріщин, тобто повинна бути забезпечена умова [35]:

$$K_{миц} \leq \frac{R_{зг}}{G_r} \quad (2.16)$$

де  $K_{миц}$  – необхідний коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності;

$R_{зг}$  – гранично допустиме напруження розтягу матеріалу, шару з урахуванням втоми, МПа;

$\Sigma_r$  – найбільше напруження розтягу, у розглянутому шарі, що встановлюється розрахунком від дії одиночного навантаження, МПа.

Визначення напружень розтягу ( $\sigma_r$ ) в асфальтобетонному шарі рекомендується виконувати при температурі 0°C, тому що такий матеріал найбільш напружено працює навесні при низькій температурі.

У випадку забезпечення зчеплення асфальтобетонного покриття і жорсткого прошарку шари покриття знаходяться під дією стискаючих напружень і розрахунок дорожнього одягу в цьому випадку рекомендується виконувати за критеріями міцності:

- а) опором розтягу при згині в жорсткому прошарку;
- б) опором зсуву в шарах з малозв'язних матеріалів і ґрунтової основи.

Викладений порядок розрахунку має суттєві недоліки:

а) не враховані температурні напруження в асфальтобетонному шарі, які,

поєднуючись з напруженнями від дії транспортного навантаження, можуть призвести до руйнування асфальтобетонного покриття;

б) не врахована можливість виникнення горизонтальної сили від дії транспортного навантаження;

в) критерії міцності не відображують тих механізмів руйнування, які притаманні і є найбільш розповсюдженими для таких конструкцій;

г) обґрунтовано необхідність влаштування забезпеченого зчеплення контакту асфальтобетонного шару та цементобетонної плити, проте не передбачено перевірку міцності зчеплення;

д) порядок розрахунку не передбачений для тонкошарових асфальтобетонних покриттів

Згідно з дослідженнями І.Д. Боднара, В.К. Вирожемського, І.П. Гамеляка, В.М. Нагайчука та ін. [37], що відображені у галузевих будівельних нормах, при розрахунках асфальтобетонного шару на основі з тріщинами або швами розраховується термін служби (кількість циклів прикладення навантажень до руйнування). Розрахунок таким чином можна виконувати для армованих синтетичним матеріалом асфальтобетонних шарів і для неармованих. Розрахункова схема передбачає двошарову конструкцію, шари якої зчеплені між собою.

Алгоритмом розрахунку викладеним у [37] не передбачено розрахунку асфальтобетонних шарів на сумісну дію транспортного навантаження та температурного деформування. Порядком розрахунку не передбачено перевірку міцності асфальтобетонного шару на зсувостійкість.

Ще один фактор, який впливає на НДС дорожньої конструкції, є температура та вологість. З підвищенням температури суттєво знижуються деформаційні характеристики і характеристики міцності шарів із органо-мінеральних сумішей. Підвищена вологість підстиляючих шарів ґрунту знижує деформаційні характеристики та характеристики міцності, а також суттєво змінює його реологічні та динамічні властивості.



### РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНІ ПРИКЛАДИ ВПРОВАДЖЕННЯ

#### 3.1 Розрахунки тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі за критеріями міцності

Вважається, що порушення міцності матеріалу при будь-якому напруженому стані наступить тоді, коли величина найбільш небезпечного фактору досягне свого граничного значення. Прийняття критерію міцності дозволяє порівняти даний складний напружено-деформований стан з простим (розтяг або стиск).

Для вирішення поставленої задачі необхідно визначити вид функції, яка зв'язує міцність асфальтобетонного покриття з величиною і знаком головних напружень і який фактор може викликати руйнування покриття.

Класичні теорії міцності ґрунтуються в основному на законі Гука [25], а нові теорії вже враховують нелінійну пружність і пластичність матеріалів [95].

При дії транспортного навантаження і температурного деформування можлива втрата міжшарового зчеплення асфальтобетонного покриття та цементобетонної плити, оскільки на контактні шари діють дотичні напруження [32, 53, 107].

При влаштуванні та ущільненні асфальтобетонного шару на цементобетонній плиті не відбувається взаємопроникнення мінеральних каркасів асфальтобетонного шару та цементобетонної плити. Зчеплення між шарами виникає за рахунок плівки в'язучого. В цьому випадку сили зчеплення обумовлені адгезією – прилипанням в'язучого до поверхні шарів мінерального матеріалу, та когезією – міцністю в'язучого в тонких шарах [22].

Умова міцності на контактні шари може порушитись з низки конструктивних та технологічних причин. Конструктивними причинами можуть бути:

- нераціонально підібрані конструктивні шари (модуль пружності асфальтобетону, тип підґрунтовки, товщини шарів). В результаті чого в площині контакту шарів виникають значні зсуваючі напруження;
- структура і склад асфальтобетону (мінеральний склад, марка бітуму) не забезпечують потрібну зсувостійкість на контактні шари.

Технологічні причини:

- використання для підґрунтовки малов'язких бітумів, що знижують зсувостійкість асфальтобетонного шару в зоні контакту шарів;
- засмічення нижнього шару, недостатнє очищення цементобетонного покриття перед влаштуванням асфальтобетонного шару;

В останньому випадку в покритті вже закладено послаблену зону, в якій зчеплення шарів забезпечено в основному лише за рахунок сил тертя.

Розглянемо роботу шаруватої системи з умовою, що в площині контакту шарів виникла зона в якій відсутнє зчеплення контакту шарів (зона KL) на рис. 3.1.

Коли транспортне навантаження  $q$  знаходиться на відстані від площадки KL, шари будуть вести себе як зчеплені. Це пояснюється тим, що дотичні напруження  $\tau_{xz}$  в площині контакту не здатні подолати силу тертя, тобто виконується умова:

$$\tau_{xz} < K_m \cdot f \cdot \sigma_z \quad (3.1)$$

де  $K_m$  – коефіцієнт, що враховує можливість збільшення опору зсуву у випадку, якщо зсув виникає в зоні контакту шарів, а в асфальтобетонному шарі;

$f$  – коефіцієнт тертя.

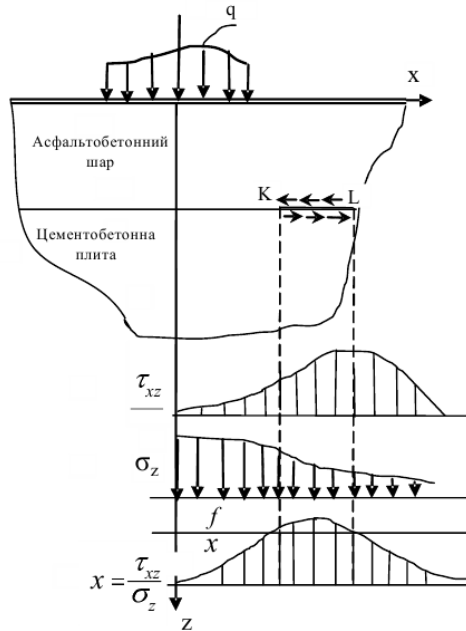


Рисунок 3.1 – Схема розвитку тріщини між асфальтобетонним шаром та цементобетонною плитою

Під час руху транспортне навантаження  $q$  почне наближуватись до зони KL. При цьому напруження  $\tau_{xz}$  в зоні KL по максимуму не співпаде з напруженням  $Gz$  і умова (3.1) може бути порушеною [131].

Якщо втрата зчеплення в зоні тріщини KL виникла в результаті зсуву з руйнуванням пружних зв'язків (адгезія та когезія) та умова (3.1) не виконується, тоді виникне відносний зсув двох країв тріщини [131].

Одночасно з цим напруження  $\tau_{xz}$  знизяться до нуля на площадці KL, а в конструкції відбудеться перерозподіл напружень. З рішень теорії пружності відомо, що в точках K та L дотичні напруження  $\tau_{xz}$  різко зростуть. Виникне руйнування матеріалу і збільшиться розмір площадки KL [131]. Повторне прикладання транспортного навантаження призведе до зростання розмірів площадки KL, поки не охопить всю зону контакту шарів.

Одночасно з розвитком тріщини відбуватиметься притирання поверхні цементобетонної плити та асфальтобетонного шару, що призведе до зниження коефіцієнту тертя (особливо в разі потрапляння вологи між шарами).

Втрата зчеплення призведе до швидкого руйнування асфальтобетонного шару. Розрахунок за критерієм забезпечення зчеплення на контакті асфальтобетонного шару і цементобетонної плити полягає у порівнянні активних дотичних напружень на контакті шарів з міцністю контакту на зсув [32, 53, 92, 108]. Втрата міжшарового зчеплення асфальтобетонного шару та цементобетонної плити найбільш ймовірна при максимально великій температурі, оскільки в цей час зменшується міцність шару підгрунтовки [54, 122]. Критерій міцності на контакті шарів можна записати наступним чином:

$$\frac{\tau_{ep}}{\tau_a} \geq K_{міц}, \quad (3.2)$$

де  $\tau_a$  – максимальні активні напруження зсуву на контакті шарів від дії транспортного навантаження та температурного деформування;

$\tau_{гр}$  – допустимі (граничні) дотичні напруження на зсув на контакті шарів, не повинні перевищувати міцність на зсув в середині шару асфальтобетону, МПа;

$K_{міц}$  – коефіцієнт міцності на зсув на контакті шарів.

У процесі експлуатації для асфальтобетонів характерні колійність, напливи, зсуви. Такий вид деформацій притаманний для пластичного стану матеріалу. Для контрольної оцінки зсувостійкості асфальтобетонних шарів покриття запропоновано використання методики, аналогічною до норм Білорусі [137].

Коефіцієнт запасу міцності, відповідно до ТКП 45-3.03-3-2004 визначається за формулою [137]:

$$K_{миц} = \frac{k \cdot C}{B(\tau - |\sigma| \cdot tg\varphi)} \quad (3.3)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що дорівнює 0,8;  
 $C$  – внутрішнє зчеплення матеріалу, МПа;  
 $B$  – емпіричний коефіцієнт, що залежить від категорії дороги;  
 $\tau, \sigma$  – дотичні і нормальні напруження відповідно, МПа;  
 $tg\varphi$  – тангенс кута внутрішнього тертя матеріалу шару дорожньої конструкції.

Отримане значення коефіцієнта запасу міцності  $K_{миц}$  має бути не менше необхідного, що залежить від рівня надійності дорожньої конструкції.

Згідно з методикою розрахунку враховується дія лише транспортного навантаження без врахування температурних напружень. Виникаючі горизонтальні та дотичні температурні напруження в асфальтобетонному шарі змінюють величину напружень розрахованих лише від дії транспортного навантаження [122].

При комплексній дії транспортного навантаження і температурного деформування слід врахувати зміну дотичних напружень.

Згідно з прийнятим принципом суперпозиції складаються напруження від дії транспортного навантаження та температурного деформування по схемі наведеній на рисунку 3.2. Таким чином отримано систему рівнянь напруженого стану тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі від сумісної дії транспортного навантаження і температурного

деформування:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma \sigma_Z = \sigma_Z^{Q,P}; \quad \Sigma \tau_{XZ} = \tau_{XZ}^{Q,P} + \tau_{XZ}^t; \\ \Sigma \sigma_X = \sigma_X^{Q,P} + \sigma_X^t; \quad \Sigma \tau_{YZ} = \tau_{YZ}^{Q,P} + \tau_{YZ}^t; \\ \Sigma \sigma_Y = \sigma_Y^{Q,P} + \sigma_Y^t; \quad \Sigma \tau_{XY} = \tau_{XY}^{Q,P}. \end{array} \right\} \Rightarrow \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \quad (3.2)$$

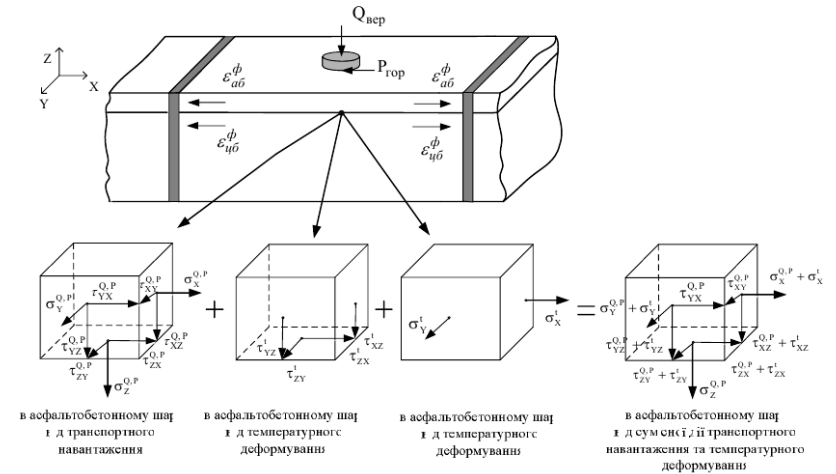


Рисунок 3.2 – Схема поєднання напружень від транспортного навантаження та температурного деформування

Узагальнене рішення дозволяє визначити повний тензор напружень від сумісної дії транспортного навантаження і температурного деформування та враховує:

- сумісність дії температурних напружень та напружень від транспортного навантаження, з врахуванням часу дії кожних складових;
- особливості температурних деформацій асфальтобетонного та цементобетонного шарів;
- що температурні напруження є двома різними складовими тензору напружень.

3.2 Моделювання напружено-деформованого стану тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі від одночасної дії транспортного навантаження та температурного деформування

Моделювання напружено-деформованого стану тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі виконано за принципом суперпозиції, на підставі розрахунку та поєднання напружень від дії різних факторів.

При моделюванні використані конструкції з товщиною асфальтобетонного шару 2 см, 5 см, 7 см та 10 см що охоплює діапазон значень товщини для тонких асфальтобетонних шарів [16, 18].

Формула деформації асфальтобетонного шару матиме вид:

- при примерзанні цементобетонної плити до основи:

$$\varepsilon_{a6}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{a6}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{a6}^b(\tau) + \varepsilon_{a6}^{m1}(\tau) - \varepsilon_{a6}^k(\tau) \quad (\text{при нагріві}), \quad (3.3)$$

$$\varepsilon_{a6}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{a6}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{a6}^b(\tau) + \varepsilon_{a6}^{m1}(\tau) \quad (\text{при охолодженні}), \quad (3.4)$$

- за відсутності примерзання цементобетонної плити до основи:

$$\varepsilon_{a6}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{a6}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{a6}^b(\tau) - \varepsilon_{a6}^k(\tau) \quad (\text{при нагріві}), \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_{a6}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{a6}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{a6}^b(\tau) \quad (\text{при охолодженні}). \quad (3.6)$$

Товщина цементобетонної плити варіюється в межах 20 см, 24 см та 28 см. Температурні напруження визначаються за рівняннями з врахуванням зміни фактичної температурної деформації асфальтобетонного шару. Формули для визначення температурних напружень в асфальтобетонному шарі на жорсткій основі матимуть вид:

- при нагріванні конструкції за умови примерзання цементобетонної

плити до основи:

$$\sigma_{a6} = \int_0^t R(t) \times \left[ \left( \alpha_{a6} \times \left[ \Delta T_{a6}^{cp*}(\tau) + \frac{1}{3} \left( \Delta T_{a6}^b(\tau) - \Delta T_{a6}^{cp*}(\tau) \right) \right] + \left( \frac{L \times (\rho \times f + 0,5 \times c) \times (1 - \mu_{a6})}{h_{a6} \times E_{a6}} \right) \right) - \left( \frac{2}{3} \times \alpha_{a6} \times (T_{a6}^b(\tau) - T_{a6}^u(\tau)) \times m \right) - \alpha_{a6} \times \left( \frac{\Delta T_{a6}^b(\tau) + \Delta T_{a6}^u(\tau)}{2} \right) \right] d\tau, \quad (3.7)$$

- при нагріванні конструкції за умови відсутності примерзання цементобетонної плити до основи:

$$\sigma_{a6} = \int_0^t R(t) \times \left[ \left( \alpha_{a6} \times \left[ \Delta T_{a6}^{cp*}(\tau) + \frac{1}{3} \left( \Delta T_{a6}^b(\tau) - \Delta T_{a6}^{cp*}(\tau) \right) \right] - \left( \frac{2}{3} \times \alpha_{a6} \times (T_{a6}^b(\tau) - T_{a6}^u(\tau)) \times m \right) \right) - \alpha_{a6} \times \left( \frac{\Delta T_{a6}^b(\tau) + \Delta T_{a6}^u(\tau)}{2} \right) \right] d\tau, \quad (3.8)$$

- при охолодженні конструкції за умови примерзання цементобетонної плити до основи:

$$\sigma_{a6} = \int_0^t R(t) \times \left[ \left( \alpha_{a6} \times \left( \frac{\Delta T_{a6}^b(\tau) + \Delta T_{a6}^u(\tau)}{2} \right) - \left( \alpha_{a6} \times \left[ \Delta T_{a6}^{cp*}(\tau) + \frac{1}{3} \left( \Delta T_{a6}^b(\tau) - \Delta T_{a6}^{cp*}(\tau) \right) \right] + \left( \frac{L \times (\rho \times f + 0,5 \times c) \times (1 - \mu_{a6})}{h_{a6} \times E_{a6}} \right) \right) \right] d\tau, \quad (3.9)$$

- при охолодженні конструкції за умови відсутності примерзання цементобетонної плити до основи:

$$\sigma_{аб} = \int_0^t \left( R(t) \times \left[ \alpha_{аб} \times \left( \frac{\Delta T_{аб}^в(\tau) + \Delta T_{аб}^н(\tau)}{2} \right) - \left( \alpha_{аб} \times \left[ \Delta T_{аб}^{сп*}(\tau) + \frac{1}{3} \left( \Delta T_{аб}^в(\tau) - \Delta T_{аб}^{сп*}(\tau) \right) \right] \right) \right] \right) d\tau \cdot \quad (3.10)$$

Для цього спочатку необхідно моделювати величини нереалізованих температурних деформацій асфальтобетонного шару на жорсткій основі за рівняннями 3.2 – 3.6.

Моделювання виконано для умов зимньої, весняної, літньої та осінньої пори року. Для кожної пори року визначені найбільш характерні температурні інтервали максимальних добових коливань температур та швидкості зміни температури:

- на весні: від 0 °С до 15 °С, від 10 °С до 35 °С, від 20 °С до 50 °С (при швидкості нагріву на 1°С від 10 до 50 хвилин, швидкості охолодження на 1 °С від 20 до 50 хвилин);

- влітку: від 25 °С до 55 °С (при швидкості нагріву на 1 °С від 14 до 16 хвилин, швидкості охолодження на 1 °С від 15 до 20 хвилин);

- восени: від 15 °С до 40 °С, від 10 °С до 25 °С, від 5 °С до 15 °С (при швидкості нагріву на 1 еС від 15 до 50 хвилин, швидкості охолодження на 1 °С від 20 до 100 хвилин);

- взимку: від мінус 5 °С до 5 °С (при швидкості нагріву на 1 °С від 40 до 80 хвилин, швидкості охолодження на 1 °С від 50 до 100 хвилин).

При виборі температурних інтервалів враховано, що:

- значення температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетону змінюється зі зміною температури, тому для різних температурних інтервалів відрізнятиметься значення нереалізованої температурної деформації асфальтобетонного шару і величина температурних напружень будуть різними;

- у кожного температурного інтервалу своя максимальна швидкість зміни температури в середині асфальтобетонного шару та швидкість

зміни температурних деформацій, яка впливає на релаксаційні процеси температурних напружень;

- міцнісні характеристики асфальтобетонного шару залежать від температури матеріалу, тому має значення величина кінцевої максимальної температури при нагріві або величина кінцевої мінімальної температури при охолодженні.

Результати моделювання відносної нереалізованої температурної деформації асфальтобетонного шару на жорсткій основі наведено в таблицях.

Таблиця 3.1 – Нереалізована відносна температурна деформація асфальтобетонного шару на жорсткій основі на весні [13]

Температурний режим	Товщина цементобетонної плити, см	Товщина асфальтобетонного шару, см		
		2	5	7
діапазон температур в середині асфальтобетонного шару від 0 °С до 15 °С				
нагрів	20	-0,00045750	-0,00043282	-0,00041704
охолодження		0,00044280	0,00042490	0,00041473
нагрів	24	-0,00045501	-0,00044084	-0,00042410
охолодження		0,00044509	0,00042678	0,00041639
нагрів	28	-0,00045257	-0,00043746	-0,00042972
охолодження		0,00044690	0,00042828	0,00041771
діапазон температур в середині асфальтобетонного шару від 10 °С до 35 °С				
нагрів	20	-0,00054075	-0,00052314	-0,00051331
охолодження		0,00058348	0,00055900	0,00054509
нагрів	24	-0,00054162	-0,00052372	-0,00051352
охолодження		0,00058799	0,00056272	0,00054837
нагрів	28	0,00054195	0,00052232	0,00051276
охолодження		0,00059157	0,00056568	0,00055097
діапазон температур в середині асфальтобетонного шару від 20 °С до 50 °С				
нагрів	20	-0,00051915	-0,00050870	-0,00050296
охолодження		0,00056215	0,00054490	0,00053510
нагрів	24	-0,00051924	-0,00050860	-0,00050252
охолодження		0,00056665	0,00054862	0,00053837
нагрів	28	-0,00051888	-0,00050771	-0,00050105
охолодження		0,00057024	0,00055158	0,00054098

Таблиця 3.2 - Нереалізована відносна температурна деформація асфальтобетонного шару на жорсткій основі влітку [13]

Температурний режим	Товщина цементобетонної плити, см	Товщина асфальтобетонного шару, см		
		2	5	7
діапазон температур в середині асфальтобетонного шару від 25 °С до 55 °С				
нагрів	20	-0,00051915	-0,00050870	-0,00050296
охолодження		0,00056215	0,00054490	0,00053510
нагрів	24	-0,00051924	-0,00050860	-0,00050252
охолодження		0,00056665	0,00054862	0,00053837
нагрів	28	-0,00051888	-0,00050771	-0,00050105
охолодження		0,00057024	0,00055158	0,00054098

Таблиця 3.3 – Нереалізована відносна температурна деформація асфальтобетонного шару на жорсткій основі взимку [13]

Температурний режим	Товщина цементобетонної плити, см	Товщина асфальтобетонного шару, см		
		2	5	7
діапазон температур в середині асфальтобетонного шару від 5 °С до - 5 °С				
нагрів	20	-0,00022162	-0,00020487	-0,00019532
охолодження		0,00020437	0,00019644	0,00019191
нагрів	24	-0,00024494	-0,00022706	-0,00021688
охолодження		0,00022189	0,00021385	0,00020925
нагрів	28	-0,00026215	-0,00024337	-0,00023268
охолодження		0,00023448	0,00022635	0,00022170

За розрахованими величинами нереалізованої відносної температурної деформації асфальтобетонного шару встановлено, що для кожної пори року при нагріві та охолодженні збільшення товщини асфальтобетонного шару призводить до зниження величини нереалізованої температурної деформації.

Це пов'язано з тим, що збільшення товщини асфальтобетонного шару призводить до зменшення величини добового температурного перепаду в середині асфальтобетонного та цементобетонного шарів. Зі зменшенням

величини нереалізованої температурної деформації зменшується величина температурних напружень.

Таблиця 3.4 – Нереалізована відносна температурна деформація асфальтобетонного шару на жорсткій основі восени [13]

Температурний режим	Товщина цементобетонної плити, см	Товщина асфальтобетонного шару, см		
		2	5	7
діапазон температур в середині асфальтобетонного шару від 5 °С до 15 °С				
нагрів	20	-0,00031208	-0,00029547	-0,00028603
охолодження		0,00028260	0,00027504	0,00027075
нагрів	24	-0,00031894	-0,00030113	-0,00029102
охолодження		0,00028374	0,00027598	0,00027157
нагрів	28	-0,00032440	-0,00030564	-0,00029498
охолодження		0,00028464	0,00027673	0,00027223
діапазон температур в середині асфальтобетонного шару від 10 °С до 25 °С				
нагрів	20	-0,00043732	-0,00041199	-0,00039760
охолодження		0,00040966	0,00039561	0,00038763
нагрів	24	-0,00043740	-0,00042023	-0,00040485
охолодження		0,00041178	0,00039736	0,00038917
нагрів	28	-0,00043525	-0,00042202	-0,00041062
охолодження		0,00041346	0,00039875	0,00039039
діапазон температур в середині асфальтобетонного шару від 15 °С до 40 °С				
нагрів	20	-0,00046551	-0,00045820	-0,00045389
охолодження		0,00047843	0,00046534	0,00045791
нагрів	24	-0,00046516	-0,00045568	-0,00045154
охолодження		0,00048207	0,00046835	0,00046056
нагрів	28	-0,00046246	-0,00045427	-0,00044871
охолодження		0,00048497	0,00047075	0,00046267

Для моделювання температурних напружень за визначеними значеннями нереалізованої температурної деформації необхідно визначити значення функції релаксації напружень.

Величина температурних напружень від нереалізованої температурної деформації залежить від часу дії деформування (швидкості зміни температури та величини температурного перепаду). При зміні температури асфальтобетонного шару на 1°С на початковій стадії нагріву (або охолодження) відбувається температурне деформування та виникає

нереалізована температурна деформація, що викликана перепадом температури на перший 1 °С. При нагріві (або охолодженні) ще на 1 °С виникне друга складова нереалізованої температурної деформації, що викликана перепадом температури на наступний 1 °С, і так далі. Таким чином загальну величину нереалізованої температурної деформації можна розкласти на окремі складові, при цьому кількість складових дорівнює величині температурного перепаду в °С.

Кожна складова загальної нереалізованої температурної деформації, що викликана перепадом на 1 °С матиме різний час дії та відповідно різну величину релаксації напружень. Нереалізована температурна деформація, що викликана перепадом температур на останній 1 °С наприкінці нагрівання (або охолодження) матиме мінімальний час дії у порівнянні з іншими складовими загальної нереалізованої температурної деформації та дорівнюватиме часу зміни температури в асфальтобетонному шарі на 1 °С. Нереалізована температурна деформація, що викликана перепадом температури на перший 1 °С на початку нагріву (або охолодження) матиме максимальний час дії у порівнянні з іншими складовими загальної нереалізованої температурної деформації.

Тому для визначення загальних температурних напружень необхідно визначити суму температурних напружень від кожної окремої складової нереалізованої температурної деформації (що виникає від зміни температури на 1 °С) з врахуванням часу дії кожної складової. Визначивши температурні напруження, що виникають від перепаду температури на кожен 1 °С, з врахуванням часу дії деформування кожного наступного 1 °С та підсумувавши їх можна знайти напруження в будь який момент часу.

В ході визначення температурних напружень встановлено лінійний зв'язок між загальними температурними напруженнями (визначеними як сума окремих складових температурних напружень від деформації на кожен 1 °С) та температурними напруженнями, що виникають від температурного перепаду на останній 1 °С.

Моделювання добового коливання температур в асфальтобетонному шарі та цементобетонній плиті:

Січень, м. Умань (48° 46' Пн. Ш.)

1. Середньомісячна максимальна температура повітря  $t_{\text{пов}}^{\text{ср. max}} = -3,33$  °С;
2. Середньомісячна мінімальна температура повітря  $t_{\text{пов}}^{\text{ср. min}} = -4,84$  °С;
3. Середньомісячна температура повітря  $t_{\text{см}} = -4,09$  °С;

$$t_{\text{п.д.}}^{\text{max}} = \frac{t_{\text{пов}}^{\text{ср. max}} - t_{\text{пов}}^{\text{ср. min}}}{2} + t_{\text{екв}} = \frac{t_{\text{пов}}^{\text{ср. max}} - t_{\text{пов}}^{\text{ср. min}}}{2} + \frac{\rho \times I_{\text{ср.доб}}}{a_{\text{м}}} \times K_1 \times K_2 \times K_{\text{п}},$$

$$t_{\text{п.д.}}^{\text{max}} = \frac{-3,33 - (-4,84)}{2} + \frac{0,87 \times 1046}{16} \times 0,97 \times 0,117 \times 0,8 = 5,92$$
 °С,

$$t_{\text{п.н.}}^{\text{max}} = \frac{t_{\text{пов}}^{\text{ср. max}} - t_{\text{пов}}^{\text{ср. min}}}{2} = \frac{-3,33 - (-4,84)}{2} = 0,76$$
 °С.

Товщина асфальтобетонного шару 2 см, товщина цементобетонної плити 20 см.

Температура поверхні асфальтобетонного покриття:

$$\text{вдень: } t_{\text{аб}}^{\text{пов}} = t_{\text{пов}}^{\text{ср. max}} + t_{\text{екв}} = t_{\text{пов}}^{\text{ср. max}} + \frac{\rho \times I_{\text{ср.доб}}}{a_{\text{м}}} \times K_1 \times K_2 \times K_{\text{п}},$$

$$t_{\text{аб}}^{\text{пов}} = -3,33 + \frac{0,87 \times 1046}{16} \times 0,97 \times 0,117 \times 0,8 = 1,83$$
 °С,

$$\text{вночі: } t_{\text{аб}}^{\text{нов}} = t_{\text{пов}}^{\text{ср. min}} + t_{\text{п.н.}}^{\text{max}},$$

$$t_{\text{аб}}^{\text{нов}} = -4,84 + 0,76 = -4,08$$
 °С.

Температура нижньої поверхні асфальтобетонного покриття:

вдень:

$$t_{\text{аб}}^{\text{h}} = t_{\text{см}} + t_{\text{п.д.}}^{\text{max}} \times \exp\left(\left(-h_{\text{аб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{аб}}}}\right) \times \cos\left(\omega \times \tau - h_{\text{аб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{аб}}}}\right)\right),$$

$$\omega = \frac{2 \times \pi}{24} = \frac{2 \times 3,14}{24} = 0,26,$$

$$t_{\text{аб}}^{\text{h}} = -4,09 + 5,92 \times \exp\left(\left(-0,02 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0032}}\right) \times \cos\left(\frac{2 \times 3,14}{24} \times 12 - 0,02 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0032}}\right)\right) = 1,12$$
 °С,

$$\text{вночі: } t_{\text{аб}}^{\text{h}} = t_{\text{см}} + t_{\text{п.н.}}^{\text{max}} \times \exp\left(\left(-h_{\text{аб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{аб}}}}\right) \times \cos\left(\omega \times \tau - h_{\text{аб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{аб}}}}\right)\right),$$

$$t_{\text{ниб}}^h = -4,09 + 0,76 \times \exp\left(\left(-0,02 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0032}}\right) \times \cos\left(\frac{2 \times 3,14}{24} \times 12 - 0,02 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0032}}\right)\right) = -3,42 \text{ } ^\circ\text{C},$$

Температура нижньої поверхні цементобетонної плити:

$$t_{\text{ниб}}^h = t_{\text{сн}} + t_{\text{н.н}}^{\text{max}} \times \exp\left(\left(-h_{\text{ниб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{ниб}}}}\right) \times \cos\left(\omega \times \tau - h_{\text{ниб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{ниб}}}}\right)\right) \times \exp\left(\left(-h_{\text{ниб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{ниб}}}}\right) \times \cos\left(\omega \times \tau - h_{\text{ниб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{ниб}}}}\right)\right),$$

вдень:

$$t_{\text{ниб}}^h = -4,09 + 5,92 \times \exp\left(\left(-0,02 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0032}}\right) \times \cos\left(\frac{2 \times 3,14}{24} \times 12 - 0,02 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0032}}\right)\right) \times \exp\left(\left(-0,2 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0040}}\right) \times \cos\left(\frac{2 \times 3,14}{24} \times 12 - 0,2 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0040}}\right)\right) = -2,43$$

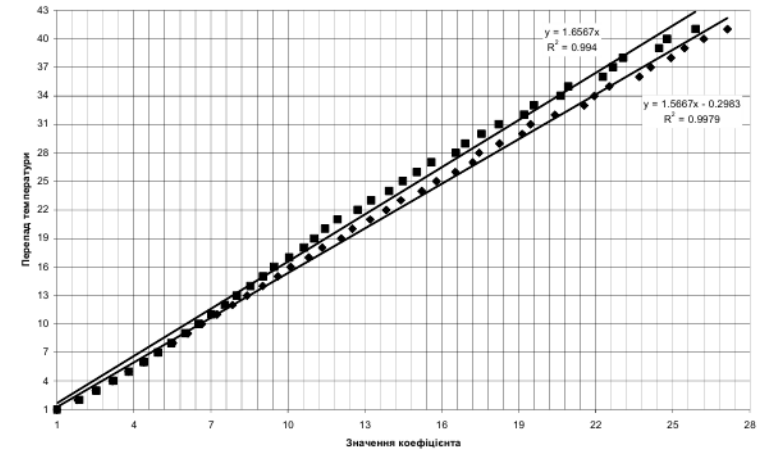
$$t_{\text{ниб}}^h = t_{\text{сн}} + t_{\text{н.н}}^{\text{max}} \times \exp\left(\left(-h_{\text{ниб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{ниб}}}}\right) \times \cos\left(\omega \times \tau - h_{\text{ниб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{ниб}}}}\right)\right) \times \exp\left(\left(-h_{\text{ниб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{ниб}}}}\right) \times \cos\left(\omega \times \tau - h_{\text{ниб}} \times \sqrt{\frac{\omega}{2 \times a_{\text{ниб}}}}\right)\right),$$

вночі:

$$t_{\text{ниб}}^h = -4,09 + 0,76 \times \exp\left(\left(-0,02 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0032}}\right) \times \cos\left(\frac{2 \times 3,14}{24} \times 12 - 0,02 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0032}}\right)\right) \times \exp\left(\left(-0,2 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0040}}\right) \times \cos\left(\frac{2 \times 3,14}{24} \times 12 - 0,2 \times \sqrt{\frac{2 \times 3,14}{2 \times 24 \times 0,0040}}\right)\right) = -3,88$$

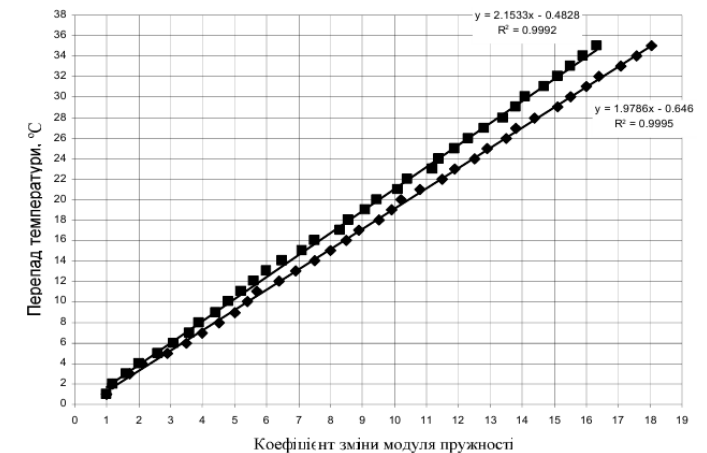
Лінійна залежність між загальними температурними напруженнями та температурними напруженнями від останнього 1 °C справедлива для всіх обраних діапазонів температур. Але наведена залежність відрізняється для різних швидкостей зміни температури в асфальтобетонному шарі (різного часу дії температурної деформації) та відрізняється для процесу нагріву та процесу охолодження.

У [13] побудовані графіки зв'язку між величиною загального температурного перепаду та перехідного коефіцієнту. Перехідний коефіцієнт дозволяє визначити загальні температурні напруження на основі визначених температурних напружень, що виникають від температурного перепаду на останній 1 °C. Побудовані графіки наведено на рисунках 3.3 – 3.8.



Швидкість зміни температури: ■ – 1 °C за 14 хвилин ♦ – 1 °C за 16 хвилин

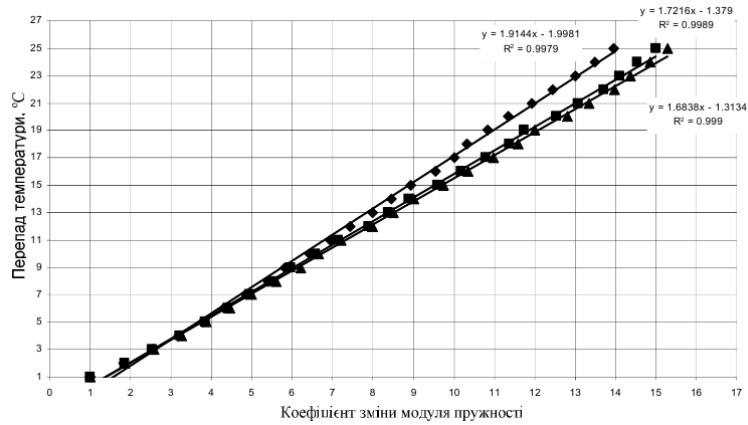
Рисунок 3.3 - Залежність між значенням перехідного коефіцієнту та величиною температурного перепаду в діапазоні температур від 20 °C до 60 °C для режиму нагріву [13]



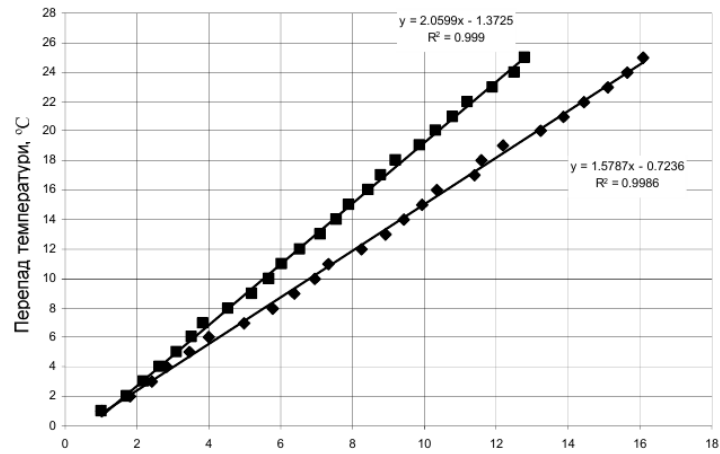
Швидкість зміни температури: ■ – 1 °C за 15 хвилин ♦ – 1 °C за 20 хвилин

Рисунок 3.4 - Залежність між значенням перехідного коефіцієнту та величиною температурного перепаду в діапазоні температур від 20 °C до 60 °C для режиму охолодження [13]



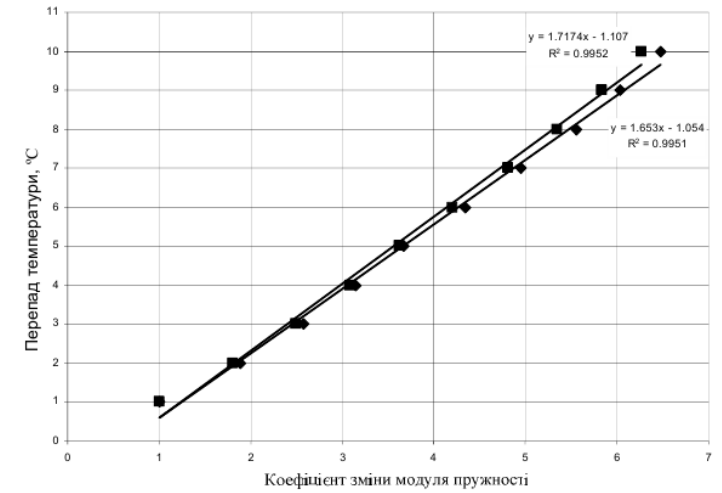


Швидкість зміни температури  $\blacklozenge$  - 1 °C за 10 хвилин,  $\blacksquare$  - 1 °C за 30 хвилин,  $\blacktriangle$  - 1 °C за 50 хвилин  
 Рисунок 3.5 - Залежність між значенням перехідного коефіцієнту та величини температурного перепаду в діапазоні температур від 5 °C до 30 °C для режиму нагріву [13]



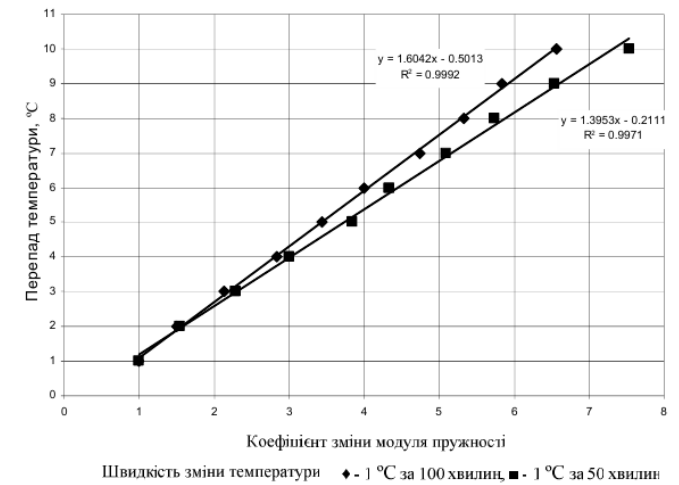
Швидкість зміни температури  $\blacklozenge$  - 1 °C за 20 хвилин,  $\blacksquare$  - 1 °C за 100 хвилин

Рисунок 3.6 – Залежність між значенням перехідного коефіцієнту та величини температурного перепаду в діапазоні температур від 5 °C до 30 °C для режиму охолодження [13]



Швидкість зміни температури  $\blacklozenge$  - 1 °C за 80 хвилин,  $\blacksquare$  - 1 °C за 40 хвилин

Рисунок 3.7 – Залежність між значенням перехідного коефіцієнту та величини температурного перепаду в діапазоні температур від - 5 °C до 5 °C для режиму нагріву [13]



Швидкість зміни температури  $\blacklozenge$  - 1 °C за 100 хвилин,  $\blacksquare$  - 1 °C за 50 хвилин

Рисунок 3.8 – Залежність між значенням перехідного коефіцієнту та величини температурного перепаду в діапазоні температур від - 5 °C до 5 °C для режиму охолодження [13]

3.3 Дослідження процесів накопичення незворотних пластичних деформацій у вигляді колії в асфальтобетонних шарах дорожніх одягів

Робоча гіпотеза в узагальненому вигляді полягає у тому, що підвищеної колієстійкості асфальтобетонних шарів дорожніх одягів можливо досягти шляхом збільшення внутрішнього тертя, теплостійкості і еластичності бітуму, та мікроармуванням мікроструктурної складової асфальтобетону.

Дослідженнями встановлено, що під впливом транспортних засобів при високих літніх температурах в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів колієутворення розвивається поступово зі збільшенням кількості прикладених навантажень.

Чим більша величина навантаження та менша постійна часу релаксації напружень, тим більша величина залишкових деформацій, що накопичуються у матеріалі. В результаті багаторазових навантажень у верхньому шарі асфальтобетонного покриття з'являється сумарна залишкова деформація, яка за своєю величиною може виявитись критичною та привести до руйнування покриття.

Рухомий склад сучасних транспортних засобів поділяється на три групи розрахункового навантаження А1, А2 та Б з тиском на покриття, відповідно, 0,8 МПа, 0,6 МПа та 0,5 МПа. Очевидно, що чим більший тиск, тим більший вплив транспортного засобу на асфальтобетонне покриття і конструкцію дорожнього одягу в цілому. Це, за недостатньої зсувостійкості асфальтобетону у шарі дорожнього одягу, може призвести до інтенсивного накопичення пластичних деформацій у вигляді колії, особливо за підвищених температур.

Процес колієутворення можливо розділити на дві стадії – стадію доущільнення асфальтобетону у шарі дорожнього одягу та стадію безпосереднього накопичення залишкових деформацій під впливом транспортних засобів.

На першій стадії, яка починається відразу після введення автомобільної дороги в експлуатацію, відбувається доущільнення асфальтобетонних шарів дорожнього одягу під дією транспортного потоку, при умові, що шари основи є достатньо жорсткими та стійкими. При цьому інтенсивність доущільнення залежатиме від температури асфальтобетонного покриття та величини навантаження на вісь транспортних засобів, що рухаються по ньому. Висока температура та великовагові транспортні засоби сприятимуть швидкому доущільненню асфальтобетонів в шарах дорожнього одягу. Процес доущільнення можливо виразити як відносну зміну об'єму тіла  $\frac{\Delta V}{V}$ . Зміну об'єму асфальтобетонного шару  $\Delta V$  при збільшенні тиску на  $\Delta P$  можливо визначити як:

$$\Delta V = -V \cdot \alpha \cdot \Delta P \quad (3.11)$$

При вирішенні плоскої задачі:

$$\Delta h = -H \cdot \alpha \cdot \Delta P \quad (3.12)$$

де  $\Delta h$  – зміна товщини асфальтобетонного шару;  
 $H$  – початкова товщина асфальтобетонного шару;  
 $\alpha$  – коефіцієнт зміни товщини асфальтобетонного шару.

В залежності від ступеня початкового ущільнення асфальтобетонних шарів, а також від величини навантаження на вісь транспортних засобів та інших факторів, глибина колії за рахунок доущільнення зростатиме до  $n!$  кількості проходів колеса з поступовим переходом на другу стадію.

Зазвичай вважається, що глибина колії 3 мм є очікуваною при доущільненні асфальтобетонних шарів дорожнього одягу і прийнятною.

Перехід на другу стадію характеризується рівновагою об'єму зони заглиблення у асфальтобетонному шарі покриття по смузі накату та об'єму бокових випорів в прилягаючих зонах до заглиблення (рис. 3.9; 3.10). Це свідчить про те, що стадія доущільнення рухомими транспортними засобами після  $n_1$  проходів завершена, а подальша стадія утворення колії обумовлена переміщенням матеріалу зі сталістю об'ємів. На цій стадії відбувається процес накопичення незворотних пластичних деформацій повзучості.

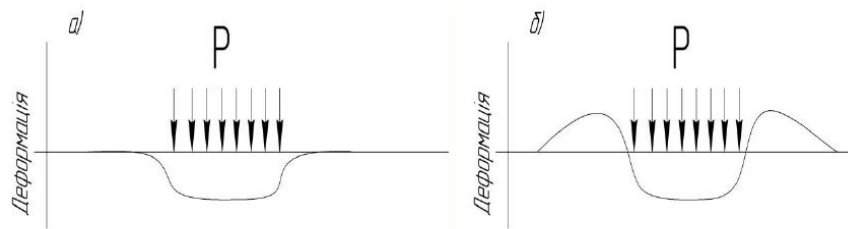


Рисунок 3.9 – Форма колії на першій (а) та другій (б) стадії колієутворення

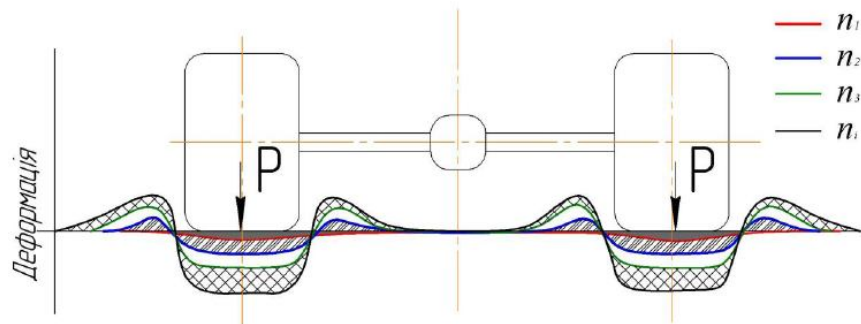


Рисунок 3.10 – Зміна профілю поверхні покриття дорожнього одягу при збільшенні кількості проїздів транспортних засобів

Інтенсивність накопичення незворотних пластичних деформацій (рис. 3.11) описується лінійною функціональною залежністю 3.13 у логарифмічній системі координат (рис. 3.12):

$$y = a + b \cdot (x_2 - x_1) \quad (3.13)$$

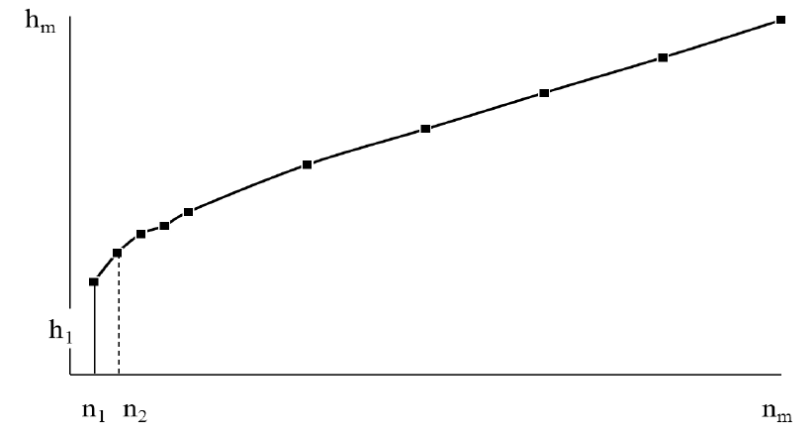


Рисунок 3.11 – Інтенсивність накопичення пластичних деформацій у натуральних координатах

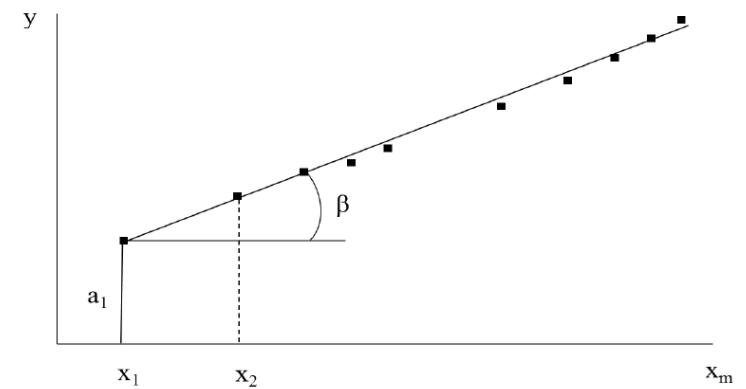


Рисунок 3.12 – Інтенсивність накопичення пластичних деформацій у логарифмічних координатах

Залежність 3.13 можливо записати (3.14):

$$\ln h = \ln h_1 + b \cdot (\ln n_2 - \ln n_1) \quad (3.14)$$

де  $h$  – глибина колії у натуральних координатах, мм;

$\ln h = y$  – глибина колії у логарифмічних координатах;

$n$  – кількість проходів колеса у натуральних координатах;

$\ln n = x$  – кількість проходів колеса у логарифмічних координатах;

$h_1$  – глибина колії у натуральних координатах при  $n_1$  проходах колеса, мм;

$\ln h_1 = a_1$  – глибина колії у логарифмічних координатах при  $x_1 = \ln n_1$ ;

$b$  – кутовий коефіцієнт прямої.

Маємо:

$$\begin{aligned} h_m &= h_1 \cdot e^{b \cdot (\ln n_2 - \ln n_1)} \\ h_m &= h_1 \cdot e^{b \cdot \ln \frac{n_2}{n_1}} \\ h_m &= h_1 \cdot \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^b \end{aligned} \quad (3.15)$$

Таким чином, накопичення незворотних пластичних деформацій у виді колії  $h_1, h_2, \dots, h_m$  при  $n_1, n_2, \dots, n_m$  можливо описати рівнянням 3.15.

Інтенсивність накопичення пластичних деформацій характеризується відношенням послідувочої кількості проходів колеса  $n_2$  до попередньої кількості проходів  $n_1$  у ступені  $b$  та помноженого на значення глибини колії, яка утворилася після завершення етапу доущільнення асфальтобетонних шарів дорожнього одягу. При цьому кутовий коефіцієнт прямої визначається як тангенс кута  $\beta$  між прямою та віссю  $x$ .

Можливо припустити, що кутовий коефіцієнт  $b$  буде змінним в залежності від структури та властивостей асфальтобетонів в шарах дорожнього одягу, величини навантаження на вісь транспортних засобів та температурних режимів роботи асфальтобетонних шарів.

Загальновизнано, що довговічність асфальтобетонів у покритті залежить від їх структурних особливостей. Очевидно, що колієстійкість, як один із критеріїв довговічності асфальтобетонних шарів дорожніх одягів, теж залежатиме від структури асфальтобетону. Характер процесу колієутворення може бути пояснений на підставі уявлень про наявність в асфальтобетонах мікроструктури, мезоструктури та макроструктури. Слід очікувати, що тому чи іншому типу макроструктури асфальтобетону (базальна, порова та контактна) буде властива різна стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій, тобто різна колієстійкість.

Базальній макроструктурі асфальтобетону властиве розташування окремих зерен щебеню в асфальтовому розчині. Порова макроструктура характеризується компактним розташуванням зерен щебеню, що контактують через відносно тонкі прошарки асфальтового розчину.

Контактній макроструктурі притаманний безпосередній контакт зерен щебеню через тонкі прошарки асфальтового в'язучого.

При малому вмісті щебеню в асфальтобетоні його міцність забезпечується переважно силами зчеплення, які залежать від міцності зв'язків в мікроструктурній частині. При цьому, окремо розташовані в асфальтовому розчині зерна щебеню мало впливають на внутрішнє тертя і тому слід очікувати найменшої колієстійкості асфальтобетонів з базальною макроструктурою.

При збільшенні вмісту щебеню у складі асфальтобетону спостерігається збільшення шорсткості площин ковзання, що сприяє зростанню внутрішнього тертя і утворенню контактів між окремими групами зерен щебеню. Таким асфальтобетонам характерна порова макроструктура, яка

забезпечуватиме більшу колієстійкість матеріалу у шарі дорожнього одягу, порівняно з базальною макроструктурою.

При подальшому насиченні асфальтобетону щебенем у ньому створюється жорсткий каркас, завдяки контакту зерен через тонкі плівки асфальтов'язучої речовини, що забезпечує асфальтобетону з контактною макроструктурою найбільшу колієстійкість, порівняно з базальною та поровою макроструктурами.

Відомо, що збільшення середньої крупності зерен мінеральної частини асфальтобетонів супроводжується зменшенням величини питомої поверхні та збільшенням товщини плівок в'язучого, необхідного для укривання зерен.

Тому для встановлення найбільш колієстійкої макроструктури необхідно враховувати не тільки позитивну роль просторового каркасу із зерен щебеню, що забезпечує внутрішнє тертя асфальтобетону, але і вплив вмісту та властивостей бітумного в'язучого, яке, виконуючи роль «мастила», може значно знизити внутрішнє тертя. При цьому дослідженнями встановлено [13], що внутрішнє тертя не залежить від температури, швидкості деформування і знижується зі збільшенням вмісту бітуму, а внутрішнє зчеплення зменшується з підвищенням температури, зниженням швидкості деформування і збільшенням вмісту бітуму.

З урахуванням викладеного можливо спрогнозувати існування кореляційного зв'язку між коефіцієнтом внутрішнього тертя, зчепленням при зсуві та колієстійкістю асфальтобетонів.

Зважаючи на визначальний вплив бітумного в'язучого на фізико-механічні властивості та довговічність асфальтобетонів в шарах дорожнього одягу широкого практичного застосування набула технологія модифікації бітумів різними полімерними добавками. Відомо, що бітумам, модифікованим полімерами типу термоеластоластів, властиве пружне відновлення після зняття навантаження. Досягається це завдяки тому, що розчинений в бітумі термоеластоласт зміцнює структуру в'язучого

за рахунок утворення просторової сітки із макромолекул. При цьому частина дисперсійного середовища бітуму переходить в адсорбційно-сольватний стан, що викликає збільшення в'язкості в'язучого, яка пов'язана з концентрацією введеного термоеластоласту. Завдяки наявності в об'ємі в'язучого просторової сітки із макромолекул полімеру бітум набуває еластичності та меншої термочутливості.

До найпоширеніших термоеластоластів відносяться полімери типу SBS (стирол-бутадієн-стирол), використання яких для модифікації бітуму надасть в'язучому еластичність та підвищену теплостійкість. Найбільш типовими представниками полімерів вказаного типу є «Kraton D1101 CM» лінійної структури. Для досягнення аналогічного ефекту при модифікації бітумів можливо також застосувати катіонний водний латекс «Butonal NS 198». Вказаний латекс по аналогії з полімером «Kraton D1101 CM» забезпечить бітуму еластичність, підвищену теплостійкість та, завдяки наявності катіонного емульгатора, покращить зчеплення бітуму з негативно зарядженою поверхнею мінеральних матеріалів.

Виходячи з викладеного можливо стверджувати, що відзначені властивості бітумополімерів у складі асфальтобетону дозволять матеріалу у покритті дорожнього одягу працювати в пружній стадії з мінімальною залишковою деформацією і, відповідно, сприятимуть підвищенню їх колієстійкості, порівняно з асфальтобетонами на основі традиційних бітумів.

Мінімізувати залишкові пластичні деформації в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу можливо також шляхом введенням фіброволокон до складу асфальтобетонних сумішей на етапі їх приготування. Ефект зміцнення асфальтобетонів фіброволокнами ґрунтується на припущенні, що асфальтов'язуча речовина, як мікроструктурна складова асфальтобетонів, передає на армуючі волокна частину розтягуючих напружень, які виникають у матеріалі при прикладанні зовнішніх навантажень.

### 3.4 Практичні рекомендації щодо підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу

Відсутність об'єктивної методики розрахунку стосовно утворення колії на асфальтобетонному покритті, постійне зростання навантажень від транспортних засобів (збільшення інтенсивності руху, збільшення доли великовантажних транспортних засобів, збільшення кількості осей на транспортних засобах, збільшення тиску у колесах, застосування однобалонних шин та ін.), аномалії погодних кліматичних умов в останні роки приводять до більш інтенсивного утворення колії на асфальтобетонному покритті. Все це вимагає розробки ефективних заходів, що сприятимуть підвищенню колієстійкості асфальтобетонного покриття з урахуванням основних чинників, що призводять до колієутворення, та існуючого досвіду експлуатації автомобільних доріг України [1, 2, 4, 14].

Всі різноманітні чинники утворення колії можна розділити на три основні групи [1, 4, 14]:

- конструктивні – недостатня міцність дорожньої конструкції, недостатнє зчеплення між асфальтобетонними шарами покриття та основою, накопичення залишкових деформацій у ґрунті земляного полотна, накопичення пластичних деформацій в асфальтобетонних шарах та ін.;
- технологічні – неоднорідність (сегрегація) при виготовленні та укладанні асфальтобетонної суміші, недостатні або надмірні витрати підґрунтовки, недостатнє ущільнення основи та асфальтобетонних шарів покриття та ін.;
- матеріалознавчі – недостатність вимог до асфальтобетону, асфальтобетонної суміші та її компонентів, а також до матеріалів шарів основи.

Підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття рекомендується забезпечувати за рахунок застосування комплексу заходів, направлених

на підвищення стійкості до накопичення залишкових деформацій матеріалу покриття (шляхом диференційованого вибору типів, видів і марок асфальтобетонів у відповідності з кліматичними умовами експлуатації), підвищенням жорсткості, міцності і стабільності ґрунту земляного полотна та шарів основи, а також забезпеченням необхідного зчеплення між шарами.

#### *Конструювання асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу підвищеної колієстійкості*

1. Проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу підвищеної колієстійкості, являє собою суцільний процес розрахунку покриття на міцність, зсувостійкість, а також морозостійкості з урахуванням техніко-економічного обґрунтування варіантів конструкцій.

2. Інженерний метод розрахунку асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу включає в себе:

- визначення кількості та товщини конструктивних шарів;
- вибір матеріалів для шарів конструкції з урахуванням інноваційних матеріалів та технологій;
- застосування енергозаощадливих та екологічних матеріалів та технологій.

3. При розрахунку асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу необхідно дотримуватися наступних принципів:

- асфальтобетонні шари покриття та шари основи можуть бути типовими чи розробленими окремо для кожного шару конструкції з урахуванням різного рівня розрахункового навантаження;
- технологія влаштування асфальтобетонних шарів покриття та шарів основи повинна забезпечувати можливість максимальної механізації дорожньо-будівельних процесів та враховувати реальні умови виконання будівельних робіт.

4. При влаштування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу необхідно враховувати конструктивні, матеріалознавчі та технологічні заходи щодо підвищення колієстійкості.

Конструктивні заходи щодо підвищення стійкості до утворення колії

асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.

Для підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття при конструюванні дорожнього одягу нежорсткого типу для важкого та інтенсивного руху слід дотримуватись наступних принципів:

- застосування в робочій зоні земляного полотна стабілізованих або укріплених неорганічними в'язучими ґрунтів;
- застосування в дренальних шарах основи штучного дробленого піску або щебенево-піщаних сумішей;
- застосування між ґрунтом земляного полотна та основою дорожнього одягу геотекстильних матеріалів [14];
- застосування між піщаною основою і щебеним шаром основи геотекстильних матеріалів згідно з розділом [14];
- застосування в шарах основи щебенево-піщаних сумішей неукріплених та укріплених неорганічними в'язучими [14];
- з просочуванням та напівпросочуванням органічними в'язучими, а також чорний щебінь;
- рекомендується виконувати підґрунтовку поверхні основи покриття бітумом, модифікованим полімерами [14] (орієнтовні витрати підґрунтовки призначати згідно [14], а їх уточнення здійснювати з урахуванням [14] для забезпечення максимального зчеплення між шарами асфальтобетону);
- при застосуванні шарів асфальтобетонного покриття з підвищеною колієстійкістю рекомендується перевіряти асфальтобетони різної гранулометрії за методикою [14].

При зведенні земляного полотна із ґрунтів при умові зволоження за II та III типом рекомендується укріплювати ґрунти активної зони земляного полотна неорганічними в'язучими. При цьому необхідно обов'язково влаштувати дренаж [14], та/або влаштувати фільтрувальні прошарки [14].

Рекомендується здійснювати розрахунок у літній період на стійкість до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних

матеріалів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу для підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття.

В основному слід застосовувати щільний асфальтобетон I – II марок типів А, Б. Для умов дорожньо-кліматичних зон А-1 і А-7 на дорогах I, II, III, категорій переважно слід використовувати асфальтобетони типів А, Б та щебенево-мастиковий асфальтобетон незалежно від дорожньо-кліматичної зони [14].

Для запобігання колієутворення на автомобільних дорогах з рухом великовантажних транспортних засобів у верхньому шарі покриття рекомендується застосовувати асфальтобетонні суміші типу А та ЩМА.

У нижніх шарах основи рекомендується використовувати щільні асфальтобетони з залишковою пористістю не менше 3% та пористі асфальтобетони з залишковою пористістю не більше 7%.

Товщини проміжних шарів дорожнього одягу слід призначати такими, щоб під дією розрахункових навантажень у монолітних шарах основи з матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими, а також комбінованими в'язучими, розтягувальні напруження при згині не перевищували допустимих, а в зернистих і малозв'язних матеріалах (гравій, пісок, суміші на основі рідких органічних в'язучих і т. ін.) не виникали б неприпустимі деформації зсуву і не відбувалась їх дезінтеграція. Ступінь дезінтеграції зернистих матеріалів визначається за методикою [14].

Міжремонтний термін для проведення робіт з усунення на асфальтобетонних покриттях колії недопустимої глибини з метою відновлення поперечної рівності покриття (термін служби дорожнього покриття за критерієм поперечної рівності) рекомендується не менше зазначених [14].

Технологічні заходи при влаштуванні конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям підвищеної колієстійкості.

При спорудженні земляного полотна потрібно дотримуватись технології зведення конструкції земляного полотна та забезпечення якості робочого шару [1, 4].

З метою забезпечення однорідності при стабілізації або укріпленні шару дорожнього одягу рекомендується застосовувати холодний ресайклінг на дорозі або в стаціонарних чи пересувних змішувачах примусової дії [14].

З метою підвищення розподільчої та несучої здатності між ґрунтом земляного полотна і основою, між щебеневою основою і асфальтобетонним покриттям рекомендується використовувати геосинтетичні матеріали. При застосуванні геосинтетичних матеріалів для підвищення стабільності ґрунту земляного полотна рекомендується дотримуватись вимог [14].

Для зменшення зволоження ґрунту земляного полотна та основи дорожнього одягу рекомендується передбачати такі заходи, як зміцнення узбіч, забезпечення їх належного поперечного похилу і водонепроникності, влаштування бордюрів і лотків, а також забезпечення безпечної відстані від брівки земляного полотна до рівня тривалих поверхневих вод, підвищене ущільнення (до  $K = 1,03 \dots 1,05$ ) верхньої частини робочого шару в дорожньо-кліматичних зонах У-II, У-III.

При влаштуванні асфальтобетонного покриття підвищеної колієстійкості рекомендується дотримуватись технологічного регламенту, приділяючи особливу увагу наступним технологічним операціям:

- підготовка основи дорожнього одягу;
- підґрунтовка шару основи;
- транспортування асфальтобетонної суміші;
- укладання асфальтобетонної суміші;
- контроль якості робіт.

Всі роботи необхідно виконувати згідно [14]. До початку влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу слід скласти та затвердити

графік виконання робіт, розробити транспортну схему та технологічну карту на влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу.

#### *Підготовка основи дорожнього одягу*

Поверхню основи до укладання асфальтобетонної суміші ретельно очищують від пилу, бруду. При необхідності основу вирівнюють, ліквідують ямковість, тріщини та ін.

#### *Підґрунтовка шару основи*

Виконують підґрунтовку на автомобільних дорогах загального користування [14] шляхом рівномірного розподілу бітуму, модифікованого полімерами [14].

#### *Транспортування асфальтобетонної суміші*

Тривалість транспортування асфальтобетонної суміші повинна бути такою, щоб суміш не встигала охолонути нижче мінімально допустимої температури на початку ущільнення.

При цьому температура асфальтобетонної суміші не повинна перевищувати її максимально допустиме значення для кожного конкретного виду в'язучого [1, 2, 4, 14].

Для зменшення втрат тепла асфальтобетонної суміші під час транспортування, слід застосовувати великовантажні автомобілі вантажопідйомністю 25-40 тон з кузовами, що підігріваються, а також обов'язковим укриттям гарячої суміші. При цьому для збереження температури асфальтобетонної суміші на автосамоскидах необхідно влаштувати повітряний прошарок між тентом та поверхнею суміші.

Рух автомобільного транспорту при транспортуванні асфальтобетонної суміші необхідно організувати таким чином, щоб забезпечити безперервне укладання суміші.

Укладання асфальтобетонної суміші. Асфальтобетонна суміш укладається у відповідності з технологічною картою на влаштування асфальтобетонного покриття.



Укладання асфальтобетонної суміші рекомендується виконувати асфальтоукладальниками, які обладнано подвійним трамбувальним брусом та вигладжувальною віброплитою або трамбувальним брусом, вигладжувальною віброплитою та гідравлічними пресувальними планками.

При укладанні асфальтобетонної суміші для підвищення колієстійкості рекомендується застосування перевантажувача. Використання перевантажувача вирішує одночасно такі технологічні задачі – зменшує гранулометричне та температурне розшарування асфальтобетонної суміші (сегрегацію), а також виконує постійне завантаження бункера асфальтоукладальника сумішшю, що сприяє покращанню рівності асфальтобетонного покриття та підвищенню колієстійкості. Укладання слід проводити на всю ширину проїзної частини.

Ущільнення здійснюють важкими гладковальцевими котками [14]. Роботи з ущільнення необхідно організувати так, щоб на протязі зміни котки не мали перерви в роботі.

Для підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття рекомендується ущільнювати асфальтобетонну суміш до коефіцієнта ущільнення не нижче ніж 0,99 для I та II категорії, а для III – 0,98.

Контроль якості робіт. Асфальтобетонна суміш та асфальтобетон випробовують згідно [14], повинні відповідати вимогам [14].

Рекомендується слідкувати за процесом ущільнення шарів конструкції дорожнього одягу шляхом постійної перевірки коефіцієнта ущільнення під час укладання.

Заходи, направлені на усунення колійності в асфальтобетонному покритті.

Наведено технологічні особливості по ремонту асфальтобетонного покриття в результаті утворення колійності та запропоновано технічні рішення щодо усунення можливих дефектів під час експлуатації з метою запобігання подальших руйнувань та підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.

Роботи з усунення колії в асфальтобетонному покритті необхідно виконувати з урахуванням чинних нормативних документів [14].

Усунення колійності в асфальтобетонному покритті можна розділити на наступні види:

- 1) Організаційні, що базуються на методах зниження темпів утворення колії:
  - обмеження денного потоку вантажного транспорту в літній час при підвищених температурах (при добовому завантаженні автомобільної дороги за рахунок нічного часу);
  - проведення вагового контролю величини навантаження на вісь автомобіля та застосування штрафних санкцій на власників автотранспорту при недотриманні таких вимог;
  - забезпечення зменшення транспортного потоку з крайніх правих смуг, за рахунок створення рівномірного потоку по смугах руху та ліквідація місць зниження швидкості руху;
- 2) Ліквідація утвореної колійності асфальтобетонного покриття, що не передбачає повного усунення причин її виникнення:
  - зменшення глибини колії за рахунок часткового холодного або гарячого фрезерування (зрізання колії, хвиль, напливів);
  - проведення часткового гарячого або холодного фрезерування з подальшим його влаштуванням або з влаштуванням захисного шару чи проведенням поверхневої обробки;
  - проведення поверхневої обробки або влаштування тонкого шару покриття на всій ширині проїзної частини (технологія «Сларрі Сіл», «Мікросюрфейсінг»);
- 3) Усунення причин, що впливають на утворення колійності асфальтобетонного покриття:
  - проведення ремонту з подальшим підсиленням конструкції дорожнього одягу (зміна поперечного профілю, влаштування додаткових колієстійких шарів покриття, застосування геосинтетичних матеріалів, використання

сучасних дорожньо-будівельних матеріалів, що підвищують колієстійкість покриття та інше).

4) Засоби, направлені на попередження утворення колії:

- проведення розрахунку дорожньої конструкції з урахуванням накопичення залишкових деформацій;
- підбір дорожньо-будівельних матеріалів підвищеної колієстійкості при високій температурі навколишнього середовища та вологості основи і шарів конструкції та підвищеного навантаження від дії транспортних засобів;
- суворий контроль якості на підготовчому етапі, етапі будівництва та утримання автомобільної дороги;
- проведення обов'язкового лабораторного дослідження колієутворення всіх матеріалів конструкції та з наступним стендовим або полігонним дослідженням конструкції дорожнього одягу на утворення колії з обов'язковим порівнянням різних типів та видів конструкцій дорожнього одягу.

Для доріг і вулиць міст з інтенсивним рухом великовантажного транспорту рекомендується під час ремонтів, як мінімум, застосовувати два шари із полімерасфальтобетону на відремонтованій основі, що склеєні між собою полімербітумним в'язучим або модифікованою полімером бітумною емульсією: верхній із дрібнозернистого асфальтобетону товщиною 4-6 см; нижній із крупнозернистого асфальтобетону товщиною 8-12 см.

Для забезпечення колієстійкості асфальтобетонного покриття при проектуванні дорожнього одягу необхідно керуватися наступними принципами:

а) конструкція дорожнього одягу в цілому повинна задовільняти транспортно-експлуатаційні вимоги, які ставляться до дороги певної категорії з очікуваним у перспективі складом й інтенсивністю руху, з урахуванням зміни інтенсивності протягом заданих міжремонтних термінів і передбачуваних умов ремонту й утримання;

б) конструкція одягу може бути прийнята типовою чи розроблена індивідуально для кожної ділянки або ряду ділянок дороги, що характеризуються подібними природними умовами (грунт робочого шару земляного полотна, умови його зволоження, клімат, забезпеченість місцевими дорожньо-будівельними матеріалами і т. ін.) з однаковими розрахунковими навантаженнями;

в) у районах, недостатньо забезпечених стандартними кам'яними матеріалами, допускається (при відповідному обґрунтуванні) застосовувати місцеві кам'яні матеріали, побічні продукти промисловості та ґрунти, властивості яких можуть бути поліпшені шляхом їх обробки в'язучими матеріалами (цемент, бітум, вапно, активні золи виносу та ін.). Одночасно треба прагнути до створення конструкції по можливості найменш матеріалоємної;

г) конструкція повинна бути технологічною й забезпечувати можливість максимальної механізації й автоматизації дорожньо-будівельних процесів. Для досягнення цієї мети кількість шарів і видів матеріалів у конструкції повинна бути мінімальною;

д) при конструюванні необхідно враховувати реальні умови проведення будівельних робіт (літня чи зимова технологія і т. ін.) і досвід служби доріг у конкретному заданому районі.

При виборі матеріалів для влаштування шарів дорожнього одягу необхідно враховувати такі положення:

а) покриття і верхні шари основи повинні відповідати проектним навантаженням і бути водо-, морозо- і термостійкими, а також мати найкращі деформаційні якості і теплофізичні властивості;

б) конструкція дорожнього одягу в місцях зупинок громадського транспорту, на регульованих перехрестях і в інших місцях зміни швидкості руху або на затяжних спусках повинна забезпечувати підвищений опір зсуву при високих літніх температурах.

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Вимоги безпеки та охорони навколишнього середовища

При приготуванні асфальтобетонних сумішей та влаштуванні колієстійких асфальтобетонних шарів дорожніх одягів необхідно вжити заходи щодо забезпечення умов охорони праці робітників та інженерно-технічних працівників, а також охорони навколишнього природного середовища відповідно до вимог НПАОП 63.21-1.01, ДБН В.1-1-7, НАПБ А.01.001, ДСТУ 7238, ДСТУ 7239, ДСТУ 4044, ДСТУ Б В.2.7-119, ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 12.4.011 та СОУ 45.2-00018112-006.

Матеріали для приготування асфальтобетонних сумішей – щебінь, пісок, мінеральний порошок і бітум – за ступенем шкідливої дії на організм людини відносяться до помірно небезпечних та мало небезпечних речовин (III-IV) класів безпеки згідно з ГОСТ 12.1.007). Роботи з використання асфальтобетонних сумішей можна проводити без додаткових заходів, крім загально прийнятих. Під час завантаження, транспортування та розвантаження необхідно керуватись загальними правилами техніки безпеки при роботі з нетоксичними та малотоксичними речовинами.

Вихідні бітуми (в тому числі модифіковані) є горючими речовинами з температурою займання (300-351) оС. При роботі з ними необхідно дотримуватись вимог безпеки згідно з НАПБ А.01.001, НАПБ В.01.048, ГОСТ 12.1.004 та ДСТУ 4044. При загорянні невеликої кількості бітуму його треба гасити піском або пінним вогнегасником.

Розвинуті пожежі бітуму треба гасити пінним струменем, повітряно-механічною піною та сильним струменем від лафетних стволів.

Приміщення, де проводяться роботи з в'язучим, полімерами та адгезійними домішками повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією згідно з СНиП 2.04.05, ГОСТ 12.4.021.

Робітники, які займаються приготуванням і застосуванням асфальтобетонних сумішей для влаштування колієстійких асфальтобетонних покриттів повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту згідно з НПАОП 0.00-4.01. Всі працюючі повинні бути забезпечені спецодягом та іншими засобами індивідуального захисту згідно з НПАОП 63.21-3.03.

При виконанні робіт, пов'язаних з приготуванням і використанням асфальтобетонних сумішей необхідно дотримуватись правил особистої гігієни, а саме: приймати їжу в спеціальних приміщеннях, користуватися санітарно-побутовими кабінетами, приймати душ після закінчення зміни.

При потраплянні бітумів або асфальтобетонних сумішей: на шкіру (настільки гарячих, що може з'явитися опік) – її треба швидко охолодити, тоді розчинити бітум нафтовими олівами або провареною соняшниковою олією та обережно зняти бинтом або ватою; в очі – треба терміново звернутися до лікаря-окуліста. Гостре та хронічне отруєння практично неможливе. При необхідності треба звернутися до медичного закладу за відповідною допомогою.

До початку робіт необхідно огородити ділянку робіт, спрямувати рух транспортних засобів в об'їзд, позначити безпечну зону для людей, зайнятих при виконанні робіт згідно вимог СОУ 45.2-00018112-006.

На машинах, що беруть участь у технологічному процесі, повинні бути включені ближнє світло фар і проблісковий маячок оранжевого кольору.

Під час роботи дорожніх машин забороняється знаходитися у зоні їх дії стороннім особам, а також на площадці керування, рамі, робочих органах, кожухах.

### 4.2 Вимоги охорони навколишнього середовища

В процесі приготування та укладання асфальтобетонних сумішей при дотриманні технологічних параметрів і вимог охорони праці небезпека додаткових викидів шкідливих речовин в навколишнє середовище відсутня.

При зберіганні, транспортуванні і застосуванні асфальтобетонних сумішей, а також їх компонентів стічні води не утворюються. За технологічної температури (120-180) °С не передбачається надходження канцерогенних та мутагенних речовин в навколишнє середовище.

Ефективними засобами захисту довкілля є герметизація та запобігання розливу бітуму та розсипання асфальтобетонних сумішей.

Обладнання і комунікації виробничих процесів повинні бути герметизовані, викиди в атмосферу (вентвикиди) повинні відповідати ГДВ підприємства, розрахованим згідно з вимогами ГОСТ 17.2.3.02.

Порядок накопичення, транспортування, знешкодження та поховання розливів бітумів, розсипаних асфальтобетонних сумішей, некондиції та інших відходів, що утворюються в процесі приготування і використання, повинен відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.7.029.

Бази по приготуванню модифікованих бітумів, а також асфальтобетонні заводи повинні бути устатковані відповідно до вимог ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.3.002, та ДСП 173.

#### 4.3 Особливості організації будівництва вулиць, доріг і штучних споруд

Склад і зміст проектів організації будівництва та проектів виконання робіт визначається ДБН А.3.1-5.

У процесі розроблення проектно-технологічної документації з будівництва вулиць, доріг і штучних споруд необхідно враховувати особливості їх будівництва та подальшої експлуатації в умовах населених пунктів, зокрема:

- обмежені можливості проведення будівельно-монтажних робіт у зв'язку з наявністю забудови;
- наявність складної системи облаштування та інженерного обладнання, що потребує чітко послідовності виконання робіт;

- специфічні типи транспортних засобів і режим їх руху, характер дії навантаження біля перехресть на зупинках маршрутного транспорту та автостоянках внаслідок зменшення швидкості руху;
- несприятливі фактори водно-теплогового режиму дорожнього одягу та земляного полотна: розміщення проїзної частини нижче інших елементів вулиці та використання її для відведення поверхневих в додаткові джерела зволоження від водоносних підземних комунікацій; можливість поступового підвищення рівня ґрунтової води за рахунок зменшення площі випаровування, а також за рахунок забудови;
- зменшення обсягу атмосферних опадів, що надходять у ґрунт, за рахунок наявності бордюру і більш швидкого відведення дощової і талої води каналізацією, глибини промерзання ґрунту внаслідок теплового впливу будівель;
- покращання санітарно-гігієнічних умов, пов'язаних з необхідністю зниження шуму, забруднення атмосферного повітря, радіаційного забруднення, поліпшення умов збирання сміття, бруду, снігу, льоду тощо.

Підготовка будівельного виробництва повинна з необхідним випередженням передувати кожному етапу безпосереднього виконання будівельно-монтажних робіт і охоплювати заходи з загальної організаційно-технічної підготовки, підготовки до будівництва об'єкта, підготовки будівельної організації до виконання будівельно-монтажних робіт, склад і порядок упровадження яких визначається ДБН А.3.1-5.

Умови виконання робіт на дорожньо-транспортному об'єкті обумовлюють: виділення небезпечних зон, меж та осей підземних споруд і комунікацій; схеми руху транспорту та пішоходів із забезпеченням безпечних під'їздів до діючих підприємств, будівель і споруд; протипожежні розриви; заходи з попередження забруднення території, водного та повітряного басейнів, з захисту від шуму, вібрації та інших шкідливих небезпечних впливів.

Організація технологічних процесів повинна передбачати виконання робіт у межах огороженої та обладнаної технічними засобами ділянки.

Забороняється виконувати підготовчі роботи, завозити матеріали та виробити, розміщувати машини, механізми та устаткування на ділянці робіт до її огороження та обладнання технічними засобами організації дорожнього руху.

Обладнання ділянок робіт, а також відповідальність за правильне розміщення і збереження технічних засобів покладається на організацію, яка виконує ці роботи.

Під час організації та виконання робіт слід дотримуватися правил техніки безпеки та забезпечувати безпеку дорожнього руху на ділянках робіт.

Організація руху транспорту та пішоходів на період будівництва повинна бути вирішена в спеціальному розділі проекту виконання робіт і забезпечувати безпеку руху та можливість відкриття максимального фронту робіт.

У процесі спорудження дорожньо-транспортних споруд необхідно застосовувати потокові методи організації робіт.

Швидкість потоку, оснащеність його машинами та механізмами, технологічні перерви встановлюються проектом виконання робіт.

Ступінь і характер механізації робіт на об'єкті вибирається виходячи з технічної необхідності та техніко-економічної доцільності.

Контроль та оцінка якості робіт з будівництва вулиць і доріг здійснюється згідно з ДБН В.2.3-4.

## ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу конструктивних рішень, методів розрахунку, механізму деформування і руйнувань конструкцій автомобільних доріг обґрунтована доцільність врахування сумісної дії транспортного навантаження і температурного деформування при розрахунках.

2. Обґрунтовано, що при динамічному навантаженні виникають менші вертикальні деформації, що зумовлено часом дії навантаження:

- хвильові процеси на поверхні покриття збільшуються зі збільшенням швидкості руху транспортних засобів;

- при динамічному навантаженні напруження по глибині конструкції дорожнього одягу й у ґрунті земляного полотна загасає швидше;

- релаксація дорожнього одягу проходить за час, еквівалентний періоду пружної хвилі, що поширюється від транспортного засобу.

3. Обґрунтовано, що при оцінці міцності асфальтобетонного шару на жорсткій основі на зсувостійкість значення дотичних напружень, на відміну від відомих рішень, необхідно визначати не тільки від транспортного навантаження, а з урахуванням напружень від температурного деформування.

4. Недостатня зсувостійкість шарів асфальтобетонного покриття або асфальтобетонної основи приводить до перерозподілу матеріалу покриття, сприяючи більш інтенсивному колієутворенню. При цьому відбуваються стирання верхнього шару покриття в смузі накату, доущільнення шарів дорожнього одягу, відшаровування верхнього шару, пластичне деформування шарів дорожнього покриття.

5. Для забезпечення колієстійкості асфальтобетонного покриття при проектуванні дорожнього одягу необхідно керуватися наступними принципами:

- а) конструкція дорожнього одягу в цілому повинна задовільняти транспортно-експлуатаційні вимоги, які ставляться до дороги певної

категорії з очікуваним у перспективі складом й інтенсивністю руху, з урахуванням зміни інтенсивності протягом заданих міжремонтних термінів і передбачуваних умов ремонту й утримання;

б) конструкція одягу може бути прийнята типовою чи розроблена індивідуально для кожної ділянки або ряду ділянок дороги, що характеризуються подібними природними умовами (грунт робочого шару земляного полотна, умови його зволоження, клімат, забезпеченість місцевими дорожньо-будівельними матеріалами і т. ін.) з однаковими розрахунковими навантаженнями;

в) у районах, недостатньо забезпечених стандартними кам'яними матеріалами, допускається (при відповідному обґрунтуванні) застосовувати місцеві кам'яні матеріали, побічні продукти промисловості та ґрунти, властивості яких можуть бути поліпшені шляхом їх обробки в'язучими матеріалами (цемент, бітум, вапно, активні золи виносу та ін.). Одночасно треба прагнути до створення конструкції по можливості найменш матеріалоємної;

г) конструкція повинна бути технологічною й забезпечувати можливість максимальної механізації й автоматизації дорожньо-будівельних процесів. Для досягнення цієї мети кількість шарів і видів матеріалів у конструкції повинна бути мінімальною;

д) при конструюванні необхідно враховувати реальні умови проведення будівельних робіт (літня чи зимова технологія і т. ін.) і досвід служби доріг у конкретному заданому районі.

При виборі матеріалів для влаштування шарів дорожнього одягу необхідно враховувати такі положення: покриття і верхні шари основи повинні відповідати проектним навантаженням і бути водо-, морозо- і термостійкими, а також мати найкращі деформаційні якості і теплофізичні властивості; повинна забезпечувати підвищений опір зсуву при високих літніх температурах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гаркуша М. В. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // Автошляховик України. Київ. 2012 - № 5 С. 25-30.
2. Гаркуша Н. В. Последовательность проверки. Методы повышения колеестойкости асфальтобетонного покрытия / Мозговой В. В., Онищенко А. Н., Гаркуша Н. В., Аксенов С. Ю. // Автомобильные дороги. 2012 - № 7 С. 80-85.
3. Гамеляк І.П. Аналіз транспортно-експлуатаційних показників стану автомобільних доріг державного значення / Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. // Автомобільні дороги. К., 2014 Вип. 1. (237) С. 24-28.
4. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості нежорстких дорожніх одягів за рахунок укріплення ґрунтів основи / Гаркуша М. В. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2012. Вип. № 47 С. 47-53.
5. Гамеляк І.П. Застосування цементобетонного покриття в дорожньому будівництві / І.П. Гамеляк, В.В. Смолянець // Дорожня галузь України. – 2013. № 6. С. 46-51.
6. Терегулова Э.Р. Перспективы применения жестких дорожных одежд при строительстве автомобильных дорог и аэродромов, и проблемы их конструирования и расчета / Э.Р. Терегулова // Известия КГАСУ. 2011. №4 (22). С. 389 – 396.
7. Поточний ремонт об'їзної автомобільної дороги навколо міста Харків на ділянці км 472+713 – км 516+200: Проектно-кошторисна документація – 73-10/3770. Харківдіпрошлях Х., 2010. 74 с.
8. Капітальний ремонт автомобільної дороги Харків-Красноград-Перецепине на ділянці км 11+000 – км 74+800: Робочий проект – 3418-3427. Харківдіпрошлях. Х., 2006. 108 с.

9. Провести дослідження та розробити конструкції дорожніх одягів з асфальтобетонними шарами армованими геосинтетичними сітками: звіт про НДР (заключний) / ДП «ДерждорНД»; керівн. С.К. Головка. – № держреєстрації 0112U004743. К., 2013. 189 с.

10. Надійність конструкцій дорожнього одягу: навч. посіб. для студ. ВНЗ, які навчаються за напрямом підготов. "Будівництво" / М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, І.П. Гамеляк, та ін. К.: НТУ, 2012. 215 с.

11. Опыт проектирования и строительства асфальтобетонных покрытий на основаниях из тощего бетона. Серия Строительство и эксплуатация автомобильных дорог: [обзорн. инф. / подгот. В.И. Басурманова, Л.Б. Каменецкий]. М.: ЦБНТИ, вып №7. 1980. 29 с.

12. Гамеляк І.П. Аналіз транспортно-експлуатаційних показників стану автомобільних доріг державного значення / І.П. Гамеляк, В.Ф. Чайковський // Автошляховик України. 2014. № 1 (237). С. 24-28.

13. Дорошко Є.В. Удосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі: дис. кандидата техн. наук: 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми / Харків, 2016. 280 с.

14. Радовский Б.С. Опыт использования старого цементобетона как основания под асфальтобетонное покрытие в США / Б.С. Радовский // Дорожная техника: Каталог-справочник. Санкт-Петербург: Славутич, 2010. С. 20–32.

15. Ушаков В.В. Автомобильные дороги. Ремонт цементобетонных покрытий автомобильных дорог [Электронный ресурс]. Обзорная информация. Вып. 6 / В.В. Ушаков. – М.: Информационный центр по автомобильным дорогам, 2002. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/ObzornayainformaciyaAvtom15.html>.

16. Влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення: ВБН В.2.3–218–532:2007. [Чинний від 2007–04–01]. К.: Укравтодор, 2007. 19 с. (Національний стандарт України).

17. Корочкин А.В. Зависимость состояния покрытия от толщины

асфальтобетонных слоев жесткой дорожной одежды / А.В. Корочкин, С.А. Ахметов // Автомобильные дороги. 2009. № 12. с. 27-29.

18. Влаштування тонкошарових покриттів з литих емульсійно-мінеральних та холодних асфальтобетонних сумішей: ВБН В.2.3-218-175-2002. [Чинний від 2004–01–01]. К.: Укравтодор, 2007. 20 с. (Національний стандарт України).

19. Корочкин А.В. Элементы теории и практики повышения технико-эксплуатационных показателей жесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием: дис. ... доктора техн. наук: 05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей / Корочкин Андрей Владимирович. М., 2014. 386 с.

20. Вишневский А.В. Разработка технологии ремонта поверхностного слоя цементобетонных покрытий автомобильных дорог в условиях сурового климата: дисс. ... кандидата техн. наук: 05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей / Вишневский Александр Витальевич. Чита, 2001. 130 с.

21. Сюньи Г.К. Дорожный асфальтовый бетон / Г.К. Сюньи. К.: Госиздат лит-ры по строит. и архитектуре УССР, 1962. – 234 с.

22. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.11 / Мозговой Владимир Васильевич. К., 1996. 406 с.

23. Іщенко О.М. Розробка методики розрахунку на температурну тріщиностійкість асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.11 / Іщенко Олексій Максимович. К., 2003. 180 с.

24. Невінгловський В.Ф. Метод розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.11 / Невінгловський Вадим Федорович. К., 2015. 196 с.

25. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов М.: Высшая школа, 1968. 512 с.
26. Беляев Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев М.: Гос. изд-во технической литературы, 1958. – 836 с.
27. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко К.: Вища школа, 1979. 696 с.
28. Сапунов В.Т. Основы теории пластичности и ползучести / В.Т. Сапунов М.: МИФИ, 2008. 220 с.
29. Рекомендації по влаштуванню асфальтобетонного покриття з деформаційними швами на основі з монолітного цементобетону: Р В.3.2-03450778-724:2013. [Чинний від 2013–11–19]. К.: Укравтодор, 2013. 21 с.
30. Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість: М 218-02071168-681:2011. [Чинний від 2012–01–01]. К.: Укравтодор, 2012. – 61 с.
31. Мельникова И.С. Моделирование воздействия температуры и транспортных нагрузок на возникновение и развитие трещин в асфальтобетонных дорожных покрытиях / И.С. Мельникова // Наука и техника. 2012. Вып. 4. С. 44-52.
32. Онищенко А.М. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві / А.М. Онищенко, В.В. Мозковий, О.О. Жуков, В.Ф. Невінгловський, О.М. Куцман, О.О. Білан, К.В. Жданюк, А.Л. Юнак // Вісник донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2010. Вип. 1(81). С. 53-60.
33. D.V. Ramsamooj, G.S. Lin, J. Ramadan. New anti-reflective cracking pavement overlay design. / Reflective Cracking in Pavements, 1996. P. 321-330.
34. M.Z. Sunbury-Lighroater section. Highways and Road Constr, 1973, v.41, №1760, p. 29-33.
35. Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками

- дорожніх одягів: ВБН В.2.3-218-008-97. [Чинний від 1998–01–01]. Київ: Укравтодор, 1997. 219 с. (Національний стандарт України).
36. Макагонов В.А. Основные принципы устройства асфальтобетонных слоев по цементобетонным покрытиям / В.А. Макагонов // Аэропорты. Прогрессивные технологии. 2002. № 4. С. 1-4.
37. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях: ГБН В.2.3-37641918-544:2014. [Чинний від 2015–01–01]. К.: Укравтодор, 2014. 144 с. (Національний стандарт України).
38. Гамеляк І.П. Дослідження термостійкості жорстких ґраток / І.П. Гамеляк, О.Ю. Усиченко, Л.А. Дмитренко, А.Я. Коломієць // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». 2014. № 46. С. 88-97.
39. Гамеляк І.П. Проблеми використання геосинтетичних матеріалів у дорожньому будівництві та шляхи їх вирішення / І.П. Гамеляк, В.В. Костицький, Л.Ф. Артеменко // Вісник КНУТД. 2009. № 6. С. 17-27.
40. Гамеляк І.П. Дослідження експлуатаційних характеристик геограт призначених для армування асфальтобетонного покриття / І.П. Гамеляк, В.В. Костицький, А.Я. Коломієць та ін. // Вісник КНУТД. 2007. № 6. С. 9-14.
41. Технология ремонта и реконструкции автомобильных дорог с применением метода фрагментации цементобетонного покрытия путем воздействия ударно-вращательного механизма: ОДМ 218.3.025-2012. [Действительный с 2012–12–27].– М.: Росавтодор, 2013. 27 с.
42. Рекомендации по нарезке швов в нижних слоях асфальтобетонных покрытий: ОДМ 218.5.001-2008. [Действительный с 2008–02–01]. М.: Росавтодор, 2008. 39 с.
43. Рекомендації з застосування ефективних матеріалів для герметизації тріщин і швів дорожнього покриття: Р. В.2.3 – 218-21476215-687:2007. [Чинний від 2007–01–01]. К.: Укравтодор, 2007. 24 с.
44. Рекомендации по устройству защитных слоев износа по мембранной технологии на автомобильных дорогах с жесткими



дорожними одеждами / В.А. Кушинский, Н.В. Радьков, Д.Г. Игошин, А.Н. Сулимова. Минск, 1999. 29 с.

45. Гладких А.С. Снижение температурных напряжений в асфальтобетонных покрытиях жестких дорожных одежд за счет регулирования деформативных свойств материала основания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей / А.С. Гладких. М., 2010. 21 с.

46. Бабков В.Ф. Некоторые вопросы расчета толщины бетонных покрытий и оснований / В.Ф. Бабков // В кн.: Цементный бетон в дорожном строительстве. М.: Дориздат. 1950. С 173-199.

47. Горецкий Л.И. Усиление цементобетонных покрытий асфальтобетоном / Л.И. Горецкий, Н.Н. Иванова // Автомобильные дороги. 1965. № 11. С 21-22.

48. Иванов Н.Н. Какой должны быть толщина слоя асфальтобетона при усилении цементобетонных покрытий / Н.Н. Иванов // Автомобильные дороги. 1962. № 6. С. 27.

49. Иванов Н.Н. Проектирование дорожных одежд / Н.Н. Иванов, А.Н. Зацепин, М.Б. Корсунский. М.: Автотрансиздат, 1955 328 с.

50. Медников И.А. Расчет толщины слоя усиления цементобетонных плит / И.А. Медников // Автомобильные дороги. 1963. № 6. С 22-24.

51. Безбабичева О.И. Усовершенствование гидроизоляции проезжей части железобетонных мостов на автомобильных дорогах: дис. ... кандидата. техн. наук: 05.22.11 / Безбабичева Ольга Ильинична. Х., 2005. 176 с.

52. Савенко В.Я. Норми на тонкошарові покриття за гарячою і холодними технологіями / В.Я. Савенко, В.І. Каськів, О.Г. Острроверхий, О.І. Дублік. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2009. Вип. 76. С. 45-50.

53. Онищенко А.М. Методика забезпечення колієстійкості асфальтобетонного покриття на цементобетонній основі / А.М. Онищенко, В.Ф. Невінгловський, О.С. Різніченко, М.В. Гаркуша // Вісник донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2011. – Вип. 1(87). С.17-24.

54. Мозговий В.В. Методика оцінки ефективності зчеплення гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриттям на мостах / В.В. Мозговий, А.М. Онищенко, О.О. Жуков // Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка. 2009. № 34. С.67-73.

55. Westergaard H.M. New formules for stresses in concrete pavements of airfields / H.M. Westergaard // Transactions. A.S.C.E. 1947. p. 687-701.

56. Аэродромы: СНиП 2.05.08.85. [Действительный от 1986–01–01]. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 59 с.

57. Радовский Б.С. Прочность и расчет бетонных покрытий в США / Б.С. Радовский // Бетон и железобетон. – 2011. – Вып 2 (5). – С. 118-131.

58. Westergard H.M. New Formulas for Stresses in Concrete Pavements in Airfields / H.M. Westergard // American Society of Civil Engineers. Transactions. 1948. № 113. P. 425-439.

59. Радовский Б.С. Цементобетонные покрытия в США / Б.С. Радовский // Дорожная техника. 2009. № 1. С. 50-58.

60. Йодер Е.Д. Принципы проектирования дорожных и аэродромных одежд / Е.Д. Йодер. М.: Транспорт, 1964. 190 с.

61. Горецкий Л.И. Теория и расчет цементобетонных покрытий на температурные воздействия / Л.И. Горецкий. М.: Транспорт, 1965. 284 с.

62. Титар В.С. Вплив структурних особливостей бітуму на температурні переходи в асфальтобетоні / В.С. Титар, В.О. Золотарьов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 1979. № 25. с. 59-62.

63. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186 2004. [Чинний від 2005–01–01]. Київ: Укравтодор, 2004 176 с. (Національний стандарт України).

64. Автомобільні дороги. Споруди транспорту: ДБН В.2.3-4-2007. [Чинний від 2008–01–01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2007. 91с. (Національний стандарт України).

65. Гамеляк І.П. Встановлення параметрів режиму руху транспортних засобів для проектування дорожнього одягу / І.П. Гамеляк, В.Ф. Райковський // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". 2010. № 662. С. 118-125.

66. Dorozhko E. Limit states and strength criteria of thin asphaltic concrete layers on rigid base / E. Dorozhko, V. Ryapuhin // Proceedings of 15th International Conference. Transport Means. Kaunas University of Technology. Kaunas, Lithuania: Technologija, 2011. P. 254-257.

67. Дорожко Є.В. Вплив температурних напружень при розрахунку тонкошарових асфальтобетонних покриттів на цементобетонній основі / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Київ, НТУ, 2012. Вип. 86. С. 196-202.

68. Дорожко Є.В. Рекомендації з вдосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Х.: ХНАДУ, 2013. С. 36-41.

69. Дорожко Є.В. Визначення та порівняння температурних напружень в асфальтобетонних шарах на жорсткій основі при нагріванні та охолодженні / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // «Міське середовище ХХІ сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн»: тези доповідей I-го міжнародного науково-практичного конгресу. К.: НАУ, 2014. С. 303-304.

70. Дорожко Є.В. Визначення температурних напружень в тонких асфальтобетонних шарах на жорсткій основі / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // «Наукові нотатки»: міжвузівський збірник за галузями знань «Металургія і матеріалознавство». Луцьк, Луцький НТУ, 2014. Вип. 46. С. 147-153.

71. Дорожко Е.В. Температурные напряжения в асфальтобетонных слоях на жестком основании при нагревании и охлаждении / Е.В. Дорожко, В.Н. Ряпухин // Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management. Vilnius, Lithuania: Technika, 2014. P. 177-180.

72. Dorozhko E. Basic theoretical background for calculation of thin asphalt concrete coverings on a rigid base / E. Dorozhko, V. Ryapuhin // Transbaltica 2013. Proceedings of the 8th International Scientific Conference. Vilnius, Lithuania: Technika, 2013. P. 182-185.

73. Дорожко Є.В. Врахування сумісної дії зовнішнього навантаження та температури при розрахунках тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі / Є.В. Дорожко / Науковий вісник будівництва. Х., ХНУБА, 2015. Вип. 4/82. С. 132-136.

74. Маляр В.В. Прогнозирования модуля упругости асфальтобетона с использованием реологической модели Витчака / В.В. Маляр / Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2012. Вип. 84. С. 72-80.

75. Barksdale R.D. Laboratory Evaluation of Rutting in Base Course Materials, Proceedings / Barksdale R.D. // 771 Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, London. 1972, p.p. 161-174.

76. Barksdale R.D. Predicting Performance of Bituminous Surfaced Pavements, Proceedings / R.D. Barksdale, G.A. Leonards // Second international Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor. 1967. p.p. 321-340.

77. Barksdale R.D. Development of Equipment and Techniques for Evaluating Fatigue and Rutting Characteristics of Asphalt Concrete Mixes / R.D. Barksdale, J.H. Miller II // School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, SCEGIT. 1977. 77-149.

78. Battiato G. Moving Loads on a Viscoelastic Double Layer: Prediction of Recoverable and Permanent Deformations, Proceedings / G.

Battiato, F. Ronco, C. Verga // Fourth International Conference on tire Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, Ann Arbor. 1977. p.p. 459-466.

79. Brown E.R. Performance Testing for Hot Mix Asphalt / E.R. Brown, P.S. Kandhal, Jingna Zhang // NCAT Report No. 01-05, National Center for Asphalt Technology, Auburn, November 2001.

80. Dorozhko E. Design procedure by strength criteria of asphalt layers on a rigid base taking into account the simultaneous action of external loads and thermal stresses / E. Dorozhko, V. Ryapuhin, R. Makovyey // Procedia Engineering. Transbaltica 2015. Proceedings of the 9th International Scientific Conference. – Vilnius, Lithuania: Technika, 2016. P. 101-108.

81. Dongre R., Myers L., D'Angelo J., Paugh C., Cudimettla J. Field Evaluation of Witezak and Hirsch Models for Predicting Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt. Journal of the AAPT. Vol. 74. 2005.

82. Epps A. Performance Prediction with the MMLS3 WesTrack / A. Epps, T. Ahmed, M. Mikhail, F. Hugo // Paper to be submitted for publication in the Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, March 19-21, 2001.

83. Evaluate Rutting of Asphalt Samples Prepared by Superpave Gyrotory Compactor, Transportation Research Record 1545, TRB, National Research Council, Washington, D. C., Nov. 1996, p.p. 161-168.

84. Federal Highway Administration. Report of the Ad Hoc Task Force on Asphalt Pavement Rutting and Stripping, Washington, D. C. 1987.

85. Finn F. The Use of Distress Prediction Subsystems for the Design of Pavement Structures / F. Finn, C. Saraf, R. Kulkarni, K. Nair, W. Smith, A. Abdullah // Proceedings, Fourth international Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, Ann Arbor. 1977. p.p. 3-38.

86. National Cooperative Highway Research Program. Accelerated Laboratory Rutting Tests: Evaluation of the Asphalt Pavement Analyzer, NCHRP Report 508. 2003.

**Рецензія**

здобувача рівня вищої освіти «другий (магістерський)» Сегрушні Іссам  
(ПНБ.)

Кваліфікаційна робота на тему: Вплив динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг.

Кваліфікаційна робота магістра виконана згідно до завдання відповідає темі,  
(не згідно) (не відповідає)

містить 32 листа графічного матеріалу і пояснювальну записку з 100 сторінок.

1. Актуальність теми (повнота постановки проблеми, формування проблеми та її значимість, постановка завдань досліджень) Тема магістерської роботи є актуальною тому що складний напружено-деформований стан асфальтобетонного шару, що пояснюється одночасною дією напружень від транспортного навантаження та температурних напружень може призвести до досить швидкого руйнування та витрат на передчасні ремонти. Тому підвищення надійності автомобільних доріг є однією з головних складових підвищення надійності функціонування доріг.

2. Ступінь науковості роботи (широта вивчення результатів досліджень за проблемою, методика дослідження, наявність елементів наукової новизни та ступінь їх розробки)

У магістерській роботі наведені методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг, проведений аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку конструкцій автомобільних доріг, обґрунтовані критерії міцності з врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування. Розроблені рекомендації щодо розрахунку основних показників, які визначають надійність конструкцій автомобільних доріг.

Наукова цінність роботи полягає в наступному: досліджені та узагальнені методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг; проаналізована нормативна база та результати досліджень щодо впливу динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг; проведений аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку конструкцій автомобільних доріг; обґрунтовані критерії міцності з врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування.

3. Якість подачі матеріалу роботи (ступінь взаємозв'язку розділів роботи, застосування комп'ютерних технологій, чіткість і технічна грамотність оформлення роботи, науковий стиль викладення матеріалу)

Магістерська робота виконана за допомогою сучасних комп'ютерних технологій. Усі розділи магістерської роботи оформлені згідно норм та відповідають вимогам, що висуваються до магістерських робіт. Розділи взаємозв'язані один з одним, чітко та технічно грамотно оформлені. Науковий стиль викладення матеріалу – виконано у повному обсязі та відповідає вимогам, що висуваються до магістерської роботи.

4. Практична значимість результатів роботи (рівень реальності результатів та пропозицій, техніко - економічні показники запропонованих рішень, наявність публікацій за темою роботи)

Практичне значення одержаних результатів полягає у результатах досліджень щодо сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг; наведені приклади впровадження сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, обґрунтовано мінімально допустиму товщину асфальтобетонного шару на жорсткій основі з умови забезпечення зчеплення на контактні шарів для різних типів підґрунтя для різних регіонів України.

5. Недоліки кваліфікаційної роботи магістра в роботі не розглянутий такий фактор впливу на мікроклімат як природне старіння огорожуючих конструкцій будівлі.

6. Кваліфікаційна робота магістра у цілому виконана (ний) на відповідальному рівні і заслуговує оцінки:

кількість балів 90

за національною шкалою відмінно

за шкалою ЄКТС A

Рецензент ст. викладач кафедри міського будівництва і господарства

Запорізького національного університету

(посада, місце роботи)

  
(підпис)

Світлична В.Б.  
(П.І.Б.)

## ВДГУК

керівника кваліфікаційної роботи

здобувача рівня вищої освіти «другий (магістерський)» Сергійні Іссам  
(П.І.Б.)

Кваліфікаційна робота на тему: «Вплив динамічних навантажень на конструкції

автомобільних доріг.»

Виконана згідно до завдання, відповідає темі, містить 32 листа  
(не згідно) (не відповідає)

графічного матеріалу і пояснювальну записку з 100 сторінок, підписана консультантами і має рецензію.

1. Актуальність теми, наявність замовлення роботи підприємством (організацією) —

Слід визначити, що тема магістерської роботи є актуальною тому що складний напружено-деформований стан асфальтобетонного шару, що пояснюється одночасною дією напружень від транспортного навантаження та температурних напружень може призвести до досить швидкого руйнування та витрат на передчасні ремонти. Тому підвищення надійності автомобільних доріг є однією з головних складових підвищення надійності функціонування доріг.

2. Глибина обґрунтувань прийнятих рішень (повнота розрахунків, наявність багато-варіантності) —

У магістерській роботі наведені методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг, проведений аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку конструкцій автомобільних доріг, обґрунтовані критерії міцності з врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування. Розроблені рекомендації щодо розрахунку основних показників, які визначають надійність конструкцій автомобільних доріг.

3. Загальний рівень підготовки та ерудиції здобувача ступеня вищої освіти «магістр» —  
відповідає прийнятим вимогам

4. Творчий потенціал і ступінь самостійності студента у вирішенні поставлених задач —  
на достатньому професійному рівні

5. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибина експериментальних досліджень —  
виконано у повному обсязі та відповідає вимогам

6. Застосування сучасних системних та інформаційних технологій, фізичного або математичного моделювання, наявність обґрунтування вибору типу ЕОМ, застосування стандартних та оригінальних програм, наявність аналізу результатів та їх використання у роботі кваліфікаційна робота магістра виконана за допомогою сучасних комп'ютерних технологій та сучасних нормативних документів

7. Відповідність оформлення до вимог діючих стандартів оформлено згідно норм та стандартів

8. Дотримання студентом графіка виконання роботи дотримано

9. Наукова цінність роботи, практична значимість Наукова цінність роботи полягає в наступному: досліджені та узагальнені методичні

підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг; проаналізована нормативна база та результати досліджень щодо впливу динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг; проведений аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку конструкцій автомобільних доріг; обґрунтовані критерії міцності з врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування.

Практичне значення одержаних результатів полягає у результатах досліджень щодо сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг; наведені приклади впровадження сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, обґрунтовано мінімально допустиму товщину асфальтобетонного шару на жорсткій основі з умови забезпечення зчеплення на контакт шарів для різних типів підґрунтовки для різних регіонів України.

10. У кваліфікаційній роботі магістра можна відмітити такі недоліки: \_\_\_\_\_

Як побажання слід висловити наступне: бажано було б доповнити роботу моделюванням динамічних навантажень на конструкції автомобільних доріг із застосуванням програмного комплексу «Ліра».

Кваліфікаційна робота магістра у цілому виконана на відповідальному рівні

і при відповідному захисті заслуговує на оцінку:

кількість балів 93 національною Всучас. ЄКТС A

Керівник

К.Т.Н., доцент  
(посада, науковий ступінь)

[Підпис]  
(підпис)

Банах А.В.  
(ПІБ)