

Міністерство освіти і науки України
Національний транспортний університет

САРКІСЯН ГОР САРКІСОВИЧ



УДК 625.7/8

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТРІБНОЇ МІЦНОСТІ НЕЖОРСТКОГО
ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ЗА КРИТЕРІЄМ ГРАНИЧНОЇ РІВНОСТІ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті (ХНАДУ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Ряпухін Віталій Миколайович,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, м. Харків.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Онищенко Артур Миколайович,
Національний транспортний університет,
завідувач кафедри мостів, тунелів та
гідротехнічних споруд, м. Київ.

кандидат технічних наук
Дубик Олександр Миколайович,
Національний авіаційний університет,
доцент кафедри реконструкції
аеропортів та автошляхів, м. Київ.

Захист відбудеться « 13 » травня 2021 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 при Національному транспортному університеті за адресою: 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 001103, м. Київ, вул. Михайла Бойчука, 42.

Автореферат розісланий « 10 » квітня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доцент, кандидат технічних наук



О. Ю. Усиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Сучасний стан транспортної інфраструктури України, як й багатьох Європейських країн, характеризується наявністю сформованої мережі автомобільних доріг. Тому основні завдання дорожньої галузі полягають у збереженні мережі автомобільних доріг, що знаходяться в експлуатації тривалий строк, підвищенні швидкості перевезень, забезпеченні комфорту і безпеки дорожнього руху. Разом з тим, збільшення швидкості руху, вантажопідйомності та частки великовагових транспортних засобів призводить до зростання величини та кількості прикладань навантаження, на яку існуюча мережа автомобільних доріг не розрахована. Як наслідок відбувається прискорене накопичення пластичних деформацій та руйнування дорожнього одягу, що призводить до погіршення транспортно-експлуатаційного стану мережі автомобільних доріг. Понад 90 відсотків автомобільних доріг загального користування потребують негайних ремонтів, в тому числі 50 відсотків – через незадовільну рівність покриття. У цих умовах ефективність масштабного відновлення мережі автомобільних доріг України забезпечується, у першу чергу, якістю проєктних рішень, яка визначається здатністю дорожнього одягу зберігати нормативний транспортно-експлуатаційний стан протягом строку експлуатації до капітального ремонту.

Невідповідність моделей, методів та критеріїв розрахунку нежорсткого дорожнього одягу, що передбачені нормативними документами, реальним процесам змінювання рівності покриття протягом строку експлуатації та відсутність методів призначення потрібного модуля пружності конструкції дорожнього одягу за критерієм допустимої рівності покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом призводять до зниження споживчих властивостей автомобільної дороги вже через декілька років з початку експлуатації та збільшення збитків держави від незадовільного транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг. Тому подальший розвиток і вдосконалення методів призначення потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу за умови забезпечення нормативної рівності покриття на останній рік експлуатації дорожнього одягу перед капітальним ремонтом є надзвичайно актуальним і практично значущим завданням.

Таким чином, актуальність дисертаційного дослідження обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – обґрунтування потрібної міцності конструкції нежорсткого дорожнього одягу, що забезпечує нормативний техніко-експлуатаційний стан покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконано відповідно до тематики науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, тематичних планів науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор», у рамках виконання науково-дослідних робіт: «Провести дослідження та розробити альбом типових конструкцій

нежорсткого дорожнього одягу на дорогах I-II категорій на навантаження 130 кН» (№ 168/37-57-14, РК 0114U006440); «Провести дослідження та розробити методичні рекомендації з проектування нежорсткого дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи А1» (№ 67/37-26-18, РК 0118U000695); «Провести дослідження та підготувати науково обґрунтовані пропозиції щодо удосконалення призначення категорії та основних розрахункових параметрів автомобільних доріг загального користування з урахуванням міжнародного досвіду проектування автомобільних доріг» (№ 70/37-29-19, РК 0119U101465).

Мета дисертаційної роботи: розроблення методу призначення потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети сформульовані завдання дослідження:

– провести аналіз та узагальнення існуючих критеріїв та методів обґрунтування потрібної міцності нежорсткого дорожнього одягу, в тому числі з урахуванням рівності покриття;

– розробити математичну модель розрахунку коефіцієнта динамічності, що базується на моделях взаємодії пневматичного колеса з покриттям нежорсткого дорожнього одягу та враховує рівність покриття і масу взаємодіючих тіл; визначити гранично допустимі значення коефіцієнту динамічності за результатами моделювання напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу;

– удосконалити математичну модель змінювання рівності покриття у часі під впливом транспортного навантаження, що враховує інтенсивність та склад транспортного потоку, початкову рівність покриття, загальний еквівалентний модуль пружності конструкції дорожнього одягу та базується на теоретико-експериментальному підході;

– розробити порядок обґрунтування потрібного модуля пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу, що ґрунтується на експериментально встановлених закономірностях змінювання показника рівності покриття у часі, які враховують категорію автомобільної дороги, інтенсивність руху та склад транспортного потоку, міцність конструкції нежорсткого дорожнього одягу;

– розробити практичні рекомендації з визначення коефіцієнта динамічності, перспективного показника рівності покриття та потрібного загального модуля пружності дорожнього одягу за критерієм граничної рівності.

Об'єкт дослідження: процес змінювання рівності покриття та зниження несучої здатності нежорсткого дорожнього одягу.

Предмет дослідження: методи призначення потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням змінювання рівності покриття у часі під впливом транспортного навантаження.

Методи дослідження. Методичною основою теоретичної частини дисертаційного дослідження є положення теорії взаємодії та теорії удару пружних тіл, що застосовувалися під час дослідження взаємодії пневматичного колеса з нерівностями покриття нежорсткого дорожнього одягу та розроблення математичної моделі визначення коефіцієнта динамічності. Методи факторного аналізу та

математичної статистики склали основу теоретично-експериментального підходу, що був застосований під час обґрунтування та удосконалення математичної моделі змінювання рівності покриття у часі під впливом транспортного навантаження.

Основу експериментальної частини дослідження складають: методи чисельного моделювання та механіки деформованого твердого тіла, що залучалися до вирішення задачі оцінювання напружено-деформованого стану шаруватої конструкції під впливом динамічного навантаження за різної рівності покриття; методи математичної статистики та порівняльного аналізу, що застосовані в експериментальних дослідженнях під час дослідження закономірностей змінювання рівності покриття дорожнього одягу у часі під впливом транспортного навантаження та під час перевірки адекватності основних теоретичних положень дисертаційного дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше запропоновано метод розрахунку коефіцієнта динамічності з урахуванням маси тіл, що зіткнулися, якій, на відміну від раніше відомих, враховує коефіцієнт приведення маси системи до точки удару та дозволяє оцінити додаткове динамічне навантаження на нежорсткий дорожній одяг з урахуванням фактичної або прогнозованої рівності покриття;

– дістала подальший розвиток теорія взаємодії колеса транспортного засобу з нерівностями покриття у частині визначення місця і сили удару колеса залежно від траєкторії руху колеса і профілю нерівності, що дозволяє врахувати форму і розподіл нерівностей та оцінити їх вплив на величину динамічного навантаження на нежорсткий дорожній одяг;

– розроблено математичну модель змінювання рівності покриття у часі, яка враховує вплив інтенсивності руху, складу транспортного потоку, загального еквівалентного модуля пружності дорожнього одягу й динамічного навантаження на дорожній одяг, що дозволяє прогнозувати рівність покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом та є основою ітераційної процедури щодо призначення потрібного модуля пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу;

– розроблено метод призначення потрібного модуля пружності, якій, на відміну від раніше відомих, залучає метод розрахунку коефіцієнта динамічності з урахуванням маси тіл, що зіткнулися, математичну модель змінювання рівності покриття у часі та дозволяє забезпечити граничну рівність покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом.

Практичне значення отриманих результатів:

– розроблено методику визначення коефіцієнту динамічності, яка враховує параметри руху транспортних засобів і профіль нерівності, що дозволяє оцінити додаткове динамічне навантаження на нежорсткий дорожній одяг з урахуванням рівності покриття та підвищити точність визначення руйнівного впливу транспортних засобів, в тому числі великовагових;

– розроблено методику призначення потрібного модуля пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу за умови досягнення граничної рівності покриття на

останній рік експлуатації дорожнього одягу перед капітальним ремонтом, яка враховує додаткове динамічне навантаження на нежорсткий дорожній одяг від пневматичних коліс транспортних засобів, що обумовлено змінюванням рівності покриття у часі.

Результати дослідження впроваджено у нормативну базу з проектування дорожнього одягу Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор»:

– АД А.2.4-37641918-004:2016 «Альбом типових конструкцій нежорсткого дорожнього одягу для доріг I-II категорій на навантаження 130 кН»;

– МР В.2.3-37641918-905:2019 «Методичні рекомендації з проектування нежорсткого дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи А1».

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у дисципліни «Вишукування та проектування автомобільних доріг і аеродромів», «Інноваційні методи проектування автомобільних доріг» освітньо-професійних програм підготовки бакалаврів і магістрів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті.

Особистий внесок здобувача полягає: у виконанні теоретичних і експериментальних досліджень з визначення коефіцієнта динамічності та змінювання рівності покриття у часі; удосконаленні методу розрахунку нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням рівності покриття; узагальненні отриманих результатів та встановленні основоположних закономірностей та кореляційних залежностей змінювання рівності покриття у часі; розробленні й впровадженні практичних рекомендацій. Всі результати, що наведені у дисертації, одержані здобувачем особисто або за його безпосередньою участю. У роботах, що виконані у співавторстві, авторові належать:

– аналіз моделей змінювання рівності покриття у часі та моделей взаємодії пневматичного колеса і нерівностей покриття [2, 9];

– розроблення удосконаленої моделі взаємодії пневматичних коліс транспортних засобів з покриттям нежорсткого дорожнього одягу, що враховує рівність покриття [3, 8, 9];

– обґрунтування та розроблення методу визначення коефіцієнта динамічності в залежності від параметрів нерівностей, основу якого складають кореляційні залежності коефіцієнта динамічності від показника рівності покриття, визначення динамічного розрахункового навантаження з урахуванням рівності покриття [3, 6, 9, 10];

– встановлення зв'язку між показником рівності покриття на ділянці та середнім коефіцієнтом динамічності [4-6, 11];

– моделювання напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу з метою визначення гранично допустимого значення коефіцієнта динамічності [1, 7];

– розроблення практичних рекомендацій з визначення коефіцієнта динамічності, перспективного показника рівності покриття та призначення потрібного загального модуля пружності дорожнього одягу за критерієм граничної рівності [4, 6, 10].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на конференціях викладачів, аспірантів та молодих учених ХНАДУ (2015-2020 р.р.); викладені та опубліковані у матеріалах науково-технічних конференцій: II Міжнародний науково-практичний конгрес «Міське середовище – XXI ст. Архітектура. Будівництво. Дизайн» (15-18 березня 2016 р., м. Київ); Міжнародна конференція «Сучасні методи і технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг, споруд на них та управління проектами їх розвитку» (22-24 листопада 2016 р., м. Київ); Міжнародна науково-практична конференція «Сталий розвиток міст (містобудівний аспект)» (23-24 листопада 2017 р., м. Харків); II Международная научная конференция молодых ученых (25 мая 2018 г., г. Гродно, Беларусь); III Міжнародний науково-практичний конгрес «Міське середовище – XXI ст. Архітектура. Будівництво. Дизайн» (14-16 березня 2018 р., м. Київ).

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 11 наукових праць, в тому числі: 6 статей у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України (з них 1 стаття включена до наукометричної бази Scopus); 1 стаття у зарубіжних періодичних наукових виданнях; 4 статті у збірниках праць за матеріалами міжнародних наукових конференцій.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел зі 141 найменування та 3 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 285 сторінок, у тому числі: 165 сторінок основного тексту, 49 рисунків, 38 таблиць, список використаних джерел на 17 сторінках, додатки на 88 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовані мета і завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, викладено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. У вступі також розкривається особистий внесок автора, питання апробації результатів, публікації, загальний обсяг і структура роботи.

У першому розділі проведено аналіз та узагальнення методів і моделей взаємодії транспортного навантаження і дорожнього покриття, оцінки та прогнозування міцності конструкції дорожнього одягу та рівності покриття, визначено основні проблеми та шляхи їх вирішення.

Історично основу методів проектування нежорсткого дорожнього одягу створюють результати багаторічних спостережень за змінюванням показників транспортно-експлуатаційного стану дорожнього одягу у процесі експлуатації та моделі прогнозування міцності конструкції дорожнього одягу та рівності покриття. Теоретичні положення розрахунку нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням рівності покриття сформульовано у дослідженнях А. С. Александрова, О. К. Біруля, Д. С. Беляєва, Ю. В. Буртиля, І. П. Гамеляка, В. М. Герцога, М. Я. Говорущенка, В. Ф. Демішкана, Г. В. Долгих, А. В. Едельмана, С. К. Іліополова, Є. В. Жустаревої,

В. Д. Казарновського, С. С. Кизими, М. С. Коганзона, А. В. Кочеткова, М. В. Кузіна, І. І. Леоновича, В. В. Мозгового, І. В. Нестеровича, А. М. Онищенко, Є. Д. Прусенка, О. В. Смірнова, Є. В. Углової, В. Б. Фадєєва, Ю. М. Яковлева та ін.

Питання оцінювання впливу нерівності покриття автомобільних доріг на процеси розвитку й нагромадження деформацій, змінювання рівності покриття у процесі експлуатації залишаються в значній мірі відкритими. Це пов'язано із багатофакторністю задачі прогнозування рівності покриття, тому доцільно застосовувати підходи, що базуються на методах прямих вимірювань.

Встановлено, що перевагою показника рівності є відносна простота визначення та можливість періодичного контролю. За показником рівності можна призначати ремонти і прогнозувати строк експлуатації, оцінювати стан дорожнього одягу. Експериментальними дослідженнями доведено, що існує зв'язок між рівністю покриття і міцністю дорожнього одягу, що відкриває можливість визначення міцності конструкції нежорсткого дорожнього одягу, яка забезпечує задану рівність покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом.

Більшість моделей взаємодії пневматичного або жорсткого колеса з покриттям розроблено для завдань механіки дорожнього одягу або теорії автомобіля, тому не можуть бути однозначно застосовані для визначення величини коефіцієнта динамічності. Для ділянок автомобільних доріг з незадовільною рівністю коефіцієнти динамічності слід розраховувати на основі моделі взаємодії «транспортний засіб – дорога», оскільки на цих ділянках спостерігається значний розкид величин коефіцієнта динамічності (від 1,2 до 2,5), що залежить від профілю дорожнього покриття, осьового навантаження й швидкості руху автомобіля. Нерівність покриття призводить до істотної зміни тиску колеса на його поверхню. При цьому найбільш впливовими є фактори «підресорювання» транспортного засобу, а також параметри, що обумовлені формою нерівності, швидкістю руху транспортного засобу та його конструктивними особливостями.

Теоретичні та експериментальні дослідження створили основу для розвитку методів обґрунтування потрібної міцності нежорсткого дорожнього одягу, яка забезпечує нормативну рівність покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом.

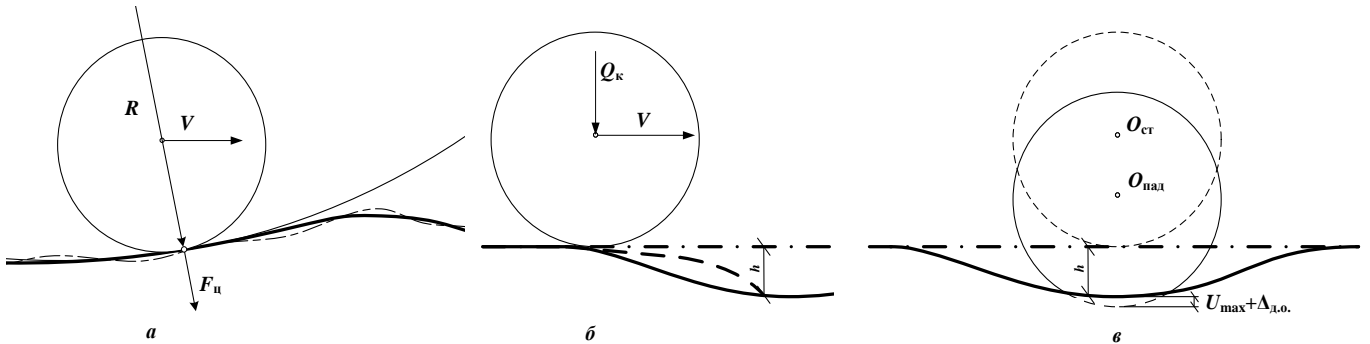
У другому розділі розроблено теоретичні положення щодо обґрунтування граничної міцності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття, основу яких створює:

- математична модель розрахунку коефіцієнта динамічності, що ґрунтується на моделях взаємодії пневматичного колеса з покриттям нежорсткого дорожнього одягу та враховує рівність покриття і масу взаємодіючих тіл;
- удосконалена модель прогнозування рівності покриття.

Подолання нерівності транспортним засобом супроводжується змінюванням коефіцієнту динамічності залежно від форми, частоти розташування нерівностей на покритті, жорсткості шини, режиму руху транспортного засобу. З метою визначення величини динамічного навантаження на дорожній одяг процес подолання нерівності транспортним засобом розділений на два етапи:

- перший етап – контакт з нерівністю і підйом на нерівність;
- другий етап – з'їзд з нерівності і «падіння» на покриття.

На першому етапі підйом на нерівність розглядається як рух по кривій певного радіуса (рис. 1-а). Додаткове навантаження на дорожній одяг дорівнює відцентровій силі, яка з'являється внаслідок руху по криволінійній траєкторії.



R – радіус кривизни профілю покриття; V – горизонтальна швидкість руху транспортного засобу; $F_{ц}$ – відцентрова сила; Q_k – вертикальне навантаження на колесо; h – висота «падіння»; $O_{ст}$ – центр колеса у статичному положенні; $O_{пад}$ – центр колеса при «падінні»; $U_{max} + \Delta_{до.}$ – сумарний прогин покриття та колеса

Рисунок 1 – Схеми взаємодії транспортного навантаження і нерівності на покритті дорожнього одягу: а) схема підйому колеса на нерівність у вигляді опуклої кривої; б) етап під'їзду до нерівності у формі западини; в) етап «падіння» у западину

Коефіцієнт динамічності на цьому етапі подолання нерівності дорівнюватиме:

$$K_d = \frac{Q_k + F_{ц}}{Q_k} = 1 + \frac{V^2}{1000 \cdot g \cdot R}, \quad (1)$$

де K_d – коефіцієнт динамічності навантаження;

Q_k – вертикальне навантаження на колесо, кН;

$F_{ц}$ – відцентрова сила, що діє на покриття, при русі по кривій, кН;

V – швидкість руху транспортного засобу, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

R – радіус кривизни профілю покриття, м.

На другому етапі подолання нерівності (ділянка «падіння») координата точки «падіння» розраховується в залежності від швидкості транспортного засобу і ухилу поверхні (рис. 1-б та 1-в).

Згідно з запропонованою моделлю колесо падає на дно западини на деякій відстані від середини западини, яка залежить від швидкості руху транспортного засобу. Точка перетину двох функцій, що описують траєкторію руху колеса і форму

нерівності, є місцем виникнення максимальних динамічних навантажень – динамічного удару. Обчисливши різницю між висотними позначками точки початку нерівності (для випадку нерівності у формі западини) і точки «падіння», визначають висоту «падіння» (h), яка є визначальним параметром при розрахунку коефіцієнта динамічності.

У загальному випадку коефіцієнт динамічності можна записати у вигляді:

$$K_d = \frac{G_d}{Q_k}, \quad (2)$$

де G_d – динамічне навантаження на дорожнє покриття, МПа.

Враховуючи, що на першому етапі колесо деформується (стискається) на величину (U_{\max}), яка складається зі статичної деформації колеса та додаткової деформації, що виникає внаслідок динамічного навантаження, запишемо:

$$U_{\max} = U_d + \Delta_{\text{ст}}, \quad (3)$$

де U_{\max} – повна деформація колеса, м;

U_d – додаткова деформація колеса внаслідок динамічного навантаження, м;

$\Delta_{\text{ст}}$ – статична деформація колеса від навантаження (Q_k), м.

На другому етапі після деформування колеса динамічне навантаження (G_d) передається на дорожнє покриття. Застосування енергетичного підходу дозволило визначити величину динамічного навантаження (G_d) і вертикального навантаження на колесо через енергію деформування колеса (W_k), дорожнього одягу ($W_{\text{д.о.}}$) та енергію «падіння» ($W_{\text{пад}}$):

– енергія деформування колеса (W_k) дорівнює роботі сили динамічного навантаження (G_d) на шляху переміщення (U_{\max}):

$$W_k = G_d \cdot U_{\max} = c_k \cdot (U_d + \Delta_{\text{ст}})^2, \quad (4)$$

де W_k – енергія деформування колеса, кН·м;

c_k – радіальна жорсткість шини, кН/м.

– енергія деформування дорожнього одягу дорівнює:

$$W_{\text{д.о.}} = G_d \cdot \Delta_{\text{д.о.}} = c_k \cdot (U_d + \Delta_{\text{ст}}) \cdot \Delta_{\text{д.о.}}, \quad (5)$$

де $W_{\text{д.о.}}$ – енергія деформування дорожнього одягу, кН·м;

$\Delta_{\text{д.о.}}$ – деформація дорожнього одягу від динамічного навантаження, м;
 – енергія «падіння» колеса у западину з висоти (h) з деформуванням колеса і дорожнього одягу на величину ($U_{\text{max}} + \Delta_{\text{д.о.}}$) складає:

$$W_{\text{пад}} = Q_{\text{к}} \cdot (h + U_{\text{max}} + \Delta_{\text{д.о.}}) = Q_{\text{к}} \cdot (h + U_{\text{д}} + \Delta_{\text{ст}} + \Delta_{\text{д.о.}}), \quad (6)$$

де $W_{\text{пад}}$ – енергія «падіння» колеса, кН·м;

h – висота «падіння», м.

Згідно з законом збереження енергії:

$$W_{\text{пад}} = W_{\text{к}} + W_{\text{д.о.}}; \quad (7)$$

$$Q_{\text{к}} \cdot (h + U_{\text{д}} + \Delta_{\text{ст}} + \Delta_{\text{д.о.}}) = c_{\text{к}} \cdot (U_{\text{д}} + \Delta_{\text{ст}}) \cdot \Delta_{\text{д.о.}} + c_{\text{к}} \cdot (U_{\text{д}} + \Delta_{\text{ст}})^2. \quad (8)$$

Перетворення рівняння (8) відносно ($Q_{\text{к}}$) та рівняння (4) відносно ($G_{\text{д}}$) дозволяє визначити коефіцієнт динамічності. Як відомо з теорії удару, на величину коефіцієнта динамічності впливає коефіцієнт приведення маси системи до точки удару, тому у дослідженні розроблено порядок розрахунку коефіцієнта приведення маси системи «транспортний засіб – дорожній одяг» до точки удару, основу якого складають:

– рішення задачі про розрахунок тисків, що передаються шарами дорожнього одягу під впливом транспортного навантаження;

– визначення радіусів зони деформування у плані для монолітних шарів конструкції дорожнього одягу, шарів з дискретних матеріалів та активної зони земляного полотна;

– залучення теорії динамічного навантаження шаруватих систем до визначення коефіцієнту приведення маси системи «транспортний засіб – дорожній одяг» до точки удару.

Відповідно до теорії динамічного навантаження коефіцієнт приведення маси системи дорожнього одягу до точки удару визначається за формулою:

$$\beta = \frac{\int_0^h \gamma \lambda_c^2(x) F(x) dx}{\lambda_c \cdot Q_{\text{д.о.}}}, \quad (9)$$

де β – коефіцієнт приведення маси системи до точки удару;

h – товщина дорожнього одягу, см;

γ – середня щільність дорожнього одягу, кН/см³;

λ_c – статичне переміщення в точці удару, см;

$F(x)$ – площа поперечного перетину шару системи дорожнього одягу на глибині x , см²;

$Q_{д.о.}$ – власна вага шарів дорожнього, що сприймають навантаження від колеса транспортного засобу, кН.

Тоді, коефіцієнт динамічності (2), враховуючи перетворення (3-8) та коефіцієнт приведення маси системи до точки удару (9), приймає вигляд:

$$K_d = \frac{G_d}{Q_k \cdot \left(1 + \frac{Q_{д.о.}}{Q_k} \cdot \beta\right)} = 1 + \frac{\sqrt{0,25 \cdot (\Delta_{ст} + \Delta_{д.о.})^2 + h \cdot \Delta_{ст}} - 0,5(\Delta_{ст} + \Delta_{д.о.})}{\left(1 + \frac{Q_{д.о.}}{Q_k} \cdot \beta\right) \cdot \Delta_{ст}}, \quad (10)$$

де β – коефіцієнт приведення маси системи до точки удару.

Для вирішення завдання удосконалення моделі прогнозування рівності покриття виконаний аналіз методів прогнозування рівності покриття та статистична обробка результатів експериментальних вимірювань рівності, що дозволило:

– обґрунтувати фактори, що впливають на змінювання рівності покриття протягом строку експлуатації, серед яких найбільший вплив мають: конструкція дорожнього одягу, його міцність і деформативність, інтенсивність і склад транспортного потоку, початкова рівність, наявність і величина нерівностей на покритті, термін експлуатації дорожнього одягу, погодно-кліматичні умови;

– визначити вагомість параметрів моделі прогнозування рівності покриття, серед яких найбільшу вагомість мають: початкова рівність (0,980); інтенсивність руху і строк експлуатації (від 0,54 до 0,55); коефіцієнт запасу міцності за допустимим пружним прогином (0,467); загальний еквівалентний модуль пружності (від 0,4 до 0,54).

Рівність покриття у будь-якій момент часу збільшується відносно рівності покриття на початку експлуатації на деяку величину, що дорівнює збільшенню показника рівності під впливом комплексу факторів:

$$IRI_t = IRI_0 + \Delta IRI_t, \quad (11)$$

або

$$IRI_t = IRI_0 \cdot (1 + \Delta_t), \quad (12)$$

де IRI_t – індекс рівності для строку служби (t) років після введення дороги в експлуатацію (або після капітального ремонту), м/км;

IRI_0 – початковий індекс рівності при введенні дороги в експлуатацію (або після капітального ремонту), м/км;

ΔIRI_t – приріст індексу рівності за (t) років, м/км;

Δ_t – коефіцієнт приросту показника рівності.

Тоді основне завдання полягає у визначенні приросту показника рівності. Приріст індексу рівності у часі розглядається як функція таких параметрів: модуль пружності дорожнього одягу (фактичний або потрібний); кількість циклів

навантаження за (t) років експлуатації дорожнього одягу; частка вантажних автомобілів у транспортному потоці; коефіцієнт запасу міцності конструкції дорожнього одягу. Проведені дослідження дозволили представити модель прогнозування рівності покриття у вигляді:

$$IRI_t = IRI_0 \cdot \left(1 + \Delta IRI_E + \Delta_2 IRI_E \cdot \sum N \cdot 10^{-6} \cdot A_Q\right) \cdot K_t \cdot \bar{K}_{мц} + \Delta IRI_{P_{в.а.}}, \quad (13)$$

де IRI_t – рівність покриття на t -й рік експлуатації дорожнього одягу, м/км;

IRI_0 – початкова рівність покриття, м/км;

ΔIRI_E – коефіцієнт приросту показника рівності в залежності від загального модуля пружності дорожнього одягу;

$\Delta_2 IRI_E$ – коефіцієнт впливу модуля пружності на приріст показника рівності в залежності від кількості циклів розрахункового навантаження за t років;

$\sum N$ – кількість циклів розрахункового навантаження за t років, од.;

A_Q – коефіцієнт, що враховує вплив групи розрахункового навантаження;

K_t – коефіцієнт узгодження впливу часу експлуатації на показник рівності;

$\Delta IRI_{P_{в.а.}}$ – приріст показника рівності в залежності від частки вантажних автомобілів у транспортному потоці, м/км;

$\bar{K}_{мц}$ – коефіцієнт, що враховує додатковий вплив відношення мінімального модуля пружності дорожнього одягу до потрібного.

Модель враховує:

– вплив загального еквівалентного модуля пружності конструкції дорожнього одягу на початкову зміну рівності, що описується кореляційною залежністю, яку отримано за результатами статистичного аналізу експериментальних даних;

– закономірності зміни показника рівності у часі, які запропоновано враховувати коефіцієнтом впливу строку експлуатації дорожнього одягу;

– вплив розрахункового навантаження на вісь транспортного засобу, що визначається коефіцієнтом впливу розрахункового навантаження, який встановлено за результатами моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу з урахуванням циклічності навантаження;

– загальну частку вантажних автомобілів у транспортному потоці.

Адекватність розробленої моделі прогнозування рівності покриття підтверджена шляхом статистичної обробки експериментальних даних, що отримані автором дисертації та іншими дослідниками на автомобільних дорогах загального користування з різним строком експлуатації, та розрахункових даних за теоретичною моделлю (рис. 2). Коефіцієнт кореляції Пірсона між експериментальними даними та теоретичним розрахунком становить понад 0,95, що свідчить про адекватність розробленої моделі. У порівнянні з відомими моделями прогнозування рівності покриття удосконалена модель дозволяє застосовувати більш широкий діапазон значень загального еквівалентного модуля пружності

конструкції дорожнього одягу (від 100 МПа до 600 МПа) та отримувати прогностні значення рівності на строк експлуатації нежорсткого дорожнього одягу понад 5 років.

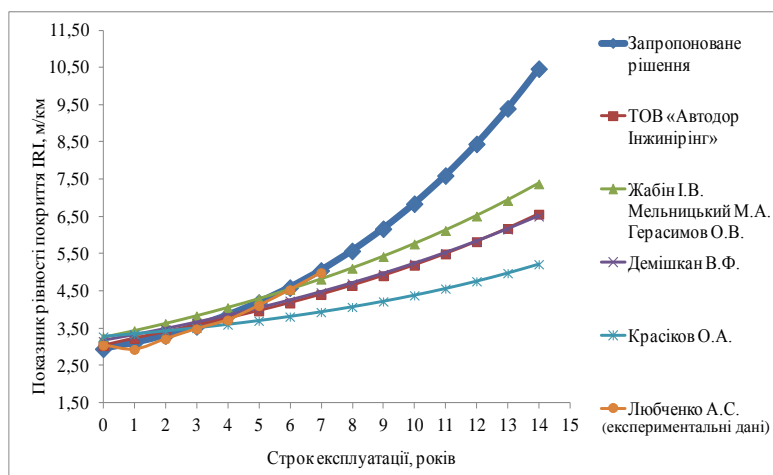


Рисунок 2 – Порівняння результатів моделювання рівності покриття та експериментальних досліджень

У третьому розділі експериментальними дослідженнями підтверджено теоретичні положення методу обґрунтування потрібного модуля пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття та доведено адекватність розроблених моделей:

- прогнозування рівності покриття;
- визначення коефіцієнту динамічності;
- прогнозування величини коефіцієнту динамічності на ділянках за величиною середньої рівності за різної ймовірності.

Основними завданнями експериментальних досліджень є:

- визначення розподілу нерівностей на ділянках автомобільних доріг з різними показниками рівності;
- обґрунтування мінімальної довжини ділянки, за якої результати вимірювання рівності відповідають 95 % забезпеченості;
- оцінка величини коефіцієнтів динамічності на ділянках з різними показниками рівності.

Експериментальні дослідження проведені на автомобільних дорогах із різним станом покриття: М-03 Київ – Харків – Довжанський від 460+000 км до 460+200 км; М-20 Харків – Щербаківка від 15+000 км до 15+200 км, від 20+000 км до 20+200 км; М-29 Харків – Красноград – Перещепине від 2+000 км до 2+400 км; Р-46 Харків – Охтирка від 24+000 км до 24+200 км; Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від 15+000 км до 15+200 км, від 18+000 км до 18+150 км, від 17+000 км до 17+200 км, від 21+000 км до 21+200 км та від 29+000 км до 29+200 км; Т-21-03 Харків – Золочів – Олександрівка від 11+000 км до 11+200 км. Довжина ділянок, що досліджувалися, становила від 150 м до 200 м.

За результатами експериментальних досліджень з вимірювання мікропрофілю покриття на автомобільних дорогах загального користування методом нівелювання та подальшої обробки результатів із застосуванням методу фільтрації встановлено:

– фільтрація результатів нівелювання з довжиною хвилі 10 м дозволяє визначити рівність покриття на ділянках довжиною від 200 м до 1000 м з відносною похибкою до 5 %;

– розподіл показника рівності на ділянках довжиною від 200 м до 1000 м наближується до логнормального розподілу, що дозволяє визначити ймовірну рівність покриття (рис. 3);

– середньоквадратичне відхилення рівності покриття понад 8 % на ділянках довжиною 10 м відносно значень рівності покриття, що встановлена на ділянках довжиною 200 м, свідчить про наявність ділянок, які не відповідають нормативним вимогам щодо рівності та можуть розглядатися як джерело руйнування покриття;

– між показником рівності покриття на ділянці 200 м і на ділянці 10 м існує зв'язок, що описується експоненціальною залежністю (коефіцієнт кореляції 0,866), який дозволяє визначити ймовірність наявності на ділянці довжиною 200 м ділянок довжиною 10 м, на яких рівність покриття перевищує граничні значення, а коефіцієнт динамічності перевищує 1,3. Ділянки з такими нерівностями є потенційно небезпечними, тому їх рекомендується враховувати під час прогнозування стану нежорсткого дорожнього одягу.

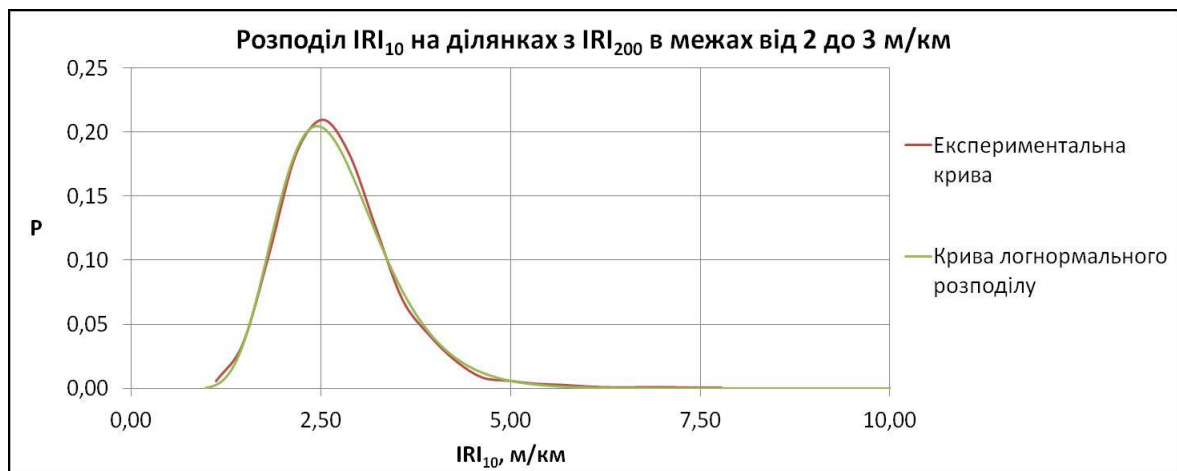


Рисунок 3 – Розподіл показників рівності на ділянках довжиною 10 м в межах ділянок довжиною 200 м

Для таких ділянок розроблено методику визначення величини коефіцієнта динамічності за параметрами мікропрофілю покриття (з кроком 0,25 м), що дозволило встановити кореляційний зв'язок між показником рівності покриття і коефіцієнтом динамічності (R^2 від 0,7915 до 0,9316 за шкалою Чеддока):

$$K_d = 1,25884 + 0,20533 \cdot IRI - 0,00439 \cdot IRI^2, \quad (14)$$

де K_d – коефіцієнт динамічності;

IRI – показник рівності покриття, м/км.

Логнормальний розподіл показника рівності (рис. 3) разом з (14) дозволяє у межах ділянок дороги довжиною 200 м прогнозувати значення показника рівності ділянок довжиною 10 м різної забезпеченості (2, 5, 8 та 10 відсотків імовірності перевищення) та визначати очікуваний коефіцієнт динамічності в залежності від показника рівності.

У четвертому розділі розроблено методику визначення потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття, наведено інформацію щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження.

Величина динамічного навантаження, що залежить від рівності покриття, істотно впливає на напружено-деформований стан (НДС) конструкції дорожнього одягу. Основу оцінки граничного значення показника рівності покриття складає припущення, що граничному значенню коефіцієнта динамічності відповідає граничний стан конструкції нежорсткого дорожнього одягу за будь-яким критерієм міцності. Тому моделювання впливу рівності покриття на НДС конструкції дорожнього одягу здійснювалася шляхом змінювання коефіцієнта динамічності. Оцінку НДС конструкції дорожнього одягу під дією навантаження виконували із залученням методу скінченних елементів. Розрахунок показників НДС моделі реалізований у програмі ANSYS.

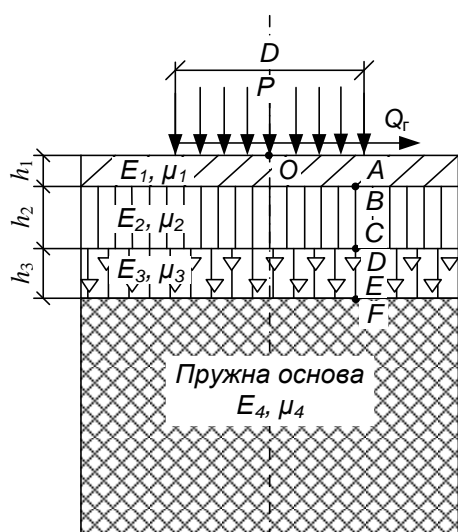


Рисунок 4 – Розрахункова модель конструкції дорожнього одягу

Розрахункова модель являє собою шаруватий півпростір зі спаяним або вільним контактом між шарами (рис. 4). Параметри розрахункової моделі:

- кожен шар характеризується товщиною (h_i), модулем пружності (E_i) і коефіцієнтом Пуассона (μ_i);
- основа характеризується загальним (еквівалентним) модулем пружності (E_4) і коефіцієнтом Пуассона (μ_4);
- до поверхні моделі прикладене вертикальне ($Q_{\text{вер}}$) або комбіноване (вертикальне ($Q_{\text{вер}}$) та горизонтальне ($Q_{\text{гор}}$)) навантаження.

На поверхні моделі по осі штампу визначалися деформації та загальний еквівалентний модуль пружності конструкції. У перерізі «А» (на нижній фібрі верхнього шару пакету монолітних асфальтобетонних шарів) та перерізі «В» (на нижній фібрі пакету асфальтобетонних шарів) по осі штампу та на краю штампу визначалися:

- вертикальні напруження σ_z , МПа;
- дотичні напруження τ_{xz} , МПа;
- горизонтальні напруження σ_x , МПа;
- головні напруження σ_r , МПа.

За результатами чисельного моделювання впливу навантаження від транспортних засобів на НДС конструкції нежорсткого дорожнього одягу за різної рівності покриття встановлено:

- збільшення коефіцієнта динамічності у 3 – 3,5 разів призводить до зростання деформації на поверхні покриття в 1,5 рази;

- модуль пружності конструкції дорожнього одягу зменшується майже вдвічі при збільшенні коефіцієнта динамічності у 3,5 рази, якщо величина коефіцієнта динамічності становить від $K_d = 2$ до $K_d = 2,5$, модуль пружності дорожнього одягу в порівнянні зі статичним навантаженням зменшується в 1,5 рази, тобто ресурс запасу міцності вичерпаний;

- найбільш «чутливою» до динамічних навантажень є міцність асфальтобетонних шарів на розтяг при згині – напруження розтягу на ніжній фібрі пакету асфальтобетонних шарів при $K_d = 1,6$ збільшуються у 1,5 рази відносно статичного навантаження ($K_d = 1$), тобто запас міцності асфальтобетонних шарів за критерієм розтягу при згині вичерпаний, починається інтенсивне деформування і руйнування асфальтобетонного покриття з погіршенням показників рівності;

- дотичні напруження на контакті шарів з урахуванням напруження від гальмівних сил за величини коефіцієнта динамічності від $K_d = 1,6$ до $K_d = 1,7$ досягають величини від 0,6 МПа до 0,55 МПа, що є дуже небезпечним.

За результатами числового моделювання та аналізу коефіцієнтів запасу міцності конструкції дорожнього одягу за граничними станами визначено граничне значення коефіцієнта динамічності за умови допустимого коефіцієнта руйнування ($K_{д гр} = 1,7$ для II категорії автомобільної дороги).

Розроблено методику визначення потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття, основу якої складає модель прогнозування рівності покриття на останній рік експлуатації нежорсткого дорожнього одягу перед капітальним ремонтом та ітераційна процедура щодо визначення потрібного модуля пружності. Для спрощення розрахунків розроблено номограму з визначення потрібного модуля пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття (рис. 5).

Результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію на автомобільних дорогах Харківської області та впроваджені у нормативні документи Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор»:

- АД А.2.4-37641918-004 Альбом типових конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на дорогах I-II категорій на навантаження 130 кН;

- МР В.2.3-37641918-905:2019 Методичні рекомендації з проектування нежорсткого дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи A_1 .

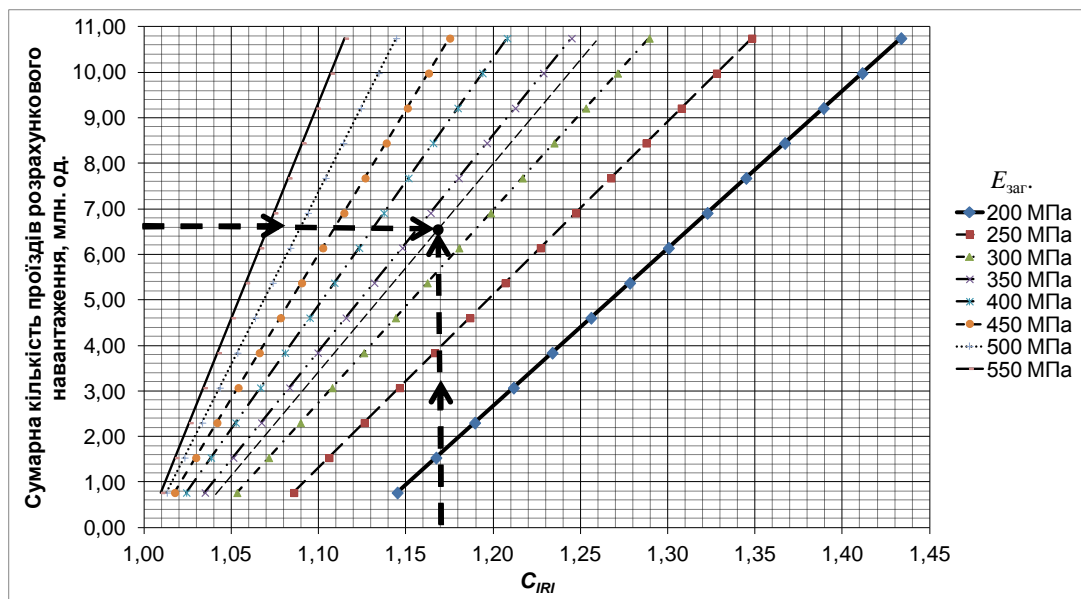


Рисунок 5 – Номограма з визначення потрібного модуля пружності за критерієм граничної рівності

ВИСНОВКИ

Основний науковий результат дисертаційного дослідження полягає у розвитку теоретичних і практичних положень взаємодії пневматичних коліс транспортних засобів з нерівностями покриття нежорсткого дорожнього одягу, які надають змогу оцінити динамічне навантаження на нежорсткий дорожній одяг та прогнозувати рівність покриття, що дозволяє вирішити науково-практичне завдання обґрунтування потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом.

Результати дисертаційного дослідження дозволили сформулювати теоретичні та науково-практичні висновки, основними з яких є:

1. За результатами аналізу та узагальнення існуючих критеріїв та методів обґрунтування потрібної міцності нежорсткого дорожнього одягу встановлено:

– існує зв'язок між рівністю покриття і міцністю нежорсткого дорожнього одягу, що дає змогу визначити міцність конструкції нежорсткого дорожнього одягу, яка забезпечує задану рівність покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом;

– нерівність покриття призводить до істотної зміни тиску колеса на його поверхню, що обумовлений формою нерівності, швидкістю руху транспортного засобу та його конструктивними особливостями;

2. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблено математичну модель з визначення коефіцієнту динамічності та встановлено його граничне значення, що дорівнює 1,7 для автомобільної дороги II категорії. Модель ґрунтується на:

- врахуванні додаткового навантаження на дорожній одяг, що виникає внаслідок руху колеса по криволінійній траєкторії;
- визначенні точки динамічного удару та висоти «падіння» колеса при подоланні нерівності шляхом вирішення системи рівнянь, які описують траєкторію руху кузова автомобіля і форму нерівності покриття;
- застосуванні енергетичного підходу, якій враховує енергію деформування колеса, дорожнього одягу та енергію «падіння» колеса;
- врахуванні коефіцієнта приведення маси системи «транспортний засіб – дорожній одяг» до точки удару. Запропоновано порядок розрахунку коефіцієнта приведення маси системи «транспортний засіб – дорожній одяг» до точки удару.

3. Обґрунтовано фактори, що впливають на змінювання рівності покриття протягом строку експлуатації, що дозволило визначити вагомість параметрів моделі прогнозування рівності покриття, серед яких найбільшу вагомість має початкова рівність покриття (0,980); інтенсивність руху і строк експлуатації дорожнього одягу (від 0,54 до 0,55); коефіцієнт запасу міцності конструкції дорожнього одягу за допустимим пружним прогином (0,467); загальний еквівалентний модуль пружності (від 0,4 до 0,54).

4. Удосконалено модель прогнозування рівності покриття, де приріст індексу рівності у часі розглядається як функція таких параметрів: модуль пружності дорожнього одягу (фактичний або потрібний); кількість циклів навантаження за t років служби дорожнього одягу; частка вантажних автомобілів у транспортному потоці; коефіцієнт запасу міцності конструкції дорожнього одягу. Модель враховує:

- вплив загального еквівалентного модуля пружності конструкції дорожнього одягу на початкову зміну рівності, що описується кореляційною залежністю, яку отримано за результатами статистичного аналізу експериментальних даних;
- основні закономірності змінювання показника рівності у часі, які запропоновано враховувати коефіцієнтом впливу строку експлуатації дорожнього одягу;
- вплив розрахункового навантаження на вісь транспортного засобу, що визначається коефіцієнтом впливу розрахункового навантаження, який встановлено за результатами моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу з урахуванням циклічності навантаження;
- загальну частку вантажних автомобілів у транспортному потоці.

Модель прогнозування рівності покриття дозволяє застосовувати діапазон значень загального еквівалентного модуля пружності конструкції дорожнього одягу від 100 МПа до 600 МПа та отримувати прогнозні значення рівності на строк експлуатації нежорсткого дорожнього одягу понад 5 років.

5. За результатами теоретичних досліджень, експериментальних вимірювань та числового моделювання напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу розроблено порядок обґрунтування потрібного модуля пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу, основу якого складають:

- експериментально встановлені закономірності змінювання показника рівності покриття у часі, які враховують категорію автомобільної дороги,

інтенсивність руху та склад транспортного потоку, міцність конструкції нежорсткого дорожнього одягу;

– алгоритм визначення величини коефіцієнта динамічності за параметрами мікропрофілю покриття (з кроком 0,25 м);

– кореляційні залежності між коефіцієнтом динамічності та показником рівності покриття;

– закономірності змінювання напружено-деформованого стану конструкції нежорсткого дорожнього одягу за різної величини коефіцієнту динамічності.

6. Розроблено методику та порядок визначення потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття методом ітерацій, основу якої складає математична модель визначення коефіцієнта динамічності та модель прогнозування рівності покриття на останній рік експлуатації нежорсткого дорожнього одягу перед капітальним ремонтом.

7. Експериментальними дослідженнями та польовими випробуваннями на автомобільних дорогах загального користування підтверджено адекватність теоретичних моделей та практичних методик:

– теоретична модель змінювання рівності покриття адекватна експериментальним даним за критерієм Пірсона, що становить 0,95;

– фільтрація результатів нівелювання покриття з довжиною хвилі 10 м дозволяє визначити рівність покриття на ділянках довжиною від 200 м до 1000 м з відносною похибкою до 5 відсотків;

– зв'язок між показником рівності покриття і коефіцієнтом динамічності характеризується як тісний (коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,9316$), що дозволяє визначати коефіцієнт динамічності для ділянок покриття зі середньою рівністю за різної довірчої ймовірності.

Теоретичні та експериментальні результати реалізовані у алгоритмі визначення коефіцієнта динамічності та перспективного показника рівності покриття, методиці щодо визначення потрібного загального модуля пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності дорожнього покриття.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Y. Dorozhko, N. Arsenieva, H. Sarkisian, O. Synovets. Determining the most dangerous loading application point for asphalt-concrete layers on a rigid base. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv, 2019. Vol. 3. P. 36–43. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.166490.

Статті у фахових виданнях:

2. Ряпухін В. М., Саркісян Г. С. Особливості визначення міцнісних і деформативних характеристик шарів нежорстких дорожніх одягів за кривими прогинів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2016. Вип. 98. С. 198–203.

3. Саркісян Г. С., Ряпухін В. М. Влияние ровности покрытий нежестких дорожных одежд на параметры транспортного потока. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2018. № 5, т. 29 (68), ч. 3. С. 93–97.

4. Саркісян Г. С., Ряпухін В. М. Формування бази метаданих ГІС-«Автомобільна дорога» для моніторингу і кадастру автомобільних доріг *Вісник ХНАДУ*. Харків, 2019. Вип. 84. С. 55–59. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.84.0.55.

5. Ряпухін В.М., Саркісян Г.С., Фоменко Г.Р., Синовець О.С., Мусієнко І.В. Аналіз поздовжніх профілів покриття дорожнього одягу отриманих на основі геодезичних вимірювань. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, ХОТВАБУ. 2019, № 2 (96). С. 358–361. DOI: 10.29295/2311-7257-2019-96-2-358-361.

6. Саркісян Г. С. Обґрунтування параметрів розрахункового навантаження з урахуванням рівності покриття. *Вісник ХНАДУ*. Харків, 2019. Вип. 86. С. 69–73. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.69.

У збірниках доповідей, тез конференцій і семінарів:

7. Sarkisian G. S., Riapukhin V. M. Validation of Intended Load Parameters for Road Coating Strength Calculation. *Integration processes and innovative technologies: achievements and prospects of engineering sciences (in foreign languages): collection of scientific works*. Kharkiv: KHNADU, 2016. P. 468–471.

8. Саркісян Г. С., Ряпухін В. М. Особливості визначення міцнісних і деформативних характеристик шарів нежорстких дорожнього одягу за кривими прогинів. *Міське середовище – XXI ст. Архітектура. Будівництво. Дизайн: тези доповідей II Міжнародного науково-практичного конгресу, м. Київ, 15-18 березня 2016 р.* Київ: ЦП «Компринт», 2016. С. 54–55.

9. Саркісян Г. С. Визначення величини навантаження на нежорсткий дорожній одяг з врахуванням прогнозованої рівності покриття. *Міське середовище – XXI ст. Архітектура. Будівництво. Дизайн: тези доповідей III Міжнародного науково-практичного конгресу, м. Київ, 14-16 березня 2018 р.* Київ: ЦП «Компринт», 2018. С. 59–61.

10. Саркісян Г. С., Ряпухін В. М. Влияние ровности покрытия на режим нагружения дорожных одежд. *Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения: сб. науч. статей по материалам II Междунар. научной конфер. молодых ученых, Гродно, 25 мая 2018 г.* ГрГУ им. Янки Купалы. Гродно, Беларусь, 2018. С. 131–133.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

11. Саркісян Г. С., Ряпухін В. Н. Взаимосвязь коэффициента динамичности нагружения и показателя ровности IRI дорожного покрытия. *Научно-технический журнал «Автомобильные дороги и мосты»*. Минск, Белорусский дорожный научно-исследовательский институт "БелдорНИИ". 2020. Вып. №1 (25). С. 44–49.

АНОТАЦІЯ

Саркісян Г. С. Обґрунтування потрібної міцності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, 2021.

У дисертаційній роботі представлено нове вирішення актуальної науково-практичної задачі щодо призначення потрібного загального модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням критерію граничної поздовжньої рівності покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом. Удосконалено модель взаємодії транспортного навантаження та дорожнього одягу з урахуванням рівності покриття шляхом врахування приведеної маси системи до точки удару. Удосконалено модель зміни рівності покриття, де приріст індексу рівності у часі розглядається як функція параметрів, які було визначено як найбільш вагомими. На основі результатів моделювання напружено-деформованого стану конструкції нежорсткого дорожнього одягу встановлено значення граничного коефіцієнту динамічності навантаження та граничної рівності покриття. За результатами дослідження обґрунтовано значення потрібного модуля пружності дорожнього одягу з урахуванням критерію граничної поздовжньої рівності покриття.

Ключові слова: нежорсткий дорожній одяг, поздовжня рівність покриття, модель зміни рівності, потрібний модуль пружності.

АННОТАЦИЯ

Саркісян Г. С. Обоснование требуемой прочности нежесткой дорожной одежды по критерию предельной ровности. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 «Автомобильные дороги и аэродроми» (192 - Строительство и гражданская инженерия). – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, 2021.

В диссертационной работе представлено новое решение актуальной научно-практической задачи по назначению требуемого общего модуля упругости нежесткой дорожной одежды с учетом критерия предельной продольной ровности покрытия на последний год эксплуатации перед капитальным ремонтом. Усовершенствована модель взаимодействия транспортной нагрузки и дорожной одежды с учетом ровности покрытия путем учета приведенной массы системы к точке удара. Усовершенствована модель изменения ровности покрытия, где прирост индекса ровности во времени рассматривается как функция параметров, которые

были определены как наиболее весомые. На основе результатов моделирования напряженно-деформированного состояния конструкции нежесткой дорожной одежды установлено значение предельного коэффициента динамичности нагрузки и предельной ровности покрытия. По результатам исследования обосновано значение требуемого модуля упругости дорожной одежды с учетом критерия предельной продольной ровности покрытия.

Ключевые слова: нежесткая дорожная одежда, продольная ровность покрытия, модель изменения ровности, требуемый модуль упругости.

ABSTRACT

H. Sarkisian. Substantiation of the required strength of non-rigid pavement by the marginal roughness criterion. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

The thesis on the competition of scientific degree of the candidate of technical sciences majoring in 05.22.11 «Highways and Airfields». (192 – Construction and Civil Engineering). – Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 2021.

The thesis offers a new solution of the **relevant scientific and practical issue** of assigning the required general modulus of elasticity of non-rigid pavement, taking into account the criterion of maximum longitudinal roughness of coverage for the last year of operation before overhaul.

The **first section** of the thesis presents a critical analysis and generalization of existing methods and models for calculating non-rigid pavement according to the criteria of strength and analysis of methods for considering the roughness of coverage. Relevant theoretical and experimental studies on the interaction of a pneumatic or rigid wheel with a coating are analyzed. The analysis finds that there is a relationship between the roughness of coverage and the strength of the pavement, which opens the possibility of determining the strength of the structure of non-rigid pavement, which provides a given level of coverage for the last year of operation before overhaul. It is also established that most existing models of the interaction of the vehicle wheel with the coating were developed for various tasks of road pavement mechanics or vehicle theory, so they cannot be unambiguously used to determine the value of the load dynamic factor. A significant disadvantage of existing solutions is the lack of consideration of the deformable properties (modulus of elasticity) of pavement.

The **second section** of the thesis deals with the improved model of interaction of transport loading and road pavement, taking into account the roughness of coverage. Based on the results of the analysis of existing approaches to consider the impact of vehicle wheels on the construction of pavement when overcoming the unevenness of the road surface, a calculation scheme for determining the dynamic factor. The scheme of determining the dynamic factor allows to take into account the additional load on the pavement, which occurs when the wheel interacts with the unevenness of the pavement.. The model for calculating the dynamic factor is built using an energy approach, which takes into account the energy of deformation of the wheel, pavement and the energy of the

“fall” of the wheel. For the first time, the factor of bringing the mass of the “vehicle – pavement” system to the point of impact is considered when calculating the load dynamic factor on non-rigid pavement.

The model of change of coverage roughness, where increase in the roughness index over time is considered as a function of such parameters. The adequacy of the developed model of changing the roughness of coverage is confirmed by statistical processing of experimental data obtained by the thesis author and other researchers on public roads with different service life, and calculated data under the theoretical model. The Pearson correlation coefficient between experimental and calculated data is more than 0.95, which indicates the adequacy of the developed model.

The **third section** reveals experimental studies of coverage roughness and analysis of the impact of roughness on the design load. According to the developed method, the value of the dynamic factors was determined by the parameters of the coverage microprofile (with a step of 0.25 m) in the studied areas, allowing to establish the relationship between the roughness of coverage and the dynamic factor. The relationship between the roughness of coverage and the dynamic factor on the Chaddock's scale is characterized as high, which indicates the possibility to determine the expected dynamic factor for sections of road with average roughness at different probabilities.

According to the results of experimental studies, it is established that even in 100 m long areas, the roughness of which meets regulatory requirements, there is a probability of existence of 10 m long areas, where the dynamic factor exceeds 1.3. Areas with such irregularities are potentially dangerous, so it is recommended considering them when forecasting the condition of non-rigid pavement.

The **fourth section** gives recommendations for substantiation of the required modulus of elasticity of non-rigid pavement, taking into account the roughness of coverage. The stress-strain state of the construction of non-rigid pavement with the use of different load dynamic factors is simulated. The results of modeling the stress-strain state of the structure of non-rigid pavement show that the tensile strength of asphalt concrete layers is the most “sensitive” to dynamic loads. The limit value of the dynamic factor under the condition of the admissible disturbance ratio is established.

The paper proposes a method for determining the required modulus of elasticity of non-rigid pavement by the criterion of marginal roughness of coverage by iterations, based on a model for predicting the roughness of coverage for the last year of operation of non-rigid pavement before overhaul. To simplify the calculations, a nomogram and the procedure for determining the required modulus of elasticity of the non-rigid pavement structure by the criterion of marginal roughness of coverage using a nomogram are developed.

Keywords: non-rigid pavement, longitudinal roughness of coverage, model of roughness change, required modulus of elasticity.