

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

САРКІСЯН ГОР САРКІСОВИЧ

УДК 625.7/8

ДИСЕРТАЦІЯ

ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТРІБНОЇ МІЦНОСТІ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ЗА КРИТЕРІЄМ ГРАНИЧНОЇ РІВНОСТІ

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Г.С. Саркісян

Науковий керівник –
Ряпухін Віталій Миколайович
кандидат технічних наук, доцент

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02

_____ О. Ю. Усиченко

Харків – 2021

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.

Збільшення швидкості руху, вантажопідйомності та частки великовагових транспортних засобів у транспортному потоці в останні роки призвело до зростання величини навантаження на дорожній одяг та збільшення кількості прикладань навантаження. Існуюча мережа автомобільних доріг була запроектована за методиками, які не були розраховані на такі параметри навантаження. У зв'язку з цим транспортно-експлуатаційний стан покриття більшості доріг призводить до потреби завчасного ремонту. Тому задача з приведення до відповідності моделей, методів та критеріїв розрахунку нежорсткого дорожнього одягу є надзвичайно актуальною і практично важливою.

У першому розділі дисертаційної роботи наведено критичний аналіз та узагальнення існуючих методів і моделей розрахунку нежорсткого дорожнього одягу за критеріями міцності та аналіз методів врахування рівності покриття. Проаналізовано відповідні теоретичні та експериментальні дослідження щодо взаємодії пневматичного або жорсткого колеса з покриттям. Згідно проведеного аналізу з'ясовано, 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. Також встановлено, що більшість існуючих моделей взаємодії колеса транспортного засобу з покриттям були розроблені для різних завдань механіки дорожнього одягу або теорії автомобіля, тому не можуть бути однозначно застосовані для визначення величини коефіцієнта динамічності навантаження. Суттєвим недоліком існуючих рішень є недостатнє врахування деформативних властивостей (модуля пружності) дорожнього одягу.

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

У другому розділі дисертації наведено удосконалену модель взаємодії транспортного навантаження та дорожнього одягу з урахуванням рівності покриття. За результатами аналізу існуючих підходів до врахування впливу коліс транспортних засобів на конструкцію дорожнього одягу при подоланні нерівностей дорожнього покриття, розроблено розрахункову схему щодо визначення коефіцієнту динамічності. Схема визначення коефіцієнту динамічності дозволяє врахувати додаткове навантаження на дорожній одяг, яке виникає при взаємодії колеса та нерівності покриття. За літературними і експериментальними даними профілів покриття автомобільних доріг з урахуванням характеру впливу навантаження на покриття були виокремлені дві основні форми нерівностей для визначення коефіцієнту динамічності. Перша форма нерівності представляє собою увігнуту криву. Додаткове навантаження на дорожній одяг при такій формі нерівності дорівнюватиме відцентровій силі, що з'являється внаслідок руху колеса по криволінійній траєкторії, яка описує нерівність покриття. Друга форма нерівності представляє собою нерівність у вигляді западини. Визначення коефіцієнту динамічності навантаження при подоланні нерівності такої форми полягає у визначенні точки динамічного удару та висоти «падіння» центру мас колеса шляхом вирішення системи

рівнянь, які описують траєкторію руху центру мас колеса транспортного засобу і форму нерівності покриття. Модель розрахунку коефіцієнту динамічності побудована із застосуванням енергетичного підходу, якій враховує енергію деформування колеса, дорожнього одягу та енергію «падіння» колеса. Вперше враховано коефіцієнт приведення маси системи «транспортний засіб – дорожній одяг» до точки удару при розрахунку коефіцієнту динамічності навантаження на нежорсткий дорожній одяг.

Запропоновано 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.

За результатами аналізу існуючих моделей та методів прогнозування рівності покриття:

- обґрунтовано 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, погоднокліматичні умови;

- визначено вагомість параметрів моделі прогнозування рівності покриття, серед яких найбільшу вагомість має 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).

Удосконалено модель зміни 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 експлуатації дорожнього одягу; частка вантажних автомобілів у транспортному потоці; коефіцієнт запасу міцності конструкції дорожнього одягу.

Адекватність розробленої моделі зміни 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. Коефіцієнт кореляції Пірсона між експериментальними та розрахунковими даними 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 прогнозні значення рівності на строк експлуатації нежорсткого дорожнього одягу понад 5 років.

У третьому розділі наведено експериментальні дослідження рівності покриття та аналіз впливу рівності на розрахункове навантаження.

За результатами експериментальних досліджень з вимірювання мікропрофілю покриття на автомобільних дорогах загального користування методом нівелювання та наступної 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 %;

- 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.

За розробленою методикою визначено величину коефіцієнтів динамічності за параметрами мікропрофілю покриття (з кроком 0,25 м) на досліджуваних ділянках, що дозволило встановити зв'язок між показником рівності покриття і коефіцієнтом динамічності (коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,862$). Зв'язок між рівністю покриття і коефіцієнтом динамічності за шкалою Чеддока характеризується як високий (R^2 від 0,7915 до 0,9316), що свідчить про можливість визначати для ділянок дороги зі середньою рівністю за різної ймовірності очікуваний коефіцієнт динамічності.

За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено, що навіть на ділянках довжиною 100 м, показник рівності яких відповідає нормативним вимогам, існує вірогідність наявності ділянок довжиною 10 м, на яких коефіцієнт динамічності перевищує 1,3. Ділянки з такими нерівностями є потенційно небезпечними, тому їх рекомендується враховувати під час прогнозування стану нежорсткого дорожнього одягу. Експериментальні дослідження дозволили підтвердити теоретичні положення другого розділу дисертації та довести адекватність розроблених моделей: прогнозування рівності покриття; визначення коефіцієнту динамічності; прогнозування величини коефіцієнту динамічності на ділянках за величиною середньої рівності за різної ймовірності.

У четвертому розділі наведено рекомендації з обґрунтування потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням рівності покриття. Проведено моделювання напружено-деформованого стану конструкції нежорсткого дорожнього одягу із використанням різних

коефіцієнтів динамічності навантаження.

За результатами моделювання напружено-деформованого стану конструкції нежорсткого дорожнього одягу встановлено, що найбільш «чутливою» до динамічних навантажень є міцність асфальтобетонних шарів на розтяг при згині. Встановлено граничне значення коефіцієнта динамічності за умови допустимого коефіцієнта руйнування. Для II категорії автомобільної дороги граничне значення коефіцієнта динамічності дорівнює 1,7.

Розроблено методику визначення потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття методом ітерацій, основу якої складає модель прогнозування рівності покриття на останній рік експлуатації нежорсткого дорожнього одягу перед капітальним ремонтом. Для спрощення розрахунків розроблено номограму, та порядок визначення потрібного модуля пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття за допомогою номограм.

Результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію на автомобільних дорогах Харківської області та впроваджені у нормативні документи Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор»: Альбом типових конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на дорогах I-II категорій на навантаження 130 кН; Методичні рекомендації з проектування нежорсткого дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи A1.

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

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати 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, ХОТВ АБУ. 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., Ряпухин 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.

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 increase in speed, load capacity and the share of heavy vehicles in the traffic flow in recent years has led to an increase in the load on the pavement and an increase in the number of load applications. The existing road network was designed according to the methods that were not suitable for such load parameters. Due to this factor, the transport and operational condition of the pavement of most roads leads to the need for early repairs. Therefore, the task of aligning the models, methods and criteria for calculating non-rigid pavement is extremely relevant and practically important.

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.

Theoretical and experimental studies have created a theoretical foundation for the development of methods to substantiate the required strength of non-rigid pavement, which provides regulatory roughness of coverage for the last year of operation before overhaul.

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. According to the literature and experimental data of road pavement profiles, given the nature of the impact of the load on the pavement, two main forms of unevenness are identified to determine the dynamic factor. The first form of unevenness is a concave curve. The additional load on the pavement with this form of unevenness will be equal to the centrifugal force that appears due to the movement of the wheel on a curved trajectory tracing out the unevenness of the pavement. The second form of unevenness is an unevenness in the form of surface depression. The load dynamic factor in overcoming the roughness of this shape is determined through the point of dynamic impact and the height of “fall” of the center of mass of the wheel by solving a system of equations describing the trajectory of the center of mass of the vehicle wheel and the shape of unevenness. 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 procedure for calculating the factor of bringing the mass of the “vehicle – pavement” system to the point of impact, the basis of which are as follows:

- solution of the problem of calculating the pressures transmitted by the layers of pavement when affected by transport load;
- determination of the radii of the deformation zone in the plan for monolithic layers of the pavement structure, layers of discrete materials and the ground active zone;

- involvement of the theory of dynamic loading of layered systems to determine the factor of bringing the mass of the “vehicle – pavement” system to the point of impact.

According to the results of the analysis of existing models and methods of forecasting the roughness of coverage:

- the factors influencing the change of pavement roughness during its service life are substantiated, among which the most influential are: pavement construction, its strength and deformability, intensity and composition of traffic flow, initial roughness, presence and magnitude of pavement irregularities, pavement service life, weather and climatic conditions;

- the weight of the parameters of the coverage roughness forecasting model is determined, among which the initial roughness has the greatest weight (0.980); traffic intensity and service life (from 0.54 to 0.55); the factor of safety margin for the allowable elastic deflection (0.467); the total equivalent modulus of elasticity (from 0.4 to 0.54).

The model of change of coverage roughness, where increase in the roughness index over time is considered as a function of such parameters, is improved: the modulus of pavement elasticity (actual or required); the number of load cycles for t years of pavement operation; the share of trucks in the traffic flow; the factor of safety margin of the pavement structure.

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.

Compared to the well-known models of forecasting coverage roughness, the improved model allows to apply a wider range of values of the general equivalent modulus of elasticity of pavement design (from 100 MPa to 600 MPa) and to receive forecast values of roughness for service life of non-rigid pavement over 5 years.

The **third section** reveals experimental studies of coverage roughness and analysis of the impact of roughness on the design load.

According to the results of experimental studies on the measurement of the microprofile of the pavement on public roads by the leveling method and subsequent processing of the results using the filtration method:

- filtering the results of leveling with a wavelength of 10 m allows to determine the roughness of coverage in areas from 200 m to 1000 m with a relative error of up to 5 %;
- the standard deviation of the level of coverage of more than 8 % on sections with a length of 10 m relative to the values of roughness of coverage, set on sections with a length of 200 m, indicates the presence of areas that do not meet regulatory requirements for roughness and can be considered as a source of destruction;
- the indicator of roughness of coverage in the area of 200 m and in the area of 10 m there has a relationship described by the exponential dependence (correlation coefficient 0.866), which allows to determine the probability of the presence of 10 m zones within the 200 m area where the roughness of coverage exceeds the limit values.

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 (correlation coefficient $R^2 = 0.862$). The relationship between the roughness of coverage and the dynamic factor on the Chaddock's scale is characterized as high (R^2 from 0.7915 to 0.9316), 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.

Experimental researches allow to confirm theoretical positions of the second section of the thesis and to prove adequacy of the developed models: forecasting of coverage roughness; determination of the dynamic factor; forecasting of the value of the dynamic factor in the areas by the value of the average roughness at different probabilities.

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. For the second category of the highway, the limit value of the dynamic factor is equal to 1.7.

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.

The results of the thesis research have been tested on the roads of Kharkiv region and introduced into the regulations of the State Agency of Motor Roads of Ukraine “Ukravtodor”: Album of non-rigid pavement standard structures on roads of categories I-II for loads of 130 kN; Methodical recommendations for the design of non-rigid pavement for the design load of group A1.

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

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати 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, ХОТВ АБУ. 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.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З УРАХУВАННЯМ РІВНОСТІ ПОКРИТТЯ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	26
1.1 Критерії розрахунку нежорсткого дорожнього одягу.....	26
1.2 Моделі оцінки та прогнозування міцності конструкції дорожнього одягу та рівності покриття.....	32
1.3 Моделі взаємодії транспортного навантаження і дорожнього покриття.....	49
1.4 Вплив динамічного транспортного навантаження на нежорсткий дорожній одяг.....	64
1.5 Висновки до розділу. Цілі і завдання дослідження.....	71
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ ТРАНСПОРТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З УРАХУВАННЯМ РІВНОСТІ ПОКРИТТЯ.....	74
2.1 Удосконалена модель визначення коефіцієнта динамічності транспортного навантаження з урахуванням рівності покриття.....	74
2.2 Розрахунок коефіцієнта приведення маси системи до точки удару.....	82
2.3 Обґрунтування параметрів моделі прогнозування рівності покриття.....	90
2.4 Удосконалена модель прогнозування рівності покриття.....	102
2.5 Апробація і оцінка достовірності аналітичної моделі зміни рівності покриття.....	109
2.6 Висновки до розділу.....	123
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНОСТІ ПОКРИТТЯ ТА АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІВНОСТІ НА РОЗРАХУНКОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ.....	126

3.1	Польові вимірювання рівності покриття.....	126
3.2	Аналіз результатів вимірювання рівності покриття.....	129
3.3	Аналіз впливу рівності покриття при визначенні навантаження на нежорсткий дорожній одяг.....	139
3.4	Висновки до розділу.....	150
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....		
4.1	Обґрунтування граничного значення коефіцієнта динамічності...	153
4.2	Порядок визначення динамічного розрахункового навантаження з урахуванням рівності покриття.....	166
4.3	Методика визначення потрібного модуля пружності з нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття.....	167
4.4	Висновки до розділу.....	175
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....		177
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		181
ДОДАТОК А РОЗРАХУНОК ПЕРСПЕКТИВНОГО ПОКАЗНИКА РІВНОСТІ IRI.....		198
ДОДАТОК Б РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ РІВНОСТІ ПОКРИТТЯ.....		216
ДОДАТОК В ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....		282

ВСТУП

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 автомобільної дороги 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 A_1 » (№ 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.

Основа 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, який, 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, який, 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, авторів належать:

- аналіз моделей змінювання рівності покриття у часі та моделей взаємодії пневматичного колеса і нерівностей покриття [1, 2];
- розроблення удосконаленої моделі взаємодії пневматичних коліс транспортних засобів з покриттям нежорсткого дорожнього одягу, що враховує рівність покриття [2-4];
- 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 [2-3, 5-6];
- встановлення зв'язку між показником рівності покриття на ділянці та середнім коефіцієнтом динамічності [5, 7-9];
- моделювання напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу з метою визначення гранично допустимого значення коефіцієнта динамічності [10-11];
- розроблення практичних рекомендацій з визначення коефіцієнта динамічності, перспективного показника рівності покриття та призначення

потрібного загального модуля пружності дорожнього одягу за критерієм граничної рівності [5-7].

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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З УРАХУВАННЯМ РІВНОСТІ ПОКРИТТЯ.

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Критерії розрахунку нежорсткого дорожнього одягу

Історично основу більшості існуючих методів проектування нежорсткого дорожнього одягу створюють результати багаторічних спостережень за змінюванням показників транспортно-експлуатаційного стану дорожнього одягу у процесі експлуатації. Основні положення розрахунку нежорсткого дорожнього одягу сформульовано у дослідженнях В. Ф. Бабкова [12], О. Т. Батракова [13], О. К. Біруля [14-15], М. М. Іванова [16], Я. А. Калужького [17], М. Б. Корсунського [18], А. М. Кривисського [20], Р. М. Рапопорта [21], П. І. Теляєва [22] та ін.

На першому етапі розвитку методів розрахунку нежорсткого дорожнього одягу, що базувалися на емпіричному підході, міцність і несуча здатність конструкції визначалися загальними критеріями пружного прогину або несучою здатністю ґрунту. При цьому шарувата система замінювалась еквівалентним шаром, а вертикальні напруження і переміщення визначалися по вісі діючого навантаження. Процеси, які не мали теоретичного обґрунтування, враховувалися за допомогою емпіричних коефіцієнтів, що значно ускладнювало розрахунки. З початку 80-х років отримав розвитку механіко-емпіричний підхід до розрахунку нежорсткого дорожнього одягу, що передбачав аналіз напружень, деформацій, прогинів з метою оцінювання граничного стану конструкції нежорсткого дорожнього одягу за критеріями втомного тріщиноутворення у шарах з монолітних матеріалів і пластичних деформацій у ґрунтах земляного полотна. Прогнозування терміну служби дорожнього покриття здійснюється згідно із законом втомного руйнування, що зв'язує горизонтальну розтягувальну деформацію на нижній границі пакету

асфальтобетонних шарів з кількістю циклів до руйнування. Стійкість конструкції до пластичних деформацій, що є наслідком деформацій ґрунтової основи, контролюється з залученням залежностей, які пов'язують вертикальну деформацію стиску у верхній частині ґрунтової основи з кількістю циклів прикладання розрахункового навантаження до утворення колії певної глибини.

Значний обсяг досліджень щодо розроблення методу розрахунку конструкції нежорсткого дорожнього одягу за величиною нормативного пружного прогину проведений у МАДІ, ХАДІ та філіалах СоюздорНДІ. За результатами досліджень, теоретичний фундамент яких створили роботи Д. М. Бурмістера [23], Б. І. Когана [24], М. Б. Корсунського [25], Р. М. Рапопорта [21], отримані розрахункові номограми щодо розрахунку напружень у шарах конструкції нежорсткого дорожнього одягу, які майже у первинному вигляді застосовуються у нормативних документах щодо проектування нежорсткого дорожнього одягу. Значний вклад у розроблення методів розрахунку нежорсткого дорожнього одягу за умовою місцевої граничної рівноваги внесений Ленінградським філіалом СоюздорНДІ, МАДІ і ХАДІ. За результатами досліджень розроблено розрахунковий метод визначення максимальних активних напружень зсуву за різних умов зчеплення на контакті шарів покриття з монолітних матеріалів [24], метод конструювання нежорсткого дорожнього одягу за принципом поступового зменшення або збільшення модуля пружності шарів конструкції за експоненціальною залежністю [14-15].

Перелічені методи ґрунтуються на теорії пружності шаруватих систем (конструкція працює у стадії зворотних деформацій) з оцінкою граничних станів дорожньої конструкції.

Перші зарубіжні методи проектування дорожнього одягу передбачали проектування дорожнього одягу за критерієм міцності на зсув у шарах основи – California Bearing Ratio (CBR) [26]. Але із зростанням інтенсивності руху виникла необхідність в оцінюванні експлуатаційних характеристик покриття (деформації і руйнування), які пришвидшують руйнування дорожнього одягу.

Тому у 1960-х роках у США був проведений масштабний експеримент з випробувань конструкцій дорожнього одягу (AASHTO) [27-28] за результатами якого запропонований метод AASHTO, що враховує залежність між кількістю циклів навантаження та несучою здатністю конструкції дорожнього одягу, її експлуатаційними показниками. Разом з тим, норми проектування AASHTO передбачають, що основа з укріплених або зернистих матеріалів зберігає повну міцність, яка не зменшується при розрахунках фактичного структурного числа, що істотно обмежує можливості метода у частині прогнозування експлуатаційного стану конструкції нежорсткого дорожнього одягу.

Застосування матеріалів, укріплених органічним в'язким, та зростання навантаження на дорожній одяг вимагало розроблення нових критеріїв проектування, які мали враховувати тріщиноутворення та пластичні деформації у шарах з монолітних матеріалів. Метод, розроблений Дормоном і Едвардсом [29], метод Шука і Фінна [30] і метод Інституту асфальту (США) [28] дозволяють врахувати втомне руйнування та стійкість шарів з асфальтобетону до утворення колії, але передбачають використання початкових властивостей матеріалів для прогнозування терміну служби дорожніх покриттів, що істотно знижує точність прогнозування. Для прогнозування несучої здатності дорожнього покриття, заснованого на механічних властивостях асфальтобетону та моделях руйнування, необхідно використовувати моделі, що ґрунтуються на лінійному пружному аналізі. Тому британською Дорожньою науково-дослідною лабораторією (RRL) [31], а також Центральною лабораторією шляхів сполучення Франції були розроблені моделі аналізу напружено-деформованого стану двошарових та тришарових конструкцій під навантаженням, що спираються на теоретичні рішення Д. М. Бурмістера.

На теперішній час у США застосовується метод розрахунку дорожнього одягу, що полягає у поєднанні системи Суперпейв (Superior Performing Asphalt Pavement System – Superpave) з методом розрахунку дорожнього одягу за критеріями міцності відповідно до Mechanistic-empirical Pavement Design Guide

(MEPDG) [32]. Метод дозволяє кількісно прогнозувати стан асфальтобетонного покриття для заданих умов експлуатації за глибиною колії, кількістю втомних і низькотемпературних тріщин, але має обмеження, що стосуються оцінювання взаємного впливу втомних тріщин на утворенні колії, а також залишкових деформацій в асфальтобетонному покритті на втомне тріщиноутворення.

За сучасним стандартом Німеччини [33] конструкція дорожнього одягу призначається за типовими проектними рішеннями залежно від сумарної розрахунковій кількості прикладень розрахункового навантаження за строк експлуатації.

Згідно з нормативними документами України [34] та інших країн [35, 36] нежорсткий дорожній одяг розраховують за трьома критеріями міцності:

- пружним прогином конструкції дорожнього одягу;
- опором шарів з монолітних матеріалів розтягу при згині;
- опором зсуву в ґрунті земляного полотна та шарах з незв'язних або малозв'язних матеріалів.

У стандарті Республіки Білорусь ТКП 45-3.3-3 [36] додатково введений критерій розрахунку міцності на зсув у асфальтобетонних шарах покриття. Розрахунок передбачає визначення дотичних та нормальних напружень окремо для верхнього та нижніх шарів асфальтобетонного покриття в залежності від їх модулів пружності. Цей спосіб є достовірним і простим у використанні.

Згідно з нормативними документами [34-36] розрахунок за критерієм допустимого пружного прогину є основним, за яким визначається потрібний модуль пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу. Для дорожнього одягу капітального типу, що призначений для руху важких транспортних засобів, навантаження на вісь яких перевищує 115 кН, розрахунок за критерієм допустимого пружного прогину проводиться на етапі обґрунтування конструкції з подальшим розрахунком за критеріями опору зсуву в ґрунтах земляного полотна і шарах з малозв'язних матеріалів і опору шарів з монолітних матеріалів при згині. Але у більшості зарубіжних країн відмовились від розрахунку конструкції нежорсткого дорожнього одягу за критерієм

допустимого пружного прогину, оскільки достовірність результатів вимірювань пружного прогину істотно залежить від показників рівності покриття. Без урахування показників рівності даний критерій не дозволяє оцінити величину динамічного навантаження на дорожній одяг.

Досвід експлуатації автомобільних доріг доводить, що під дією транспортних навантажень та природно-кліматичних факторів дорожня конструкція накопичує залишкові деформації, що призводить до погіршення рівності та зниження транспортно-експлуатаційних якостей автомобільної дороги. Тому останнім часом наукові дослідження спрямовані на розроблення методів розрахунку дорожнього одягу за критеріями рівності [37].

Розуміння недосконалості критеріїв розрахунку нежорсткого дорожнього одягу стимулювало розроблення нових критеріїв та методів розрахунку [38-41], що опосередковано враховують вимогу забезпечення допустимої рівності покриття протягом строку служби до капітального ремонту. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами [42], що розроблена проф. В. В. Мозговим, проф. А. М. Онищенко, дозволяє визначити потрібну міцність зчеплення асфальтобетонних шарів під дією горизонтальних і вертикальних зусиль для різних режимів руху транспортних засобів. Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість [38] передбачає, що асфальтобетон проявляє в'язкі властивості як на стадії пружного так і пластичного деформування.

У ГБН В.2.3-37641918-559 [34] рівність покриття характеризується рівнем надійності, що відображає ймовірність безвідмовної роботи конструкції протягом строку служби між капітальними ремонтами. В ОДН 218.046 [35] рівність покриття враховується за допомогою граничного коефіцієнту руйнування, що є кількісним показником відмови дорожнього одягу. Цей коефіцієнт являє собою відношення сумарної довжини (площі) ділянок дороги, що потребують ремонту через недостатню міцність дорожнього одягу, до загальної довжини (площі) дороги. Для кожного коефіцієнту руйнування визначено рівні надійності залежно від категорії автомобільної дороги. У

ТКП 45-3.03-3 [36] рівність покриття враховується у розрахунку за допустимим рівнем пошкоджуваності від транспортного навантаження і погодно-кліматичних умов. Отже розроблено значну кількість критеріїв оцінювання міцності нежорсткого дорожнього одягу, що застосовуються у проектах нового будівництва.

Разом з тим, проектування підсилення і реконструкції нежорсткого дорожнього одягу [34-36, 43-46] спирається виключно на коефіцієнті запасу міцності за допустимим пружним прогином, який приймається як основний критерій міцності. При проектуванні посилення [34-36, 47-50] рекомендується враховувати рівність покриття опосередковано через допустимий рівень руйнувань (відмов), що визначається за формулою:

$$P = 1 - K_n, \quad (1.1)$$

де P – відмова, частки одиниць;

K_n – коефіцієнт надійності дорожнього одягу, частки одиниць.

Науковими дослідженнями [47, 51-58] доведено, що передчасне руйнування дорожнього одягу відбувається не тільки через невідповідність критерію міцності за допустимим пружним прогином. Надійність і довговічність дорожнього одягу у проектах ремонту і реконструкції можуть бути забезпечені тільки за умови забезпечення міцності конструкції за всіма граничними станами. Обмеженість критеріїв проектування посилення конструкції дорожнього одягу пояснюється:

– можливістю експериментального визначення єдиного показника, що характеризує стан конструкції нежорсткого дорожнього одягу, - прогину покриття дорожнього одягу під навантаженням, який за своєю фізичною природою є відновлюваним прогином та не характеризує пружну деформативну здатність конструкції на ділянках з деформаціями та руйнуваннями [45-47, 57, 59];

– неможливістю експериментального визначення показників, що

характеризують міцність конструкції на зсув у ґрунтах земляного полотна і шарах з незв'язних або малозв'язних матеріалів, міцність шарів з монолітних матеріалів на розтяг при згині, вони визначаються розрахунком за рішеннями теорії пружності;

– відсутністю достовірних даних про фізико-механічні характеристики матеріалів шарів конструкції дорожнього одягу, оскільки у процесі експлуатації виникають пластичні деформації ґрунтів земляного полотна [55-58] і температурні деформації шарів з асфальтобетону як в'язкопружного матеріалу [38, 57, 60-61], знижується розподільча здатність монолітних шарів покриття та здатність чинити опір дії напружень розтягу при згині.

1.2 Моделі оцінки та прогнозування міцності конструкції дорожнього одягу та рівності покриття

З метою удосконалення розрахунку дорожніх конструкцій з врахуванням рівності покриття проведено багато досліджень, до яких належать роботи А. С. Александрова [62-66], О. К. Біруля [14-15], Д. С. Беляєва [67], Ю. В. Буртиля [68, 69], І. П. Гамеляка [40, 41], В. М. Герцога [37, 70, 71], М. Я. Говорущенка [72], М. Г. Горячева [73], В. Ф. Демішкана [74], Г. В. Долгих [37], А. В. Едельмана [75], С. К. Іліополова [76], Є. В. Жустаревої [77], В. Д. Казарновського [78], С. Ю. Канигіної [79], С. С. Кизими [80-81], М. С. Коганзона [82], А. В. Кочеткова [67], М. В. Кузіна [83], І. І. Леоновича [68-69, 84], З. А. Мавлетдінова [85], В. П. Матуа [86], В. В. Мозгового [58], Я. Я. Новгородського [69], І. В. Нестеровича [84], А. М. Онищенко [61], А. С. Пилипенка [87], Є. Д. Прусенка [74], О. В. Смірнова [62-63, 88], Є. В. Углової [76, 89], В. Б. Фадєєва [90], Д. В. Чірви [91], І. Г. Шашкова [67], Ю. М. Яковлева [92] та ін.

Основними параметрами, що використовуються при побудові моделей прогнозування стану нежорсткого дорожнього одягу, є модуль пружності,

ступінь і швидкість руйнування, рівність покриття. Для отримання вихідних даних використовуються як теоретичні та емпіричні методи, так й методи, що ґрунтуються на результатах польових випробувань.

Історично, починаючи з ВСН 46-83 [93], призначення мінімального потрібного модуля пружності відображає залежність потрібного модуля пружності від добової інтенсивності розрахункового навантаження на останній рік строку експлуатації дорожнього одягу. Залежність, що отримана проф. П. І. Теляєвим на основі даних щодо вертикальних переміщень по осі діючого навантаження, має вигляд [93]:

$$E_{\text{потр}} = 125 + 68(\lg N_p - 1), \quad (1.2)$$

де $E_{\text{потр}}$ – потрібний модуль пружності нежорсткого дорожнього одягу, МПа;

N_p – приведена добова інтенсивність руху для розрахункових автомобілів групи A на останній рік строку експлуатації дорожнього одягу, авт./добу.

З іншого боку, розрахункові формули потрібного модуля пружності конструкції, що наведені в [34-36]:

$$E_{\text{потр}} = 98,65 \left[\lg \left(\sum N_p \right) - c \right], \quad (1.3)$$

$$E_{\text{потр}} = 42,843 \left[\lg \left(\sum N_p \right) - b \right], \quad (1.4)$$

де c , b – емпіричні коефіцієнти, величина яких приймається залежно від групи навантаження відповідно до [43].

Залежності (1.3) та (1.4) отримані проф. М. С. Коганзоном з умови, що величина потрібного модуля пружності дорожньої конструкції повинна бути такою, щоб до кінця строку експлуатації фактична рівність покриття не перевищувала гранично допустимих значень [82]. Тобто в основу даних залежностей покладено різні, хоча й взаємопов'язані, показники стану конструкції.

Формула (1.3) отримана як результат математичного перетворення залежностей [69]:

– для автомобільних доріг I категорії:

$$E_{\text{потр}} = 0,643 \cdot K_p \cdot K_0 \cdot \alpha^{1,225} \cdot (N_p)^{0,07109+0,3902 \cdot \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{0,42}}; \quad (1.5)$$

– для автомобільних доріг II категорії:

$$E_{\text{потр}} = 0,654 \cdot K_p \cdot K_0 \cdot \alpha^{1,225} \cdot (N_p)^{0,0765+0,4108 \cdot \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{0,48}}; \quad (1.6)$$

– для автомобільних доріг III – IV категорій:

$$E_{\text{потр}} = 0,736 \cdot K_p \cdot K_0 \cdot \alpha^{1,225} \cdot (N_p)^{0,0752+0,4128 \cdot \left(\frac{1}{\alpha}\right)^{0,42}}, \quad (1.7)$$

де K_p – коефіцієнт, що враховує характер руху автомобіля, визначається за формулою (1.8):

$$K_p = 0,87 + 0,052 \cdot (\lg(N_p) - 1), \quad (1.8)$$

K_0 – поправочний коефіцієнт, що враховує тип дорожнього одягу (для капітального типу – $K_0 = 1,0$; для полегшеного – $K_0 = 0,9$; для перехідного – $K_0 = 0,67$);

α – співвідношення показників кінцевої і початкової рівності дорожнього одягу, що відповідає зниженню максимальної швидкості руху одиночного легкового автомобіля на 25 % у порівнянні з розрахунковою швидкістю ($\alpha = 1,82$).

У роботі [69] проф. І. І. Леонович наводить залежність потрібного модуля

пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу від рівності покриття:

$$E_{\text{потр}} = \left(\frac{A \cdot 10^{11} \cdot N}{\ln \left(\frac{IRI_{\text{гр}}}{IRI_{\text{п}}} \right)} \right)^{1/6,28}, \quad (1.9)$$

де A – параметр (для I категорії – 13,0; для II категорії – 10,0; для III категорії – 7,0; для IV категорії – 5,0);

N – кількість прикладань розрахункового навантаження за строк експлуатації, тис. од.;

$IRI_{\text{гр}}$, $IRI_{\text{п}}$ – відповідно гранично допустима і початкова рівність покриття, що приймаються: $IRI_{\text{гр}}$ для I категорії – 4,44 м/км; для II категорії – 5,44 м/км; для III категорії – 6,18 м/км; для IV категорії 6,64 м/км, для V категорії – 7,81 м/км; – 2,0 м/км.

Модель прогнозування зміни рівності покриття у часі, що отримана в [94] для випадку відсутності початкової інформації про руйнування, має вигляд:

$$RI_t = 1,04 \cdot e^{mt} \cdot \left[RI_0 + 263 \cdot (1 + SNC)^{-5} \cdot NE_t \right], \quad (1.10)$$

де RI_t – рівність покриття за показником IRI через (t) років, м/км;

m – коефіцієнт, що враховує вплив навколишнього середовища;

t – строк експлуатації після останнього капітального ремонту дороги, років;

RI_0 – початкова рівність покриття за показником IRI, м/км;

SNC – модифіковане структурне число покриття;

NE_t – число прикладання еквівалентного навантаження стандартної осі за період (t) , мільйонів осей на смугу.

Застосування таких відносно простих формул передбачає завдання емпіричних коефіцієнтів. Значення цих коефіцієнтів будуть відрізнятися для

різних умов експлуатації, матеріалів, кліматичних умов і вважати їх постійними для всіх можливих ситуацій не можна.

Професором А. П. Васильєвим запропоновано методику прогнозування стану автомобільних доріг, яка спирається на закономірності зміни міцності дорожнього одягу і рівності покриття протягом строку експлуатації. Для модуля пружності дорожнього одягу залежність має вигляд [92]:

$$E_{\text{загт}} = A + B \cdot (\lg a_t \cdot N_p - 1), \quad (1.11)$$

де $E_{\text{загт}}$ – загальний модуль пружності дорожнього одягу через t років, МПа;

A, B – параметри, що залежать від типу дорожнього одягу і розрахункового навантаження, МПа;

a_t – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує вплив часу на величину $E_{\text{загт}}$;

N_p – добова інтенсивність руху, приведена до розрахункового навантаження, на яку розрахована дорожній одяг, авт./добу.

При прогнозуванні модуля пружності метод спирається тільки на кількість прикладень навантаження, не враховує кліматичні, ґрунтово-геологічні та гідрологічні умови роботи дорожнього одягу. Разом з тим метод з успіхом може бути застосований для орієнтовної оцінки зміни стану конструкції дорожнього одягу за строк експлуатації (t).

У дослідницькому центрі Бельгії запропоновано залежність з визначення загальної кількості проходів еквівалентного осьового навантаження за строк експлуатації автомобільної дороги [95]:

$$N = \frac{2,46 \cdot 10^{12}}{l} \cdot f(z), \quad (1.12)$$

де N – загальна кількість проходів еквівалентного осьового навантаження, авт.;

l – величина граничного прогину під навантаженням 80 кН, мм;

z – стан покриття;

$f(z)$ – залежність, що враховує стан покриття.

Метод дозволяє врахувати імовірнісну природу процесу руйнування покриття, що описується нормальним законом розподілу.

У Нідерландах А. Моленаром розроблена модель, яка характеризує стан дорожнього одягу з позицій теорії ймовірності. Згідно з моделлю середню кількість повторень навантаження до руйнування для заданого рівня надійності (P) визначають за формулою [95]:

$$\lg N = a_0 + a_1 \cdot b_0 + a_1 \cdot b_1 \cdot \lg h_e - u \cdot \sigma_{\lg N}, \quad (1.13)$$

де N – середня кількість повторень навантаження до руйнування, од.;

a_0, a_1, b_0, b_1 – постійні, які визначаються із залежностей в томи;

h_e – еквівалентна товщина дорожнього одягу, м;

u – нормоване відхилення, пов'язане з імовірністю (P);

$\sigma_{\lg N}$ – середньоквадратичне відхилення логарифма очікуваної кількості прикладань розрахункового навантаження до руйнування.

Викладений метод прогнозування працездатності дорожнього одягу має теоретичний характер і не враховує реального стану конструкції.

Найбільш перспективним у частині прогнозування стану конструкції нежорсткого дорожнього одягу визнаний механіко-емпіричний підхід [96-97], який реалізується у два етапи:

- оцінки поточного стану автомобільних доріг;
- прогнозування руйнування.

У рамках такого підходу в роботі В. Ф. Демішкана [74] розглянуто чотири етапи змінювання міцності дорожнього одягу. Зокрема, найбільш тривалий перший етап (залежність близька до лінійної) рекомендується описувати наступною формулою [74]:

$$K_{\text{мц}}(t) \Big|_{0 < t < t_i} = K_{\text{мц}}(0) \cdot (1 - \gamma \cdot t), \quad (1.14)$$

де $K_{\text{мц}}(t)$ – коефіцієнт запасу міцності дорожньої конструкції в момент часу t ;

t_i – строк експлуатації після останнього капітального ремонту дороги, років;
 $K_{\text{мц}}(0)$ – початковий коефіцієнт запасу міцності дорожньої конструкції;
 γ – коефіцієнт, що характеризує швидкість змінювання міцності, $0 < \gamma < 1/t_i$,
де $t_i > 1$.

Тривалість першого етапу визначається якістю проектних і технологічних рішень. Інших етапи характеризуються прискореним зниженням міцності до асимптотичного прагнення до деякого граничного значення, що дорівнює міцності зруйнованого матеріалу шарів дорожнього одягу. Модель має здебільшого якісний характер, що обмежує її практичне застосування.

Основу оцінки транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг, що запропоновано в [74], створюють моделі І. А. Золотаря [98], С. С. Кизими [80-81] і С. І. Андрєєва [99], які спираються на раніше отримані результати О. К. Бируля [14-15, 100]. Однак отримати загальні аналітичні формули для прогнозування стану дорожнього одягу не вдалося. Це пов'язано зі складністю завдань та з обмеженими технічними можливостями інструментальної діагностики.

За результатами подальших досліджень, що присвячені вивченню працездатності дорожнього одягу [101-104], встановлено, що змінювання міцності у різні періоди експлуатації відбувається в кілька етапів і описується залежністю [74]:

$$E_{\text{заг}}^t = A + B \cdot \left(\lg \frac{g^{T+1} - g^t}{g^{T+1} - 1} \cdot N_p - 1 \right), \quad (1.15)$$

де $E_{\text{заг}}^t$ – загальний модуль пружності дорожнього одягу на рік t , МПа;

A – параметр, що визначається типом покриття і групою розрахункового навантаження, МПа;

B – параметр, що характеризує вплив повторюваності навантажень, МПа;

g – показник річного зростання інтенсивності руху;

T – нормативний термін експлуатації дорожнього одягу, років;

t – строк експлуатації після останнього капітального ремонту, років;

N_p – перспективна інтенсивність на останній рік експлуатації покриття, зведена до розрахункового навантаження, авт./добу.

За даними Ю. В. Слободчикова [104] на першому етапі експлуатації відбувається формування конструктивних шарів дорожнього одягу; другий етап характеризується поступовим зниженням міцності; на третьому етапі ($K_{мц} = 0,7$) відбувається інтенсивна втрата міцності конструкції. Отже, конструкція дорожнього одягу зберігає працездатність на перших двох етапах експлуатації. Тому подальші дослідження були спрямовані на встановлення аналітичних залежностей, що описують закономірності змінювання модуля пружності конструкції дорожнього одягу і рівності покриття на другому та третьому етапах експлуатації дорожнього одягу.

Так, у роботі [77] В. Д. Казарновского, І. В. Лейтланда, М. Л. Попова запропонований підхід до оцінки міцності дорожнього одягу за результатами натурних випробувань. Передбачається, що в процесі експлуатації верхні шари дорожнього одягу втрачають «плитний» ефект, тобто не працюють як плита на пружній основі та втрачають розподільчу здатність. Тоді відношення модуля пружності дорожнього одягу на початку експлуатації (плита на пружній основі) ($E_{заг}^0$) до модуля пружності в кінці строку експлуатації ($E_{заг}^T$) може бути записано у вигляді:

$$\frac{E_{заг}^T}{E_{заг}^0} = \frac{\frac{\pi}{2 \cdot E_{осн}} + \left(\frac{1}{E_a \cdot \sqrt[3]{\frac{E_a}{E_{осн}}}} - \frac{1}{E_{осн}} \right) \cdot \arctg\left(\frac{\sqrt{2,5} \cdot h_a}{D}\right) \cdot \sqrt{\frac{E_a}{E_{осн}}}}{\frac{\pi}{2 \cdot E_{осн}} + \left(\frac{1}{E_a} - \frac{1}{E_{осн}} \right) \cdot \arctg\left(\frac{\sqrt{2,5} \cdot h_a}{D}\right)}, \quad (1.16)$$

де $E_{заг}^T$ – модуля пружності дорожнього одягу в кінці строку експлуатації, МПа;

$E_{\text{заг}}^0$ – модуль пружності дорожнього одягу на початку експлуатації, МПа;

$E_{\text{осн}}$ – загальний модуль пружності на поверхні основи, МПа;

E_a – модуль пружності асфальтобетонних шарів, МПа;

h_a – товщина пакета асфальтобетонних шарів, см;

D – діаметр штампа, еквівалентний відбитку колеса розрахункового автомобіля, см.

Згідно з (1.16) відносну втрату міцності конструкції дорожнього одягу у будь якій момент часу пропонується оцінювати залежністю [78]:

$$k = \frac{E_{\text{заг}}^0 - E_{\text{заг}}^t}{E_{\text{заг}}^0 - E_{\text{заг}}^T}. \quad (1.17)$$

де k – відносна втрата міцності конструкції дорожнього одягу в момент часу t ;

$E_{\text{заг}}^t$ – модуль пружності дорожнього одягу в момент часу t , МПа.

Вираз (1.17) дозволяє за відомих значень $\left(\frac{h_a}{D}\right)$ и $\left(\frac{E_a}{E_{\text{осн}}}\right)$ оцінити зміну міцності дорожнього одягу в процесі експлуатації. За результатами досліджень [95] до кінця строку експлуатації модуль пружності дорожнього одягу $\left(E_{\text{заг}}^T\right)$ може знизитися на 58 відсотків.

Професором О. К. Біруля [14, 15] запропоновано модель, що встановлює зв'язок між міцністю дорожнього одягу і рівністю покриття залежно від сумарної маси бруто-тон пропущених автомобілів:

$$N_p = \left(\frac{3,7}{l_{\text{пр}}}\right)^{3,85} \cdot (0,0084 \cdot (S_k - S_{\text{п}}))^{\frac{1}{0,4 + (6,7l_{\text{пр}})^{2,13}}}}, \quad (1.18)$$

де N_p – кількість проходів автомобілів, зведених до розрахункового навантаження на вісь, од.;

$l_{\text{пр}}$ – пружній прогин конструкції дорожнього одягу, см;

S_k, S_n – рівність покриття за поштовхоміром на момент часу (t) і початкове значення рівності покриття відповідно, см/км.

Модель враховує вплив початкової рівності покриття, часу експлуатації автомобільної дороги і міцності дорожнього одягу.

З урахуванням зміни коефіцієнта міцності дорожньої конструкції в [74] запропоновано модель змінювання рівності покриття у часі:

– для асфальтобетонного покриття:

$$S_t = \frac{S_0 \cdot 0,5}{\sqrt[3]{0,12K_{\text{мц}}}} \cdot \exp(0,08 \cdot t); \quad (1.19)$$

– для чорнощобенового покриття:

$$S_t = \frac{S_0 \cdot 0,6}{\sqrt[3]{0,10K_{\text{мц}}}} \cdot \exp(0,09 \cdot t), \quad (1.20)$$

де S_t – значення рівності покриття за поштовхоміром на t -ий рік експлуатації дорожнього одягу, см/км;

S_0 – значення початкової рівності покриття за поштовхоміром, см/км;

t – строк експлуатації після останнього капітального ремонту дороги, років;

$K_{\text{мц}}$ – коефіцієнт міцності дорожнього одягу.

Моделі (1.19, 1.20) отримали подальший розвиток у роботі [105]:

$$S_t = 2,358 \cdot S_0^{0,82} \cdot K_{\text{мц}}^{-0,053} \cdot \exp(0,089 \cdot t), \quad (1.21)$$

де S_t – значення рівності покриття за поштовхоміром на t -ий рік експлуатації дорожнього одягу, см/км;

S_0 – значення початкової рівності покриття за поштовхоміром, см/км;

$K_{\text{мц}}$ – коефіцієнт міцності дорожнього одягу;

t – строк експлуатації після останнього капітального ремонту дороги, років.

За даними досліджень О. А. Красікова [106] встановлено, що величина рівності покриття (S_t) залежить, переважно, від сумарної інтенсивності руху, міцності і однорідності дорожнього одягу, яка характеризується стандартним відхиленням модуля пружності:

$$S_t = S_0 \left[1 + c \cdot E_{\min}^d \cdot N_c(t)^{a \cdot E_{\min}^b} \right], \quad (1.22)$$

де S_t – рівність покриття на момент прогнозування, см/км;

S_0 – початкова рівність покриття, см/км;

$E_{\min}$ – мінімальний модуль пружності дорожнього одягу із заданим рівнем надійності, МПа;

N_c – сумарна інтенсивність, зведена до розрахункового навантаження, авт.;

t – строк експлуатації після останнього капітального ремонту, років;

a, b, c, d – коефіцієнти, що встановлюються експериментально.

За результатами експериментальних досліджень та удосконалення моделі (1.22) встановлено зв'язок рівності покриття нежорсткого дорожнього одягу капітального типу за роками експлуатації за шкалою IRI з мінімальним модулем пружності [107]:

$$IRI_t = IRI_0 \cdot \left\{ 1 + \left[(7,088 \cdot 10^{-6} \cdot E_{\min}^2 - 0,0049 E_{\min} + 0,815) + (0,0394 - 0,000123 \cdot E_{\min}) \cdot k_a \cdot n_p \cdot N_1 \frac{q^t - 1}{q - 1} \right] \right\}, \quad (1.23)$$

де IRI_t – прогнозований рівність дорожнього покриття на момент часу t , м/км;

IRI_0 – початкова рівність дорожнього покриття, м/км;

$E_{\min}$ – мінімальний модуль пружності дорожнього одягу, МПа

k_a – коефіцієнт, що дорівнює $1 \cdot 10^{-6}$;

n_p – кількість днів у році (365 днів);

N_1 – інтенсивність руху на перший рік експлуатації, авт./добу;

q – коефіцієнт зміни інтенсивності руху.

Подібні моделі, що отримані на основі узагальнення результатів обстеження автомобільних доріг в різних регіонах, запропоновані у [108]:

$$IRI_t = IRI_0 + a \cdot \left(\sum N_{\text{ф.од.}} \right)^b, \quad (1.24)$$

де IRI_t – прогнозований рівність дорожнього покриття на момент часу t , м/км;

IRI_0 – початкова рівність дорожнього покриття, м/км;

a, b – емпіричні коефіцієнти моделі;

$\sum N_{\text{ф.од.}}$ – сумарна кількість проходів автомобілів по смузі, для якої виконують прогнозування рівності, млн. авт.

Моделі (1.15-1.24) спираються на зв'язок модуля пружності конструкції дорожнього одягу та рівності покриття з кількістю прикладань розрахункового навантаження за певний строк експлуатації автомобільної дороги та не враховують товщину конструктивних шарів, фізико-механічні характеристики матеріалів шарів дорожнього одягу, погодно-кліматичні фактори тощо. Більш досконалими слід вважати моделі, що враховують усю сукупність перелічених параметрів. Тому у КАДІ під керівництвом проф. С. С. Кизими [80, 81] був проведений великий обсяг досліджень щодо змінювання рівності покриття автомобільних доріг у процесі експлуатації. За результатами досліджень запропоновано математичну модель змінювання рівності покриття автомобільних доріг, яка фактично без змін впроваджена у систему управління станом покриттів (СУСП) Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор» [80, 81]:

$$S_t = S_0 + \alpha \cdot t \cdot \exp(c \cdot t), \quad (1.25)$$

де S_t – рівність покриття на момент прогнозування, см/км;

S_0 – початкова рівність покриття, см/км;

α – комплексний параметр, який враховує властивості конструкції дорожнього одягу та умови її експлуатації;

t – строк експлуатації після останнього капітального ремонту, років;

c – параметр, який залежить від середньорічного відсотка приросту інтенсивності руху на дорозі.

Необхідність врахування властивостей матеріалів шарів конструкції дорожнього одягу та особливостей регіону розташування автомобільної дороги призвела до розроблення багатьох моделей, що мають обмежене застосування, але виявили добрий збіг результатів для визначених моделлю регіональних умов. Так, відповідно до [103], змінювання рівності у часі на ділянках, де зсувні деформації покриття незначні і головною причиною змінювання рівності є зниження загальної міцності дорожнього одягу, може бути встановлено за залежністю [103]:

$$S_t = S_0 + K_s \cdot \left[\frac{p \cdot K_t}{1 + \sqrt{2\pi} \cdot \left(\frac{h_{\text{д.о.}}}{D} \cdot \sqrt{\frac{E_{\text{д.о.т}}}{E_{\text{іп}}}} \right)} + \frac{h_{\text{д.о.}} \cdot \rho \cdot (1 - 3 \sin \varphi) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)}{\cos \varphi} \right] \cdot \frac{\ln(1 + \chi \cdot t_c)}{\eta_0 \cdot \chi}, \quad (1.26)$$

де S_t – рівність покриття на момент прогнозування, см/км;

S_0 – початкова рівність покриття, см/км;

K_s – параметр, що характеризує зв'язок між нагромадженням залишкових деформацій у ґрунті і зміною рівності покриття, см/км;

K_t – безрозмірний коефіцієнт, що враховує збільшення напружень у ґрунті земляного полотна в процесі експлуатації внаслідок зносу і зміни рівності покриття, а також зниження загальної міцності дорожнього одягу;

$h_{\text{д.о.}}$ – загальна товщина дорожнього одягу, см;

D – діаметр відбитку колеса розрахункового автомобіля, м;

$E_{\text{д.о.т}}$ – еквівалентний модуль пружності шарів дорожнього одягу пов'язаний із загальним модулем пружності дорожнього одягу згідно з [34-36];

$E_{\text{гр}}$ – модуль пружності ґрунту земляного полотна, МПа;

ρ – середня щільність матеріалу дорожнього одягу, г/см³;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту земляного полотна, град;

χ – коефіцієнт зміни в'язкості ґрунту, 1/с;

t_c – сумарний час дії транспортного навантаження за період активного накопичення залишкової деформації, с;

η_0 – початковий коефіцієнт в'язкого опору ґрунту, МПа·с.

У роботі [109] за результатами досліджень рівності покриття на автомобільних дорогах Волгоградської області розроблено модель змінювання рівності покриття, що враховує початкову рівність, інтенсивності руху, склад транспортного потоку, вплив природно-кліматичних факторів і рівня утримання покриття:

$$\begin{aligned} IRI_t = 1,41 - 0,0049 \cdot IRI_0 + 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot N_p + 0,554 \cdot t + \\ + 0,0261 \cdot K + 0,0182 \cdot M + 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot Tr, \end{aligned} \quad (1.27)$$

де IRI_t – прогнозований рівність дорожнього покриття на момент часу t , м/км;

IRI_0 – початкова рівність дорожнього покриття, м/км;

N_p – зведена до розрахункового автомобіля інтенсивність руху, авт./добу;

K – рівень впливу зовнішніх погодно-кліматичних факторів, частки од.;

M – рівень утримання покриття автомобільних доріг;

Tr – частка важких транспортних засобів у складі транспортного потоку, %.

За результатами експериментальних досліджень розроблено емпіричні моделі, що зв'язують показники рівності покриття за приладом ПКРС-2У або поштовхоміром ТХК-2 з міцністю дорожнього одягу та її терміном служби.

Запропоновано емпіричні залежності, що зв'язують показання приладів ТХК-2У та ПКРС-2У з прорізами під рейкою, що дозволило обчислити граничні значення нерівностей на поверхні покриття [98]:

$$h_p = \left[\left(\frac{S_{\text{ТХК}}}{3,58} \right)^{\frac{1}{1,042}} - 6,74 \right]^{\frac{1}{1,7}}, \quad (1.28)$$

$$h_p = \left[\left(\frac{S_{\text{ПКРС}} - 294}{10,06} \right)^{\frac{1}{1,042}} - 6,74 \right]^{\frac{1}{1,7}}, \quad (1.29)$$

де h_p – величина просвіту під рейкою, см;

$S_{\text{ТХК}}$ – показник рівності покриття, виміряний за допомогою ТХК-2, см/км;

$S_{\text{ПКРС}}$ – показник рівності покриття, виміряний за допомогою ПКРС-2У, см/км.

Застосування моделей (1.28, 1.29) дозволяє обґрунтувати граничну глибину поздовжніх нерівностей, яка майже не залежить від швидкості руху, оскільки визначення рівності покриття приладами ТХК-2 і ПКРС-2У проводиться з постійною швидкістю, що дорівнює (50 ± 5) км/год. Це є істотним недоліком розглянутої моделі, оскільки швидкість прикладання навантаження істотно впливає на процес змінювання рівності покриття у часі [110-115].

Експериментальними дослідженнями [112] встановлено вплив форми і розміру окремих коротких нерівностей проїзної частини на динаміку руху автомобіля. Відповідно до [112] до збільшення динамічного тиску колеса на покриття призводить зменшення радіусу нерівності, тиску повітря в шинах і швидкості руху автомобіля. В роботі [113] встановлено залежність коефіцієнта динамічності від стану проїжджої частини (дуже гарне, гарне хвилясте, з великими нерівностями) і швидкості руху автомобіля. Багатьма дослідженнями доведено доцільність врахування динамічного впливу транспортного

навантаження на дорожній одяг при вирішенні завдань прогнозування рівності покриття та обґрунтування граничної глибини нерівності [110-111]. Дослідженнями А. С. Александрова [110-111], що ґрунтуються на зв'язку коефіцієнта динамічності з вертикальною швидкістю у точці зіткнення і деформації тіла при статичній дії вантажу, встановлено граничне значення висоти (глибини) нерівності у вигляді [110]:

$$h = \frac{S}{2 \cdot V} \sqrt{g \cdot U \cdot (1 - K_d)^2}, \quad (1.30)$$

де h – висота (глибина) нерівності, м;

S – відстань між нерівностями, м;

V – швидкість руху транспортного засобу, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

U – прогин покриття, м;

K_d – коефіцієнт динамічності навантаження.

Відповідно до [111] визначення динамічного зусилля, що передається колесом автомобіля на покриття, в залежності від величини нерівності визначається за формулою:

$$p = \frac{m_k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_n}}{t \cdot \pi \cdot R^2}, \quad (1.31)$$

де p – тиск від колеса на покриття, МПа;

m_k – маса, яка припадає на колесо автомобіля, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

h_n – висота (глибина) нерівності (амплітуда хвилі), м;

t – час контактного впливу, с;

R – радіус кола рівновеликого площі відбитка колеса, м.

Вирішивши рівняння (1.31) відносно величини нерівності, у роботі [111]

отримано формулу щодо визначення глибини (висоти) нерівності:

$$h_n = \frac{R^4 \cdot p^2 \cdot t^2 \cdot \pi^2}{m_k^2 \cdot 2 \cdot g}, \quad (1.32)$$

де h_n – висота (глибина) нерівності (амплітуда хвилі), м;

R – радіус кола рівновеликого площі відбитка колеса, м;

p – тиск від колеса на покриття, МПа;

t – час контактного впливу, с;

m_k – маса, яка припадає на колесо автомобіля, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

У роботах [62, 63, 88, 115] встановлена залежність допустимої необоротної деформації покриття нежорсткого дорожнього одягу від рівності покриття та модуля пружності конструкції дорожнього одягу:

$$h_{\text{доп}}^{\text{нж}} = \frac{1}{2 \cdot V} \cdot \sqrt{g \cdot S^2 \cdot (K_{\text{д}}^{\text{доп}} - 1) \cdot \frac{p \cdot (1 - \mu_{\text{усер}}^2) \cdot D}{E_{\text{екв осн}}}}, \quad (1.33)$$

де $h_{\text{доп}}^{\text{нж}}$ – допустима необоротна деформація покриттів нежорсткого дорожнього одягу, м;

V – швидкість руху транспортного засобу, м/с .

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

S – відстань між нерівностями, м;

$K_{\text{д}}^{\text{доп}}$ – допустимий динамічний коефіцієнт;

p – розрахунковий питомий тиск колеса на покриття, МПа;

$\mu_{\text{усер}}$ – усереднений коефіцієнт Пуассона дорожнього одягу;

D – діаметр відбитку колеса розрахункового автомобіля, м;

$E_{\text{екв осн}}$ – еквівалентний модуль пружності дорожнього одягу.

Модель (1.33) свідчить про необхідність врахування динамічного впливу

транспортних засобів на дорожній одяг, який змінюється на нерівному покритті та характеризується коефіцієнтом динамічності. Згідно з дослідженнями А. Г. Малофєєва [114] у залежності від величини і кроку нерівностей водії вибирають таку швидкість руху, при якій динамічний вплив характеризується коефіцієнтом динамічності в межах від 1,30 до 1,35. Таке твердження є досить спірним. На думку О. В. Смірнова [115, с. 170], зменшення міцності або зсув у шарах дорожнього одягу призводять поступово до накопичення нерівності на поверхні покриття і зростанню коефіцієнтів динамічності.

Отже, експериментальними дослідженнями доведено існування зв'язку між рівністю покриття, коефіцієнтом динамічності, міцністю дорожнього одягу, що відкриває можливість обґрунтування міцності конструкції нежорсткого дорожнього одягу, яка забезпечує граничну рівність покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом. 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.

1.3 Моделі взаємодії транспортного навантаження і дорожнього покриття

У процесі експлуатації під спільним впливом автомобільного транспорту і природно-кліматичних факторів поверхня дорожнього одягу зношується, стає нерівною через деформації та руйнування. Рух по нерівному покриттю викликає поштовхи і коливання кузова і коліс, удари колеса о нерівності. При цьому виникають змінні за величиною динамічні сили, що діють як на дорожнє покриття, так й на автомобіль. В зв'язку з тим, що нерівності на покритті різняться за походженням, формою і розмірами, необхідно проаналізувати процес взаємодії пневматичного колеса з нерівностями дорожнього покриття.

Міру нерівності покриття визначають за кількістю, розмірами та їх розташуванням. За характером взаємодії колеса автомобіля з дорожнім

покриттям нерівності покриття слід класифікувати як шорсткість, западини і виступи, хвилі і ухили. Завдяки еластичності шини коливальна система автомобіля, практично не реагує на шорсткість покриття (нерівності висотою до 0,5 см). Більш суттєвий вплив виявляють западини і хвилі. Западини характеризуються висотою нерівності від 0,5 см до 8 см, а взаємодія колеса автомобіля з нерівністю даного типу може бути охарактеризована як удар. Хвилі мають амплітуду від 5 см до 8 см і довжину від 5 м до 30 м. При малих швидкостях руху хвилі впливають на рух автомобіля як плавні ухили, а при великій швидкості руху хвилі працюють як уступи або вибоїни.

1.3.1 Модель збільшення динамічного впливу колеса залежно від показника рівності

Рух транспортного засобу по автомобільній дорозі супроводжується взаємодією колеса з дорожнім покриттям в області, що є овалом [48]. При цьому дія навантаження на дорожній одяг характеризується вертикальною та горизонтальною складовою зусилля, що передається від транспортного засобу на дорожній одяг. При русі транспортних засобів дотичні і вертикальні зусилля від коліс на конструкцію дорожнього одягу мають динамічний характер, змінюються за величиною, напрямком і розкидом статистичних характеристик.

Основу ОДМ 218.11.001 [48] створюють теоретичні положення методу оцінки взаємодії колеса транспортного засобу і нерівності дорожнього покриття, що запропонований у [116].

На ділянках CC_1 і C_2C_3 траєкторія руху колеса (рис. 1.1) має вигляд горизонтальної прямої, на ділянці CNC_2 являє собою криву, що еквідистантна кривій OPA і віддалена від неї на відстань, що дорівнює радіусу колеса (R). Перехід від горизонтальної ділянки до криволінійної відбувається різко, тобто в цій точці траєкторія має дві різні дотичні. Плавний перехід мав би місце в тому випадку, якщо між нерівністю і покриттям мала місце плавна перехідна крива, що має радіус кривизни більший за радіус (R) колеса [88].

І. П. Рабінович позначив координати довільної точки P поверхні нерівності через x , y , і центр C колеса. Якщо довільна точка поверхні нерівності P є точкою дотику (знаходиться у положенні N), то координати визначаються за формулою [116]:

$$y_N = y + R \cdot \cos \alpha, \quad (1.34)$$

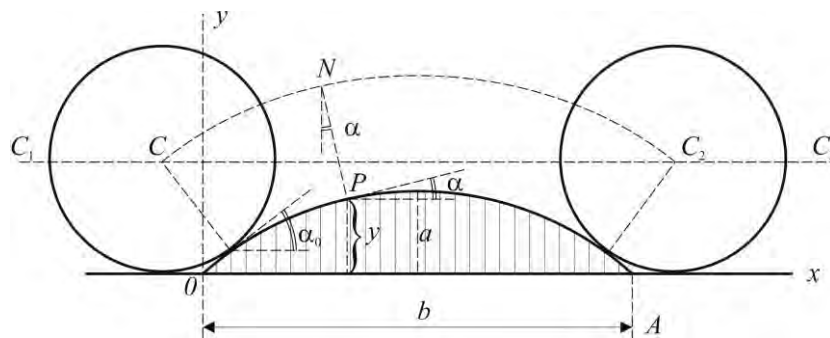
$$x_N = x - R \cdot \sin \alpha, \quad (1.35)$$

де y_N , x_N – координати точки N , м;

y , x – координати довільної точки P поверхні нерівності, м;

R – радіус колеса, м;

α – кут нахилу дотичної в точці P кривої OPA до осі x , град.



OPA – профіль перерізу нерівності; $C_1NC_2C_3$ – траєкторія центру C колеса

Рисунок 1.1 – Схема взаємодії колеса транспортного засобу і накопиченої нерівності дорожнього покриття [88]

Вертикальне прискорення центру колеса, що відповідає будь-якому моменту кочення колеса по поверхні нерівності матиме вигляд функції від радіусів кривизни колеса і поверхні нерівності, що дозволяє визначити швидкість точки N за формулою [116]:

$$V_N = \frac{V}{\cos \alpha}, \quad (1.36)$$

де V_N – швидкість точки N , м/с;

V – горизонтальна швидкість руху, що є постійною, м/с.

Тоді кутова швидкість і кутове прискорення колеса визначаються [116]:

$$\omega = \frac{V_N}{R} = \frac{V}{R \cdot \cos \alpha}, \quad (1.37)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{V \cdot \sin \alpha}{R \cos^2 \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt}, \quad (1.38)$$

де ω – кутова швидкість колеса, рад/с;

$\frac{d\omega}{dt}$ – кутове прискорення колеса, рад/с².

Прискорення точки ободу колеса завжди спрямоване від центра колеса до центра кривизни нерівності покриття і дорівнює [116]:

$$\omega u = \frac{V^2 \cdot r}{R(R + r) \cdot \cos^2 \alpha}, \quad (1.39)$$

де r – радіус кривизни поверхні нерівності, м.

Прискорення будь-якої точки N незмінної плоскої системи, що рухається у своїй площині, може бути представлено у вигляді геометричної суми прискорення точки на ободі колеса і прискорення обертання центра колеса відносно поверхні кривої нерівності, причому останнє, в свою чергу, може бути розкладене на нормальну і тангенціальну складові.

Розглянута модель взаємодії транспортного навантаження та нерівності дорожнього покриття дозволяє визначити коефіцієнт динамічності вертикального навантаження в залежності від швидкості руху, форми та розміру нерівності. Але модель не враховує жорсткість шини транспортного засобу та горизонтальну складову навантаження. До недоліків моделі слід також віднести неможливість визначення максимального навантаження на покриття дорожнього одягу в момент удару колеса об нерівність.

1.3.2 Модель удару колеса о нерівність на покритті

На нерівному дорожньому одязі опір руху збільшується, оскільки на рух колеса, що вдаряється о нерівності дорожнього одягу, витрачається додаткова енергія. При косому ударі колеса о нерівність на покритті висотою (h) втрачається швидкість (рис. 1.2) [117]:

$$V_{\text{втр}} = V \cdot \sin \alpha = V \cdot \frac{a}{R} = V \cdot \frac{\sqrt{2Rh - h^2}}{R}, \quad (1.40)$$

де $V_{\text{втр}}$ – втрачена швидкість руху внаслідок удару колеса о нерівність, м/с;

V – початкова швидкість руху колеса, м/с;

α – кут, що утворюється між дотичною до колеса у точці удару та горизонтальною площиною, град;

a – горизонтальна проекція відстані від центру колеса до точки удару колеса з нерівністю, м;

R – радіус колеса, м;

h – висота нерівності, м.

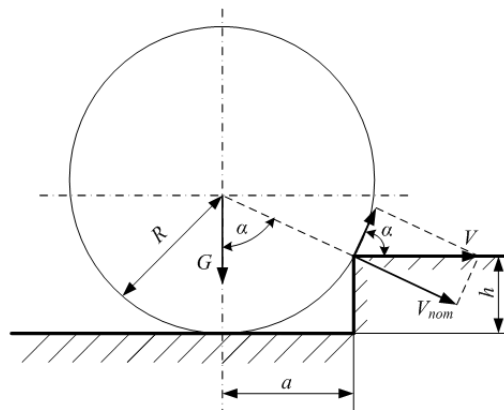


Рисунок 1.2 – Схема удару колеса о нерівність на покритті [117]

Втрачена енергія колеса, що котиться (за умови нехтування величиною

(h^2) через її малість у порівнянні з $(2Rh)$), визначається за формулою [117]:

$$\Delta E_{\text{втр}} = \psi \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2 \cdot (2Rh - h^2)}{R^2} \approx \psi \cdot \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{R} \cdot h, \quad (1.41)$$

де $\Delta E_{\text{втр}}$ – втрачена енергія колеса, кН·м;

ψ – коефіцієнт, що враховує повернення частини енергії, накопиченої стиснутим при ударі пружним колесом, і залежить від модуля жорсткості шини;

G – навантаження на колесо, кН;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

R – радіус колеса, м;

h – висота нерівності, м.

Якщо на ділянці дороги довжиною (L) є (n) нерівностей висотою (h) , то додаткове тягове зусилля, що необхідне для підтримки постійної швидкості, дорівнює на кожен метр шляху [117]:

$$F_1 = \psi \cdot \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{R} \cdot \frac{\sum^n h}{L}, \quad (1.42)$$

де F_1 – додаткове тягове зусилля, що необхідне для підтримки постійної швидкості, кН;

L – довжина ділянки дороги, м;

n – кількість нерівностей на ділянці, од.

Якщо колесо починає рухатися по нерівності по пологій кривій, то удару

не відбувається. Величина $\left(\frac{\sum^n h}{L} \right)$ для кожної ділянки дороги може бути

знайдена прокатуванням сумуючого профілографа та прийнята як умовний ухил від нерівностей покриття. Цей ухил може дорівнювати від декількох

тисячних для рівних покриттів до декількох сотих для нерівних. Коефіцієнт ψ має значення від 0,3 до 0,6 в залежності від модуля жорсткості шин.

Запропонована в [117] розрахункова схема дозволяє визначити горизонтальні навантаження, що виникають при проїзді колеса через нерівності, та визначити енергію, що витрачається на подолання горизонтальної сили. Але у моделі (1.40-1.42) колесо розглядається як абсолютно жорстке, не враховується деформація шини та її змінний радіус, що не відповідає реальному розкладу зусиль, що виникають з урахуванням деформації колеса.

Для покриття автомобільних доріг дорозі найбільш характерні нерівності у вигляді похилих опуклостей або западин, ніж у вигляді вертикальної стінки. Тому у роботі [117] розглянуто рух колеса через западину параболічного поздовжнього профілю. При русі через западину колесо падає на її дно на деякій відстані, яка залежить від швидкості руху (рис. 1.3).

Удар колеса о поверхню покриття тим сильніший, чим більша висота падіння. Найбільша висота падіння відповідає середині западини.

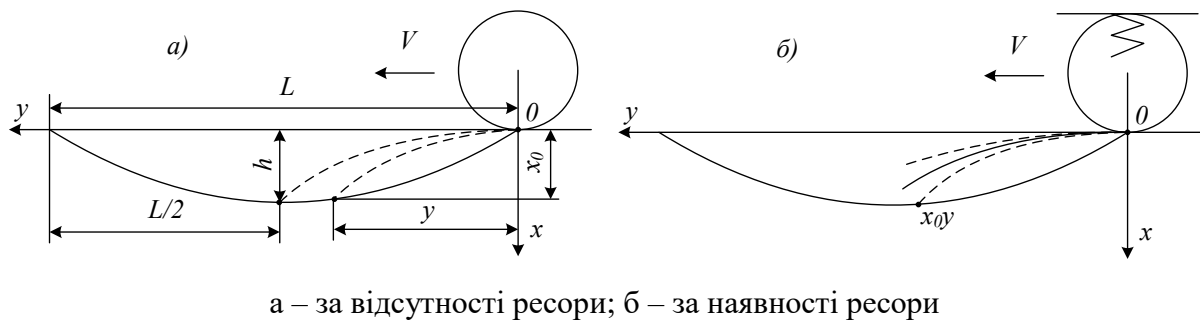


Рисунок 1.3 – Схема падіння колеса у западину [117]

Критичну швидкість, що відповідає удару в середині западини пропонується розраховувати за формулою [117]:

$$V_{\text{кр}} = l \sqrt{\frac{g}{8h}}, \quad (1.43)$$

де $V_{\text{кр}}$ – критична швидкість, м/с;

l – довжина западини, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

h – глибина вибоїни, м.

При більшій або меншій швидкості, ефект удару буде менший. При русі через вибоїну з довжиною, меншою, ніж діаметр колеса, колесо не падає на дно вибоїни, а обертаючись біля краю, ударяється об протилежний край вибоїни. Проходження через западину колеса з підресореним кузовом відрізняється тим, що колесо падає під впливом тиску ресори (рисунок 1.3, а).

При зустрічі колеса, що котиться, з підвищенням на покритті відбувається удар об перешкоду, що супроводжується стисненням шини і ресори. Сила удару залежить від висоти і форми перешкоди, еластичності колеса і швидкості руху. Тому удар – одна з найважливіших форм взаємодії колеса і дорожнього одягу. При ударі колеса об покриття частина енергії витрачається на стиснення шини і ресори, на коливання частин автомобіля, на стиснення дорожнього одягу в точці удару і на пружні коливання дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна.

При ударі о нерівність шина стискається і тиск шини на дорожній одяг зростає. Чим більший модуль жорсткості шин, тим коротший час удару і отже, більша швидкість і прискорення стиснення. Тоді максимальна динамічна сила, що діє на покриття, матиме такий вигляд [117]:

$$G_d = k \cdot U_{\max}, \quad (1.44)$$

де G_d – максимальна динамічна сила, кН;

k – модуль жорсткості шини, кН/м;

$U_{\max}$ – максимальне стиснення шин при ударі об покриття, м.

При розгляді удару об жорсткий дорожній одяг проф. О. К. Біруля вважав, що можна нехтувати деформацією дорожнього одягу, яка є дуже незначною у порівнянні з деформацією шини, тобто вважати модуль жорсткості дорожнього одягу нескінченно великим. Тоді для колеса вагою (G) енергія при стисканні має дорівнювати енергії падіння колеса в западину.

Динамічне стиснення шини при ударі дорівнює [117]:

$$U = \sqrt{\frac{2G \cdot h}{k} - \Delta^2}, \quad (1.45)$$

де U – динамічне стиснення шини при ударі, м;

G – навантаження на колесо, кН;

h – висота нерівності, м;

k – модуль жорсткості шини, кН/м;

Δ – статичне стиснення шини, м.

Статичне стиснення шини визначається за формулою [117]:

$$\Delta = \frac{G}{k}. \quad (1.46)$$

Проте на стиснення шини витрачається не вся енергія падіння. Частина енергії удару витрачається на деформацію і коливання дорожнього одягу. Мірою втрати енергії може служити коефіцієнт відновлення при ударі, що дорівнює відношенню проекцій швидкості відбиття і швидкості падіння на нормаль до поверхні удару. Тобто, в [117] визначається необхідність врахування жорсткості дорожнього одягу. При абсолютно пружних тілах коефіцієнт відновлення при ударі дорівнює одиниці, а при абсолютно непружних – нулю. Під час удару пневматика о дорожній одяг цей коефіцієнт залежить головним чином від модуля жорсткості шини і меншою мірою – від жорсткості дорожнього одягу. Для шин вантажних автомобілів і жорсткого покриття коефіцієнт відновлення при ударі коливається від 0,60 до 0,82 за умови змінювання тиску повітря в камері від 0 атмосфер до 5 атмосфер. Коефіцієнт відновлення колеса при ударі (e) має більшу величину для вдосконалених покриттів на основах жорсткого типу, меншу величину – для дорожнього одягу на основі з зернистих матеріалів. Таким чином, з

урахуванням втрати енергії при ударі колеса об покриття величина динамічного стиснення шини визначається за формулою [117]:

$$U = e \cdot \sqrt{\frac{2G \cdot h}{k} - \Delta^2}, \quad (1.47)$$

де e – коефіцієнт відновлення колеса при ударі.

Внаслідок виникнення динамічних сил при русі по нерівній поверхні дороги тиск колеса на дорожній одяг більший, ніж при статичній дії. Визначаючи динамічний коефіцієнт (K_d) як відношення суми статичної і динамічної сили до статичної, отримаємо його вираз для колеса вагою (G), що падає у вибоїну глибиною (h) [117]:

$$K_d = \frac{G_{\text{ст}} + G_d}{G_{\text{ст}}} = 1 + \frac{k \cdot U}{G} = 1 + \frac{k \cdot e \cdot \sqrt{\frac{2G \cdot h}{k} - \Delta^2}}{G}, \quad (1.48)$$

або

$$K_d = 1 + e \cdot \sqrt{\frac{2k \cdot h}{G} - 1}, \quad (1.49)$$

де K_d – коефіцієнт динамічності навантаження;

$G_{\text{ст}}$ – статична сила, що діє на дорожній одяг від колеса вагою (G), кН;

G_d – динамічна сила, що діє на дорожній одяг від колеса вагою (G), кН;

Формула (1.49) приймає дійсні значення за умови:

$$h \geq 0,5 \cdot \Delta. \quad (1.50)$$

Динамічний коефіцієнт за схемою зіткнення тіл можна визначити за

класичною формулою механіки [117]:

$$K_d = 1 + \sqrt{\frac{V_0^2}{g \cdot U}}, \quad (1.51)$$

де K_d – коефіцієнт динамічності навантаження;

V_0 – швидкість в точці зіткнення тіл, м/с;

g – прискорення вільного падіння тіла, м/с²;

U – деформація тіла при статичній дії вантажу, м.

Швидкість зіткнення шини з покриттям визначаємо за формулою [117]:

$$V_0 = \frac{2 \cdot h \cdot V}{S}, \quad (1.52)$$

де V_0 – швидкість в точці зіткнення тіл, м/с;

h – величина нерівності, м/с;

V – швидкість горизонтального руху тіла, м/с;

S – відстань між нерівностями (крок нерівностей), м.

Тоді коефіцієнт динамічності дорівнює [62, 63]:

$$K_d = 1 + \sqrt{\frac{1}{g \cdot U} \left(\frac{2 \cdot h \cdot V}{S} \right)^2}. \quad (1.53)$$

Деформацію тіла при статичній дії навантаження (U) пропонується приймати як статичну деформацію покриття [62, 63].

Подібне завдання вирішено у [72], де досить детально описано характеристики підвіски автомобіля, а характеристики покриття прийнято у загальному вигляді, як функцію поверхні $g(t)$. Аналогічно дослідженням [117] у роботі [72] визначається додаткова витрата енергії на подолання додаткової горизонтальної сили за час (t) , але з врахуванням властивостей підвіски автомобіля.

Модель взаємодії транспортного навантаження з нерівностями дорожнього покриття [117] дозволяє визначити енергію на подолання горизонтальної сили, що виникає при наїзді на нерівність. За допомогою представленої моделі вирішується задача визначення впливу нерівностей покриття на умови роботи транспортного засобу. Разом з тим безпосередньо навантаження від транспортного засобу на дорожній одяг, яке виникає при наїзді на нерівності, не розглядається.

1.3.3 Врахування деформативної здатності колеса при взаємодії з нерівностями дорожнього покриття

Задача взаємодії колеса транспортного засобу з нерівностями дорожнього покриття може бути розглянута у постановці, що дозволяє врахувати деформативну здатність колеса [118]. Згідно з [118] процес подолання порогової перешкоди відбувається у два етапи: початковий і основний.

Початковий етап (рис. 1.4, а) характеризується одночасним контактом колеса з горизонтальною опорною поверхнею і ребром порога і триває до моменту відриву колеса від опорної поверхні. На основному етапі (рис. 1.4, б) колесо спирається тільки на ребро порогу.

У математичній моделі подолання колесом порога прийняті наступні припущення [118]:

- розглядається плоский рух колеса, при цьому деформація опорної основи і перешкоди не враховується;
- проковзування шини на ребрі перешкоди відсутнє, тангенціальна деформація шини не враховується;
- процес подолання колесом перешкоди розглядається як квазістатичний, у вигляді послідовності положень нестійкої рівноваги системи, тобто у будь-якій момент часу до колеса мають бути прикладені крутний момент і тягове

зусилля, які визначаються положенням колеса відносно перешкоди [118]:

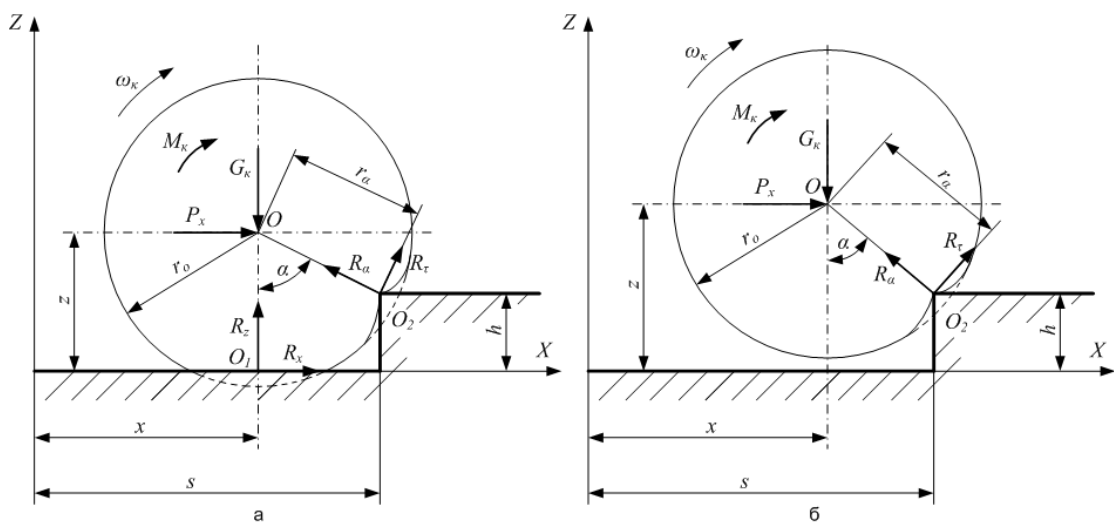
$$M_k = f(z), \quad (1.54)$$

$$P_k = f(z), \quad (1.55)$$

де M_k – крутний момент, прикладений до колеса, кН·м;

P_k – тягове зусилля, що прикладене до колеса, кН;

z – вертикальна координата центру колеса, м.



а – початковий етап; б – основний етап

Рисунок 1.4 – Розрахункова схема подолання колесом перешкоди [118]

У результаті математичних перетворень авторами отримано залежності щодо визначення потрібних силових факторів. Потрібне тягове зусилля для подолання перешкоди визначається за формулою [118]:

$$P_k = \left[G_k - c_{r1} \cdot (r_0 - r_a \cdot \cos \alpha - h) \right] \cdot \frac{c_{r2} \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \varphi_2)}{\left[c_{r2} \cdot (1 + \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha) + c_{r1} \right]} - R_x, \quad (1.56)$$

де P_k – потрібне тягове зусилля для подолання перешкоди, кН;

G_k – вертикальне навантаження, прикладене до колеса, кН;

c_{r1}, c_{r2} – радіальна жорсткість шини відповідно на горизонтальній опорній поверхні і на ребрі перешкоди, кН/м;

r_0 – вільний радіус колеса, м;

r_a – динамічний радіус колеса, м;

α – кут контакту колеса з ребром порога, град.;

φ_2 – коефіцієнт зчеплення колеса з ребром порога;

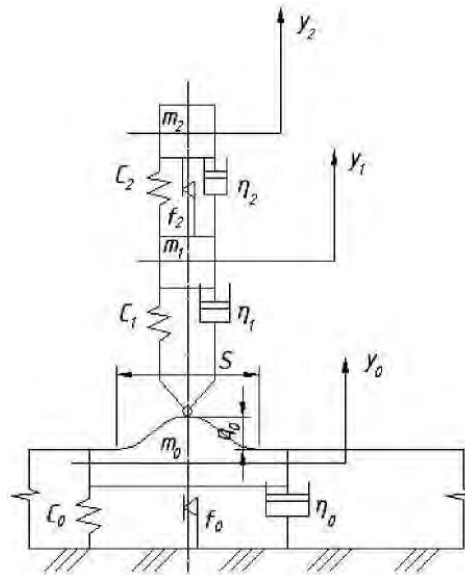
R_x – горизонтальна реакція в контакті колеса з опорною поверхнею, кН.

Модель взаємодії транспортного навантаження та нерівності дорожнього покриття дозволяє визначити крутний момент і додаткове тягове зусилля для подолання перешкоди. Суттєвою перевагою моделі перед іншими є врахування деформативної здатності колеса при взаємодії з нерівностями дорожнього покриття. Разом з тим, модель має ряд недоліків:

- враховується тільки вертикальна складова навантаження;
- нерівність розглядається як вертикальна стінка;
- не враховується зміщення вертикальної реакції покриття у динамічному режимі (через змінювання напрямку сили внутрішнього тертя у шині відносно напрямку деформації);
- не дозволяє визначити силу удару о нерівність та оцінити вплив навантаження на дорожнє покриття.

1.3.4 Моделювання взаємодії транспортних засобів з нерівностями поверхні дорожнього покриття

Задачу моделювання взаємодії транспортних засобів з нерівностями поверхні дорожнього покриття розглядав проф. І. П. Гамеляк [40, 41]. В основу моделі взаємодії покладено модель чверті «золотого автомобіля» (рисунок 1.5).



m_0 – коливальна маса дорожнього одягу, кг; m_1 і m_2 – маса заднього моста і маса навантаженого автомобіля, приведена до заднього моста, кг;
 η_0, η_1, η_2 – коефіцієнти в'язкого демпферування, що відображають властивості дорожнього одягу, шини і амортизатора автомобіля; f_0, f_2 – узагальнені коефіцієнти сухого тертя в конструкції дорожнього одягу і в ресорах автомобіля; y_0, y_1, y_2 – незалежні координати переміщення мас, м;
 c_0, c_1, c_2 – жорсткість пружних елементів дороги і автомобіля, Н·м;
 S – довжина нерівності на дорозі, м; q_0 – висота нерівності на дорозі, м.

Рисунок 1.5 – Розрахункова схема взаємодії автомобіля і дорожнього покриття [39, 40]

У роботі [41] зазначається, що значення величини коефіцієнта навантаження дорожнього одягу є функцією двох параметрів:

$$K_d = f(q_0, V), \quad (1.57)$$

де K_d – коефіцієнт динамічності навантаження дорожнього одягу;

q_0 – висота нерівності на дорозі, м;

V – швидкість руху автомобіля, км/год.

На основі проведених пошукових експериментів [41] встановлено значення факторів впливу на коефіцієнт динамічності та отримано рівняння

регресії для функції відгуку (K_d):

$$K_d = 1 + 0,01128 \cdot q_0 - 8,08 \cdot 10^5 \cdot V + 0,000245 \cdot q_0 \cdot V. \quad (1.58)$$

Незважаючи на те, що модель не враховує форму нерівності, її безсумнівною перевагою є встановлення зв'язку між коефіцієнтом динамічності та висотою нерівності й швидкістю руху транспортного засобу, що дозволяє оцінити вплив динамічного транспортного навантаження на нежорсткий дорожній одяг.

1.4 Вплив динамічного транспортного навантаження на нежорсткий дорожній одяг

Динамічний вплив транспортного засобу на конструкцію дорожнього одягу є значущим при русі по нерівній поверхні дорожнього покриття, що супроводжується ударами й коливаннями коліс і кузова автомобіля. Результати експериментальних досліджень П. І. Теляєва та Ю. І. Смірнова, що отримані в Ленінградському філії СоюздорНДІ у 1980-х роках, дозволили встановити, що при взаємодії вантажного автомобіля з нерівністю дорожнього покриття на швидкості 80 км/год коефіцієнт динамічності становить 1,3 (для нерівності висотою 7 мм), на швидкості 60 км/год – коефіцієнт динамічності становить 1,33 (для нерівності висотою 10 мм). За даними Б. С. Радовського вантажний транспортний засіб при проїзді по нерівності висотою від 5 мм до 7 мм зі швидкістю 60 км/год впливає на покриття з динамічною силою, яка перевершує статичне навантаження на колесо приблизно в 1,5 рази (коефіцієнт динамічності ($K_d = 1,45$)). Із збільшенням висоти нерівності динамічні навантаження зростають ще значніше. На нерівній проїзній частини з підвищенням швидкості до 80 км/год коефіцієнт динамічності зростає до 3,0.

Як доводять численні дослідження, що спрямовані на встановлення величини коефіцієнтів динамічності, [34, 43, 48, 119-122], коефіцієнт динамічності залежить:

– від завантаженості транспортного засобу: для вантажних транспортних засобів при повному (номінальному) навантаженні він становить від 1,4 до 1,8; для ненавантаженого – від 2,0 до 2,4;

– від швидкості руху. Збільшення швидкості руху супроводжується зростанням коефіцієнта динамічності, для високих швидкостей його значення практично не змінюється;

– від форми нерівностей дорожнього покриття;

– механічних властивостей транспортного засобу.

При проектуванні жорсткого дорожнього одягу відповідно до [119] коефіцієнт динамічності допускається приймати в залежності від осової маси автомобіля (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти динамічності для розрахунку жорстких дорожнього одягу [119]

Осова маса автомобіля, т	2	4	6	8	10	12
Коефіцієнт динамічності, K_d	1,6	1,3	1,15	1,08	1,06	1,04

За результатами досліджень, що проведені у СибАДІ [120], визначено значення коефіцієнтів динамічності залежно від швидкості руху для рівних дорожніх покриттів на початку експлуатації (табл. 1.2). За даними Б. С. Радовського [121], коефіцієнт динамічності колісного навантаження має декілька інші значення, що наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти динамічності для покриттів, що влаштовуються [121]

Швидкість руху автомобіля, км/год	20	40	50	60	70	80	100	120
Максимальний коефіцієнт динамічності	1,1	1,3	1,4	1,55	1,62	1,7	1,75	1,8
Мінімальний коефіцієнт динамічності	0,9	0,7	0,6	0,45	0,37	0,3	0,25	0,2

Таблиця 1.3 – Коефіцієнт динамічності колісного навантаження [121]

Швидкість руху автомобіля, км / рік	10	20	30	40	50	60	80	100
Коефіцієнт динамічності	1,12	1,21	1,28	1,34	1,38	1,41	1,45	1,47

Аналіз таблиці 1.5 та таблиці 1.3 доводить, що при швидкості руху автомобіля понад 40 км/год рекомендується приймати значення коефіцієнта динамічності понад 1,3. На ділянках із задовільною рівністю покриття при швидкості руху вантажних транспортних засобів (80 км/год) його значення 95 відсоткової забезпеченості для розрахункового навантаження становить 1,15, а на ділянках із незадовільною рівністю покриття – від 1,3 до 1,4.

При зменшенні осьового навантаження коефіцієнт динамічності збільшується [48] (табл. 1.4). Це пов'язано з характеристиками транспортного засобу, зі співвідношенням між підресореною й непідресореною масою автомобіля. На ділянках з незадовільним показником рівності максимальний коефіцієнт динамічності перевищує нормативне значення 1,3 на всьому діапазоні зміни осьового навантаження, а на ділянках із задовільним показником рівності – при малому співвідношенні між підресореною й непідресореною масою.

Таблиця 1.4 – Коефіцієнт динамічності для розрахунку нежорсткого дорожнього одягів [48]

Осьова маса автомобіля, т	2	4	6	8	10	12
$K_{\text{дин } 95\%}$	1,4	1,3	1,2	1,18	1,15	1,1

Аналіз даних таблиці 1.5, що виконаний у СибАДІ [62], свідчить, що на даний час автора одержано результати, що істотно різняться між собою.

Таблиця 1.5 – Порівняльний аналіз коефіцієнтів динамічності [62]

Автор	Стан покриття	Швидкість, км/год							
		10	20	30	40	50	60	70	80
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prof Dr-Ing. P. Koßler	Бітумне покриття (задовільний стан)	1,37	1,40	1,43	1,45	1,47	1,50	1,52	1,54
	Бітумне покриття (незадовільний стан)	1,71	1,80	1,90	1,99	2,08	2,17	2,26	2,36
M. Slachta (Ударне навантаження)	Цементобетонне покриття (задовільний стан)	-	-	1,55	-	1,45	-	1,65	-
	Цементобетонне покриття (незадовільний стан)	-	-	-	2,0	-	-	-	-
F. I. Bomhard	Цементобетонне покриття (задовільний стан)	-	-	1,05	-	-	-	1,11	-
F. I. Bomhard	Асфальтобетонне покриття (задовільний стан)	-	-	1,15	-	-	-	1,25	-
	Асфальтобетонне покриття (незадовільний стан)	-	-	1,33	-	-	-	1,55	
В. М. Кравець	Асфальтобетонне покриття (задовільний стан)	-	1,06	-	1,10	-	1,30	-	1,40
	Асфальтобетонне покриття (незадовільний стан)	-	1,63	-	2,42	-	3,16	-	3,38
О. В. Смірнов	Асфальтобетонне покриття (задовільний стан)	-	-	1,33	1,36	-	-	-	-
	Асфальтобетонне покриття (незадовільний стан)	-	-	1,09	-	1,40	-	1,63	1,68
Середнє значення коефіцієнту динамічності		1,37	1,42	1,38	1,72	1,60	2,03	1,56	2,07
Середнє значення для покриттів у задовільному стані		1,21	1,23	1,34	1,33	1,46	1,40	1,38	1,47

При русі транспортного засобу на малих швидкостях (від 20 км/год до 30 км/год) переміщення маси підресореною, тобто кузов з вантажем, і маси невідресореної, тобто колеса й осі, відбуваються одночасно й прискорення цих мас мають однакові величини, які прагнуть до нуля, а вертикальний тиск відповідає статичному навантаженню. При збільшенні швидкості руху (від 40 км/год до 60 м/год) спостерігаються коливання підресореної маси на ресорах

з частотою від 1 Гц до 2 Гц, що відповідає власній частоті коливань підресореної маси, що супроводжується порушенням синхронності коливань підресореної й непідресореної мас. Підресорена маса має велику амплітудою коливань, яка може перевищити висоту нерівності. При цьому збільшується динамічний вплив.

За розрахунковий коефіцієнт динамічності автомобільних доріг, що знаходяться в експлуатації, рекомендується приймати значення максимального коефіцієнта динамічності заданої ймовірності, отриманого методом моделювання динамічного впливу вантажного транспортного засобу при проїзді зі заданою швидкістю (80 км/год) [34, 43, 48, 122].

При моделюванні динамічного впливу транспортних засобів на ділянках з незадовільною рівністю (швидкість вантажного транспортного засобу 80 км/год середній коефіцієнт динамічності перевищує 1,1, максимальний коефіцієнт динамічності – 1,6) рекомендується перевірка умови безвідривного руху на заданих швидкісних режимах. Про порушення умови безвідривного руху свідчить від'ємне значення контактного зусилля між колесом і автомобільною дорогою. При коефіцієнті динамічності понад 2,0 можливий відрив коліс транспортного засобу від поверхні проїзної частини.

Реальні дорожні конструкції складаються з декількох шарів, що значно відрізняються по властивостях. Тому становлять інтерес деякі рішення динаміки плит на пружних основах. Для опису прогинів і напружень в асфальтобетонних і цементобетонних покриттях доцільно застосувати теорії, викладені в роботах Г. Б. Муравського, В. В. Найвельта, В. Е. Ярового та ін. [62]. При цьому, якщо рівність покриттів незадовільна, що сприяє виникненню коливань автомобіля, або погіршується згодом під впливом водно-температурних впливів, доцільно вводити до розрахунків напружень і прогинів [62] коефіцієнти динамічності.

Динамічні напруження мають екстремальні зони зі збільшенням швидкості руху автомобіля, а коефіцієнт динамічності напружень наближується

до двох [44]. Це явище пояснюється резонансом у коливаннях автомобіля, що призводять до значного збільшення динамічного тиску на покриття.

На нерівних покриттях можливе збільшення напружень, у всякому разі до швидкості 50 км/год. Прогини товстих плит при цьому не змінюються, оскільки зниження часу дії навантаження компенсується збільшенням за рахунок росту величин динамічного навантаження. Це встановлено експериментально для жорстких цементобетонних покриттів. Надалі при швидкостях понад 80 км/год процес взаємодії рухливого навантаження й покриття стає ударним. При цьому прогини й напруження зростають. Дослідженнями О. В. Смірнова, О. С. Александрова та С. К. Ілліополова [62, 123] встановлено:

- при проїзді двохосових автомобілів по цементобетонних покриттях з експлуатаційними швидкостями потрібно приймати послідовний вплив осей за єдиний ударний процес. На покриттях з малою жорсткістю (нежорсткі дорожні одяги) вплив осей слід розглядати як незалежний;

- прогини дорожнього одягу зменшуються зі зростанням швидкості руху автомобілів, але при досягненні 50 км/год вони незначно збільшуються через динамічний ефект автомобіля;

- динамічні напруження при згині від одиночного прикладання навантаження 40 кН досягають на рівних покриттях від 1,0 МПа до 3,6 МПа, на нерівних – від 1,3 МПа до 5,0 МПа;

- граничні динамічні прогини покриттів становлять від 0,10 мм до 0,15 мм для навантаження 40 кН на колесо й швидкості 70 км/год. Для швидкості 50 км/год прогини знаходяться у діапазоні від 0,10 мм до 0,35 мм. За цих значень модуль пружності є постійним, тобто зберігається суцільність монолітної плити й основи. Однак, метод розрахунку враховує тільки інерційні властивості плити й загасання коливань у плиті. Інерційні властивості основи не враховані, що свідчить про недоліки моделі основи, яка характеризується тільки коефіцієнтом постелі.

Заслужують уваги результати чисельного експерименту [45], що спрямований на встановлення зв'язку між показниками впливу транспортного

навантаження на дорожній одяг і формою нерівності. В експериментальних дослідженнях форма нерівності приймалася як гладке поглиблення, довжину якого змінювали від 0,4 м до 1,5 м із кроком варіювання 0,1 м, при значеннях глибини (для кожної фіксованої довжини) від 0,01 м до 0,1 м із кроком зміни її величини 0,01 м. Швидкість руху транспортного засобу призначалася в діапазоні від 10 км/год до 200 км/год із кроком 10 км/год. Проведений чисельний аналіз дозволив встановити, що навіть відносно слабо виражена нерівність покриття (глибиною 0,01 м і довжиною 1 м) при високих швидкостях руху призводить до збільшення пікового тиску на покриття майже у 2 рази. Максимум тиску при цьому доводиться або на саму нерівність, або на ділянку, що розташована безпосередньо за нею. Збільшення глибини нерівності або скорочення її довжини призводить до зростання амплітуди силового впливу. Нерівності покриттів приводять також до істотного розширення частотного спектра імпульсу сили, що впливає на поверхню конструкції, не тільки навколо них, але й на достатньому видаленні. При збільшенні кількості осей і ускладненні конфігурації нерівності ця тенденція ще більш виражена.

Отже, при розрахунку й проектуванні дорожніх одягів мають бути враховані особливості його динамічного напружено-деформованого стану за наявності нерівності на поверхні покриття.

Таким чином, питання впливу нерівності дорожнього покриття автомобільних доріг на процеси розвитку й нагромадження деформацій у цей час залишаються в значній мірі відкритими. Нерівність покриття призводить до істотної зміни закону розподілу тиску колеса на його поверхню. При цьому найбільш вагомими є фактори «підресорювання» транспортного засобу, а також параметри, обумовлені швидкістю руху та кількістю осей транспортного засобу, формою нерівності та частотою їх розташування на поверхні покриття.

1.5 Висновки до розділу. Цілі і завдання дослідження

Проведений аналіз та узагальнення існуючих методів і моделей розрахунку нежорсткого дорожнього одягу за критеріями міцності та методів врахування рівності покриття дозволяє зробити висновки:

1. 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.

2. 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.

3. Більшість існуючих 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. Суттєвим недоліком цих рішень є недостатнє врахування деформативних властивостей (модуля пружності) дорожнього одягу.

4. 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.

5. Численні дослідження створили теоретичний фундамент для розвитку методів обґрунтування потрібної міцності нежорсткого дорожнього одягу, яка забезпечує нормативну рівність покриття на останній рік експлуатації перед капітальним ремонтом.

Ґрунтуючись на викладеному, **метою дисертаційного дослідження** є розроблення методу призначення потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- 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 базується 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.

Основні результати досліджень першого розділу висвітлено у роботах автора: [1, 2].

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ ТРАНСПОРТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З УРАХУВАННЯМ РІВНОСТІ ПОКРИТТЯ

Як було зазначено раніше (розділ 1), подолання нерівності транспортним засобом супроводжується змінюванням коефіцієнту динамічності залежно від форми, частоти розташування нерівностей на покритті, жорсткості шини, режиму руху транспортного засобу. Існуючі моделі визначення коефіцієнта динамічності враховують горизонтальну складову навантаження, що призводить до істотного заниження розрахункових значень коефіцієнта динамічності, що, у свою чергу, знижує достовірність моделей прогнозування міцності дорожнього одягу. Тому задачею розділу 2 є розроблення математичної моделі розрахунку коефіцієнта динамічності, що ґрунтується на моделях взаємодії пневматичного колеса з покриттям нежорсткого дорожнього одягу та враховує рівність покриття і масу взаємодіючих тіл [6].

2.1 Удосконалена модель визначення коефіцієнта динамічності транспортного навантаження з урахуванням рівності покриття

З метою визначення величини навантаження на дорожній одяг процес подолання нерівності транспортним засобом пропонується розділити на два етапи:

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

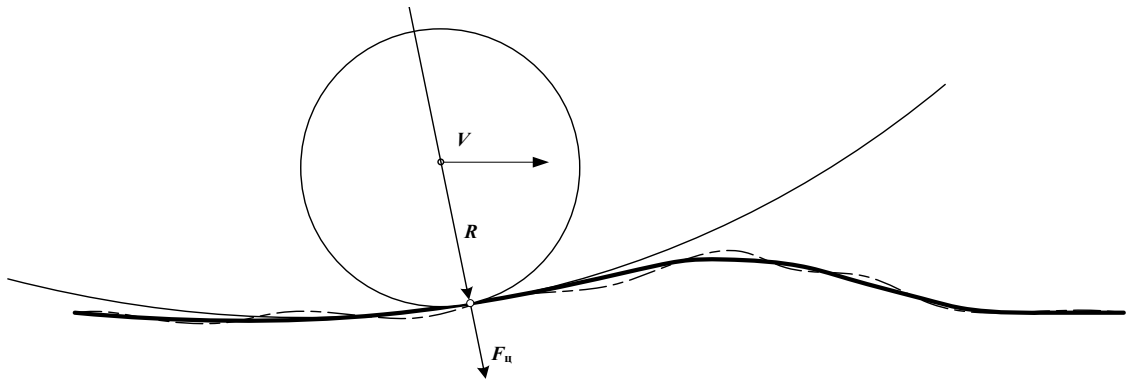
На першому етапі підйом на нерівність пропонується розглядати як рух по кривій певного радіуса. Модель позовжнього профілю покриття з достатньо високою точністю можна описати кривої певного радіусу (рис. 2.1). Для цього ламану лінію мікропрофілю в межах нерівності апроксимована поліномом третього ступеня. Знаючи рівняння кривої, яка описує профіль покриття, можна

визначити радіус її кривизни у будь-якій точці. Радіус кривизни профілю покриття визначається за формулою [124]:

$$R = \frac{1}{k(x_0)}, \quad (2.1)$$

де R – радіус кривизни профілю покриття, м;

$k(x_0)$ – кривизни кривої профілю, м^{-1} .



V – швидкість руху колеса; R – радіус кривизни профілю покриття,
 $F_{\text{ц}}$ – відцентрова сила

Рисунок 2.1 – Схема підйому колеса на нерівність у вигляді опуклої нерівності

Тоді кривизна лінії профілю будь-якої точці профілю може бути знайдена за відомою залежністю [124]:

$$k(x_0) = -\frac{y''(x_0)}{\left(1 + (y'(x_0))^2\right)^{3/2}}, \quad (2.2)$$

де $y''(x_0)$ – друга похідна функції, що описує поздовжній профіль;

$y'(x_0)$ – перша похідна функції, що описує поздовжній профіль.

Додаткове навантаження на дорожній одяг дорівнює відцентровій силі, яка з'являється внаслідок руху по криволінійній траєкторії. Відцентрова сила при цьому буде дорівнювати [6]:

$$F_{\text{ц}} = \frac{m \cdot V^2}{1000 \cdot R} = \frac{Q_{\text{к}} \cdot V^2}{1000 \cdot g \cdot R}, \quad (2.3)$$

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

m – маса транспортного засобу, що припадає на колесо, кг;

V – швидкість руху транспортного засобу, м/с;

$Q_{\text{к}}$ – вертикальне навантаження на колесо, кН;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Тоді коефіцієнт динамічності дорівнюватиме [6]:

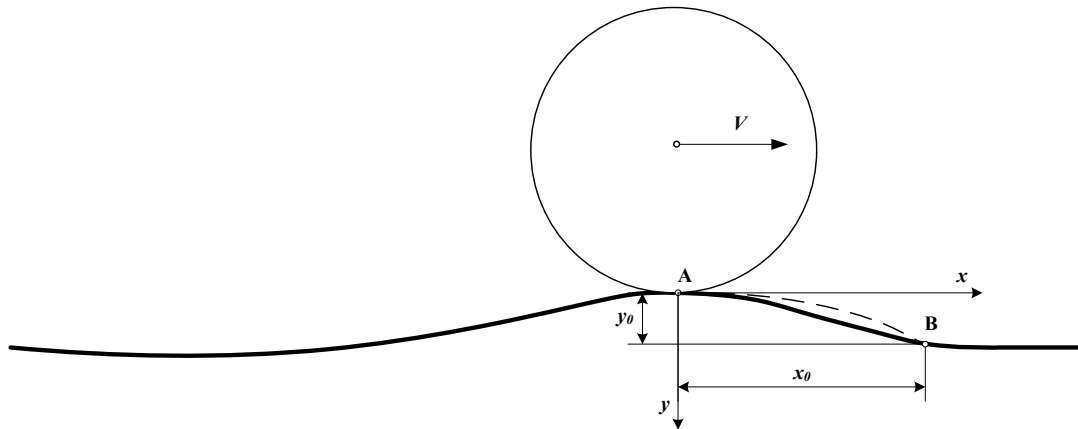
$$K_{\text{д}} = \frac{Q_{\text{к}} + F_{\text{ц}}}{Q_{\text{к}}} = 1 + \frac{V^2}{1000 \cdot g \cdot R}, \quad (2.4)$$

де $K_{\text{д}}$ – коефіцієнт динамічності навантаження.

На другому етапі подолання нерівності (ділянка «падіння») пропонується розраховувати координату точки «падіння» в залежності від швидкості транспортного засобу і ухилу поверхні (рис. 2.2). Згідно з запропонованою моделлю колесо падає на дно западини на деякій відстані від середини западини, яка залежить від швидкості руху транспортного засобу. На силу удару впливає висота падіння: чим більша висота падіння, тим сильніший удар колеса о покриття.

Безпосередньо відриву колеса не відбувається, оскільки ходова частина одразу прижимає колесо до поверхні покриття. Удар о покриття відбувається у процесі розвантаження, що виникає, коли колесо попадає в нерівність, а кузов продовжує рух по параболічній кривій, тим самим зменшуючи навантаження на колесо, та наступного навантаження, коли вага кузова знову переноситься на

колесо, падаючи з певної висоти, тим самим утворюючи динамічне навантаження. Найбільша висота падіння відповідає середині западини.



A – вершина нерівності; B – точка «падіння»; V – швидкість руху колеса; y_0 – висота «падіння»; x_0 – дальність «падіння»

Рисунок 2.2 – Схема «падіння» колеса після подолання нерівності

В процесі аналізу встановлено, що місце виникнення динамічних навантажень може бути розташоване до середини западини або після.

За допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel побудовано графіки траєкторії руху кузова в западину, та графіки западин у вигляді поліному третього ступеня (рис. 2.3).

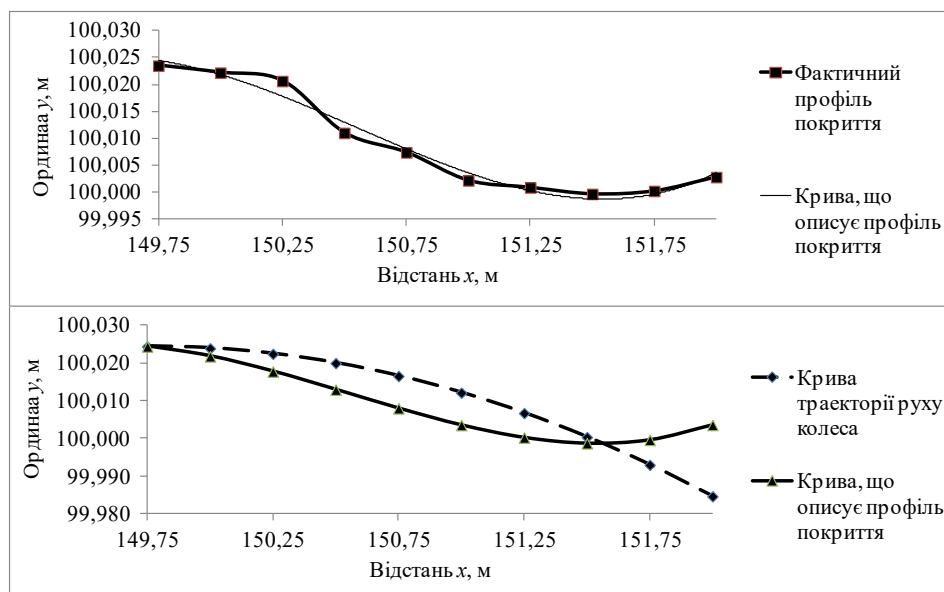


Рисунок 2.3 – Схема «падіння» колеса у западину

Оскільки кут нерівності дуже малий, ним можна знехтувати при розрахунках, а траєкторію руху колеса автомобіля на етапі «падіння» можна умовно розглядати як траєкторію тіла, випущеного горизонтально [125]:

$$y = -\frac{g}{2V^2} x^2, \quad (2.5)$$

де y – координата вісі ординат, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

x – координата вісі абсцис, м;

V – швидкість руху транспортного засобу, м/с.

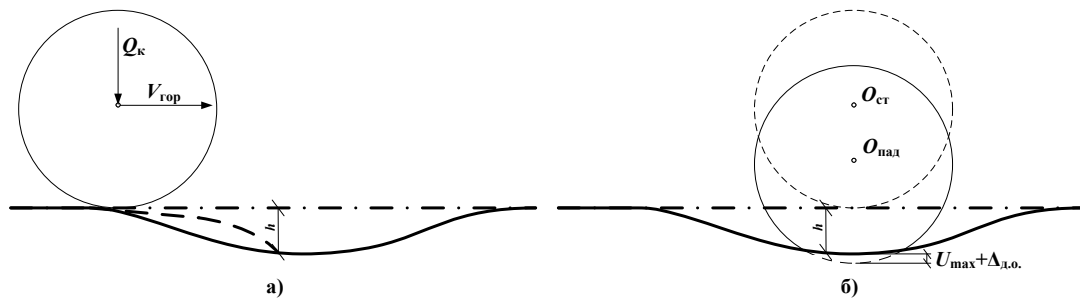
Щоб визначити місце виникнення динамічних навантажень, необхідно вирішити систему рівнянь (2.6), що описують траєкторію руху колеса і форму нерівності, відносно поздовжньої координати:

$$\begin{cases} y = -\frac{g}{2V^2} x^2; \\ y = ax^3 + bx^2 + cx + d, \end{cases} \quad (2.6)$$

де a, b, c, d – коефіцієнти, що описують профіль покриття (форму нерівності).

Точка перетину двох функцій, що описують траєкторію руху колеса і форму нерівності, є місцем виникнення максимальних динамічних навантажень – динамічного удару. Маючи горизонтальну координату, підставимо її в одне з рівнянь і знайдемо величину (y). Обчисливши різницю між висотними позначками точки початку нерівності (для випадку нерівності у формі западини) і точки «падіння», можна визначити висоту «падіння» (h). Висота «падіння» є визначальним параметром при розрахунку коефіцієнта динамічності.

Для подальшого розрахунку коефіцієнта динамічності розглянемо схему динамічного навантаження на дорожній одяг на етапах під'їзду до западини та «падіння» (рисунок 2.4).



Q_k – вертикальне навантаження на колесо; $V_{гор}$ – горизонтальна швидкість руху транспортного засобу; h – висота «падіння»; $O_{ст}$ – центр колеса у статичному положенні; $O_{пад}$ – центр колеса при «падінні»; $U_{max} + \Delta_{д.о.}$ – сумарний прогин покриття та колеса

Рисунок 2.4 – Схема динамічного навантаження: а) етап під’їзду до западини; б) етап «падіння»

Згідно з розрахунковою схемою (рисунок 2.4) колесо загальним навантаженням (Q_k) «падає» у западину глибиною (h). Розглянемо основні етапи взаємодії колеса з покриттям.

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

$$U_{max} = U_d + \Delta_{ст}, \quad (2.7)$$

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

U_d – додаткова деформація колеса внаслідок динамічного навантаження, м;

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

Статична деформація залежить від радіальної жорсткості шини і навантаження на колесо та визначається за формулою:

$$\Delta_{ст} = \frac{Q_k}{c_k}, \quad (2.8)$$

де c_k – радіальна жорсткість шини, кН/м.

На другому етапі після деформування колеса динамічне навантаження (G_d) передається на дорожнє покриття. Максимальне динамічне навантаження дорівнює:

$$G_d = c_k \cdot U_{\max} = c_k \cdot (U_d + \Delta_{\text{ст}}), \quad (2.9)$$

де G_d – динамічне навантаження на дорожнє покриття, кН.

Від динамічного навантаження дорожній одяг деформується на величину ($\Delta_{\text{д.о.}}$), що визначається за формулою теорії розрахунку дорожнього одягу:

$$\Delta_{\text{д.о.}} = \frac{P \cdot D \cdot (1 - \mu^2)}{E_{\text{заг}}}, \quad (2.10)$$

де $\Delta_{\text{д.о.}}$ – деформація дорожнього одягу від динамічного навантаження, м;

P – питомий тиск від штамп, рівновеликого відбитку колеса, МПа;

D – діаметр відбитку колеса від рухомого автомобіля, м;

μ – коефіцієнт Пуассона;

$E_{\text{заг}}$ – загальний еквівалентний модуль пружності конструкції дорожнього одягу, МПа.

Загальне переміщення центра ваги колеса при «падінні» у западину глибиною (h) складає:

$$H = h + \Delta_{\text{д.о.}} + U_{\max}, \quad (2.11)$$

де H – загальне переміщення центра ваги колеса, м;

h – глибина западини, м.

Енергія деформування колеса (W_k) дорівнює роботі сили динамічного

навантаження (G_d) на шляху переміщення ($U_{\max}$):

$$W_k = G_d \cdot U_{\max} = c_k \cdot (U_d + \Delta_{\text{ст}})^2, \quad (2.12)$$

де W_k – енергія деформування колеса, кН·м.

Енергія деформування дорожнього одягу дорівнює:

$$W_{\text{д.о.}} = G_d \cdot \Delta_{\text{д.о.}} = c_k \cdot (U_d + \Delta_{\text{ст}}) \cdot \Delta_{\text{д.о.}}, \quad (2.13)$$

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

Енергія «падіння» колеса у западину глибиною (h) з деформуванням колеса і дорожнього одягу на величину ($U_{\max} + \Delta_{\text{д.о.}}$) складає:

$$W_{\text{пад}} = Q_k \cdot (h + U_{\max} + \Delta_{\text{д.о.}}) = Q_k \cdot (h + U_d + \Delta_{\text{ст}} + \Delta_{\text{д.о.}}), \quad (2.14)$$

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

Згідно із законом збереження енергії:

$$W_{\text{пад}} = W_k + W_{\text{д.о.}}, \quad (2.15)$$

$$Q_k \cdot (h + U_d + \Delta_{\text{ст}} + \Delta_{\text{д.о.}}) = c_k \cdot (U_d + \Delta_{\text{ст}}) \cdot \Delta_{\text{д.о.}} + c_k \cdot (U_d + \Delta_{\text{ст}})^2. \quad (2.16)$$

Виразивши (Q_k) з (2.8) після перетворень (2.16) отримаємо рівняння:

$$c_k \cdot (U_d^2 + U_d \cdot \Delta_{\text{ст}} + U_d \cdot \Delta_{\text{д.о.}} - h \cdot \Delta_{\text{ст}}) = 0. \quad (2.17)$$

Оскільки у (2.17) $c_k \neq 0$, то:

$$U_d^2 + U_d \cdot (\Delta_{\text{ст}} + \Delta_{\text{д.о.}}) - h \cdot \Delta_{\text{ст}} = 0. \quad (2.18)$$

Вирішивши квадратне рівняння (2.18) відносно (U_d) , отримуємо:

$$U_d = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{ст} + \Delta_{д.о.}}{2}\right)^2 + h \cdot \Delta_{ст}} - \frac{\Delta_{ст} + \Delta_{д.о.}}{2}. \quad (2.19)$$

Коефіцієнт динамічності на ділянці «падіння» визначається за формулою:

$$K_d = \frac{G_d}{Q_k} = \frac{G_d}{c_k \cdot \Delta_{ст}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{\Delta_{ст} + \Delta_{д.о.}}{2}\right)^2 + h \cdot \Delta_{ст}} - \frac{\Delta_{ст} + \Delta_{д.о.}}{2} + \Delta_{ст}}{\Delta_{ст}}. \quad (2.20)$$

Професор О. К. Біруля [100] відзначив, що при ударі не вся енергія «падіння» витрачається на деформування колеса і дорожнього одягу. Мірою втрати енергії є коефіцієнт відновлення (e) . Якщо тиск у шині знаходиться у діапазоні від 0,8 МПа до 0,9 МПа, то величина коефіцієнта відновлення становить від 0,86 до 0,88 відповідно.

Як відомо з теорії удару, на значення коефіцієнта динамічності впливає коефіцієнт приведення маси системи до точки удару, тому, враховуючі різницю між масою транспортного засобу та масою дорожнього одягу, що залучається у процес деформування, модель (2.20) повинна враховувати коефіцієнт приведення маси системи до точки удару.

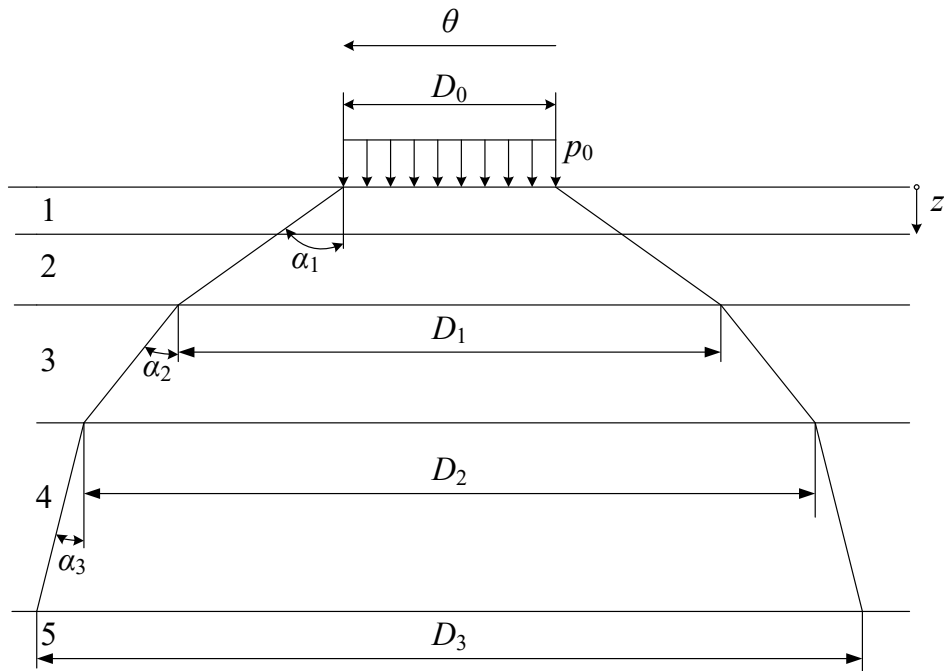
2.2 Розрахунок коефіцієнта приведення маси системи до точки удару

Для розрахунку коефіцієнта приведення маси системи до точки удару скористаємося рішенням задачі про розрахунок тисків, що передаються шарами один на одного, при впливі на покриття транспортного навантаження використовуємо розрахункову схему О. В. Смірнова і А. С. Александрова [62] у вигляді п'ятишарової системи (рисунк 2.5).

Відповідно до цієї схеми дорожня конструкція, що складається із двошарового пакету монолітних шарів з пружно-в'язкопластичних матеріалів, двох шарів основи з зернистих і дискретних матеріалів, а також робочої зони земляного полотна, сприймає тиск, що рівномірно розподілений по поверхні круглого майданчика.

Модель (рисунок 2.5) передбачає, що напруження вертикального стиснення є наслідком механічного тиску, а його розсіювання по глибині шару відбувається під кутом α . Значення цього кута залежить від виду середовища і показників фізичного стану матеріалів.

Шари покриття сприймають тиск (p_0) переданий колесом на майданчик діаметром (D_0), і перерозподіляють цей тиск по поверхні верхнього шару основи. В результаті основа сприймає тиск інтенсивністю (p_1), що передається покриттям по майданчику діаметром (D_1). За глибиною покриття відбувається розсіювання напружень вертикального стиснення від величини (p_0) до значення (p_1) на контакті покриття і основи. Причиною зменшення напружень вертикального стиснення є збільшення по глибині діаметра площадки від величини (D_0) на поверхні до значення (D_1) на контакті покриття і основи. Збільшення діаметра пояснюється розподільчою здатністю шарів покриття, яка характеризується кутом розсіювання (α_1), величина якого залежить від згинальної жорсткості монолітного шару, що враховує конструкцію монолітного шару і властивості його матеріалу та властивості підстильного шаруватого півпростору. Значення кутів розсіювання в зернистих і дискретних середовищах характеризуються контактною взаємодією мінеральних часток і агрегатів та залежить від величини кута внутрішнього тертя [62].



θ – вектор швидкості руху, м/с; p_0 – тиск, що передається колесом автомобіля на покриття, Па; D_0 – діаметр кола рівновеликого за площею відбитку нерухомого колеса на покритті, м; p_1 , p_2 , p_3 – тиску, що передаються шарами на нижній шар або ґрунтовий напівпростір, Па; D_1 , D_2 , D_3 – діаметри кіл, за якими тиск розподілений по поверхні конструктивних шарів і земляного полотна, м; α_1 , α_2 , α_3 – кути розподілу тисків між конструктивними шарами або кути розсіювання напружень вертикального стиснення в шарі; 1 і 2 – відповідно верхній і нижній монолітні шари покриття з забезпеченим контактом; 3 і 4 – відповідно верхній і нижній шари основи, що перерозподіляють тиск по поверхні нижчого шару; 5 – ґрунт земляного полотна)

Рисунок 2.5 – Розрахункова схема для визначення тисків, що передаються конструктивними шарами дорожнього одягу на нижні шари і ґрунтовий півпростір [62]

Розглянемо визначення кута (α_1) в монолітних шарах, що працюють на згин. У разі якщо контакт між шарами забезпечений (D_1) (рисунок 2.5), напруження розраховують, як в одній плиті [62]. Оскільки монолітні шари працюють на згин, то кут розсіювання напружень (α_1) має залежати від жорсткості плити. Тоді тангенс кута (α_1) можна виразити відношенням радіуса жорсткості шару (L) до товщини шару ($h_{\text{ш}}$). Звідси кут розсіювання

напружень в монолітному шарі визначається за формулою [62]:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{L}{h_{\text{ш}}} = \arctg \left[\sqrt[3]{\frac{E_{\text{в}} \cdot (1 - \mu_{\text{оч}}^2)}{6 \cdot E_{\text{оч}} \cdot (1 - \mu_{\text{в}}^2)}} \right], \quad (2.21)$$

де L – радіус жорсткості шару, м;

$h_{\text{ш}}$ – товщина шару, м;

$E_{\text{в}}$ та $E_{\text{оч}}$ – модуль пружності матеріалу монолітного шару (пакета шарів в разі забезпеченого контакту між ними) і загальний модуль пружності шаруватої основи, що підстилає монолітний шар, МПа;

$\mu_{\text{в}}$ и $\mu_{\text{оч}}$ – коефіцієнт Пуассона матеріалу шару та середньозважений по глибині конструкції коефіцієнт Пуассона.

Внаслідок перерозподілу навантаження по глибині на більшу площу відбувається зменшення напружень вертикального стиснення. На глибині (Z) півпростору або шару діаметр розподілу напружень визначиться за [62]:

$$D_z = D_x + 2 \cdot Z \cdot \tg \alpha = D_x + \left(1 + \frac{2 \cdot Z}{D_x} \cdot \tg \alpha \right), \quad (2.22)$$

де D_z – діаметр розподілу напружень на глибині Z від поверхні розглянутого шару дорожньої конструкції, м;

D_x – діаметр розподілу навантаження на поверхні розглянутого шару дорожньої конструкції, м;

Z – відстань від поверхні розглянутого шару дорожньої конструкції до перетину, в якому визначається напруження, м;

α – кут розподілу напружень в шарі або півпросторі, град.

Для пакета монолітних шарів (рисунок 2.5) кут (α) у (2.22) визначається як кут (α_1) за формулою (2.21).

Визначаємо діаметр розподілу тиску по низу земляного полотна. Для цього скористаємося дослідженнями О. В. Смірнова [126]. Динамічне навантаження, що діє на дорожній одяг, переміщається поверхнею. Верхній шар конструкції являє собою плиту з циліндричної жорсткістю [126]:

$$C_1 = \frac{E_1 \cdot h_1^3}{12 \cdot (1 - \mu_1^2)}, \quad (2.23)$$

де C_1 – циліндрична жорсткість верхнього шару, МПа·м;

E_1 – модуль пружності верхнього шару, МПа;

h_1 – товщина верхнього шару, м;

μ_1 – коефіцієнт Пуассона верхнього шару.

Радіус жорсткості плити, що розташована на пружній основі, визначається відповідно до залежності [126]:

$$l = \sqrt[4]{\frac{C_1}{k}}, \quad (2.24)$$

де l – радіус жорсткості плити, що лежить на пружній основі;

k – коефіцієнт постелі.

Величину коефіцієнта постелі для конструкції дорожнього одягу можна визначити з умови, що пружний півпростір практично не стискається. В цьому випадку, знаючи модуль пружності на поверхні земляного полотна, можна визначити коефіцієнт постелі як [126]:

$$k = \frac{E_2}{h_2 \cdot (1 - \mu_2^2)}, \quad (2.25)$$

де E_2 – модуль пружності ґрунтової основи, МПа;

h_2 – потужність стиснутої товщі основи, м;

μ_2 – коефіцієнт Пуассона ґрунтової основи.

Радіус зони деформування в плані дорівнює [126]:

$$R = 4 \cdot \sqrt[4]{\frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot h_2 \cdot (1 - \mu_2^2)}{12 \cdot E_2 \cdot (1 - \mu_1^2)}}, \quad (2.26)$$

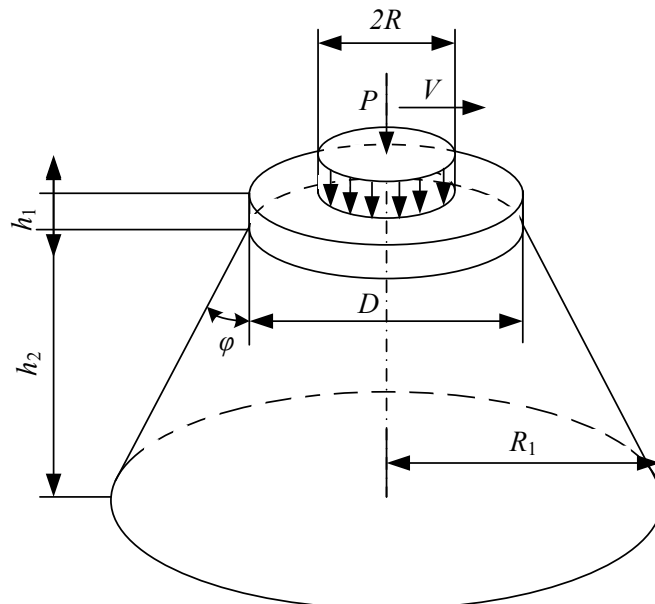
де R – радіус зони деформування в плані, м;

Масив дорожньої конструкції являє собою усічений конус (рисунок 2.6). Верхній перетин конуса обмежений поверхнею покриття, що має у плані площу кола радіусом (R) (2.26). Нижня основа конуса має форму кола. Радіус кола нижньої основи становить [126]:

$$R_1 = R + h_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.27)$$

де R_1 – радіус кола нижньої основи, м;

φ – кут розподілу тиску з урахуванням кута внутрішнього тертя ґрунту насипу, який для пісків, з яких зводиться насип, становить від 10° до 45° , град.



h_1 – товщина дорожнього одягу, а h_2 – робочий шар земляного полотна

Рисунок 2.6 – Схема визначення розмірів масиву дорожньої конструкції, що залучена в коливання [126]

Відповідно до теорії динамічного навантаження коефіцієнт приведення маси системи дорожнього одягу до точки удару визначається за формулою [127]:

$$\beta = \frac{\int_0^h \gamma \lambda_c^2(x) F(x) dx}{\lambda_c \cdot Q}, \quad (2.28)$$

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 [127]:

$$\lambda_c = P \left(\frac{h_1}{E_1 \cdot F_1} + \frac{h_2}{E_2 \cdot F_2} + \frac{h_3}{E_3 \cdot F_3} \right), \quad (2.29)$$

де P – навантаження на дорожній одяг, що передається через колесо транспортного засобу, кН;

h_1, h_2, h_3 – товщини шарів системи дорожнього одягу, см;

E_1, E_2, E_3 – середньозважені модулі пружності шарів системи дорожнього одягу, МПа;

F_1, F_2, F_3 – площі поперечного перетину шарів системи дорожнього одягу, см²;

Q – власна вага шарів дорожнього, що сприймають навантаження від колеса транспортного засобу, кН [127]:

$$Q = \gamma_1 \cdot h_1 \cdot F_1 + \gamma_2 \cdot h_2 \cdot F_2 + \gamma_3 \cdot h_3 \cdot F_3, \quad (2.30)$$

де $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – щільність шарів системи дорожнього одягу, кН/см³.

Статичне переміщення довільного перерізу шару земляного полотна

дорівнює:

$$u_c(x_1) = \frac{P \cdot x_1}{E_1 \cdot F_1}, \quad (2.31)$$

де $u_c(x_1)$ – статичне переміщення довільного перерізу шару земляного полотна, см.

Статичне переміщення довільного перерізу шарів основи дорівнює:

$$u_c(x_2) = \frac{P \cdot h_1}{E_1 \cdot F_1} + \frac{P \cdot x_2}{E_2 \cdot F_2}, \quad (2.32)$$

де $u_c(x_2)$ – статичне переміщення довільного перерізу шарів основи, см.

Статичне переміщення довільного перерізу шарів покриття дорівнює:

$$u_c(x_3) = \frac{P \cdot h_1}{E_1 \cdot F_1} + \frac{P \cdot h_2}{E_2 \cdot F_2} + \frac{P \cdot x_3}{E_3 \cdot F_3}, \quad (2.33)$$

де $u_c(x_3)$ – статичне переміщення довільного перерізу шарів покриття, см.

Після перетворень із врахуванням отриманих співвідношень (2.31-2.33) чисельник у (2.29) дорівнюватиме:

$$\begin{aligned} \int_0^h \gamma \lambda_c^2(x) F(x) dx &= \gamma_1 \int_0^{h_1} u_c^2(x_1) F(x_1) dx_1 + \gamma_{1-2} \int_0^{h_2} u_c^2(x_2) F(x_2) dx_2 + \\ &+ \gamma_{1-2-3} \int_0^{h_3} u_c^2(x_3) F(x_3) dx_3 = \frac{\gamma_1 \cdot P^2 \cdot h_1^3}{3 \cdot E_1^2 \cdot F_1} + \frac{\gamma_{1-2} \cdot P^2 \cdot F_2 \cdot h_1^2 \cdot h_2}{E_1^2 \cdot F_1^2} + \\ &+ \frac{\gamma_{1-2} \cdot P^2 \cdot h_1 \cdot h_2^2}{E_1 \cdot E_2 \cdot F_1} + \frac{\gamma_{1-2} \cdot P^2 \cdot h_2^3}{3 \cdot E_2^2 \cdot F_2} + \frac{\gamma_{1-2-3} \cdot P^2 \cdot F_3 \cdot h_1^2 \cdot h_3}{E_1^2 \cdot F_1^2} + \\ &+ \frac{\gamma_{1-2-3} \cdot P^2 \cdot F_3 \cdot h_2^2 \cdot h_3}{E_2^2 \cdot F_2^2} + \frac{\gamma_{1-2-3} \cdot P^2 \cdot h_3^3}{3 \cdot E_3^2 \cdot F_3} + \frac{\gamma_{1-2-3} \cdot P^2 \cdot F_3 \cdot h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}{E_1 \cdot E_2 \cdot F_1 \cdot F_2} + \\ &+ \frac{2 \cdot \gamma_{1-2-3} \cdot P^2 \cdot h_1 \cdot h_3^2}{E_1 \cdot F_1 \cdot E_3} + \frac{2 \cdot \gamma_{1-2-3} \cdot P^2 \cdot h_2 \cdot h_3^2}{E_2 \cdot F_2 \cdot E_3}. \end{aligned} \quad (2.34)$$

Запишемо рівняння (2.20) з урахуванням коефіцієнта приведеної маси системи до точки удару:

$$K_d = \frac{G_d}{Q_k \cdot \left(1 + \frac{Q_{д.о.}}{Q_k} \cdot \beta\right)} = 1 + \frac{\sqrt{0,25 \cdot (\Delta_{ст} + \Delta_{д.о.})^2 + h \cdot \Delta_{ст}} - 0,5(\Delta_{ст} + \Delta_{д.о.})}{\left(1 + \frac{Q_{д.о.}}{Q_k} \cdot \beta\right) \cdot \Delta_{ст}}, \quad (2.35)$$

де β – коефіцієнт приведення маси системи до точки удару, що визначається за рішеннями (2.28-2.34) і коливається у діапазоні від 0,34 до 0,54 ($\beta_{сер} \approx 0,44$).

2.3 Обґрунтування параметрів моделі прогнозування рівності покриття

Рівність покриття автомобільних доріг змінюється у часі. Інтенсивність змінювання рівності покриття залежить від багатьох параметрів, в тому числі від конструкції та матеріалів шарів дорожнього одягу, їх міцності і деформативності, інтенсивності і складу транспортного потоку, початкової рівності покриття, наявності і величини нерівностей, строку експлуатації дорожнього одягу, погодно-кліматичних умов району розташування автомобільної дороги. Цей перелік не є вичерпним, але охоплює найбільш вагомі фактори.

2.3.1 Моделі прогнозування рівності покриття

Питанню прогнозування рівності покриття присвячено багато наукових досліджень, щодо удосконалення методів розрахунку дорожнього одягу за критеріями рівності і прогнозування деформування поверхні покриття. Другим не менш важливим напрямком досліджень є розрахунок дорожнього одягу за критеріями рівності та обґрунтування граничних значень нерівностей або показників рівності покриття. Існуючі методи розрахунку дорожнього одягу за

критеріями рівності спираються на розрахунок залишкової деформації в ґрунті земляного полотна і шарах дорожнього одягу з дискретних матеріалів або в шарах з монолітних матеріалів. Перехід від цих деформацій до деформації, що накопичується на поверхні покриття, виконується за допомогою коефіцієнтів, які визначаються за результатами лабораторних або польових випробувань. Згідно з дослідженнями [37], більш раціональним є застосування емпіричних методів і методик, що ґрунтуються на експериментальних даних [127].

Закономірності зародження, розвитку та накопичення у часі деформацій та руйнувань покриття дорожнього одягу суттєво відрізняються за комплексом значущих чинників. У загальному вигляді кожна модель розвитку деформацій та руйнувань має вигляд:

$$R, D = f(t, \Sigma(N + S)), \quad (2.36)$$

де R, D – кількісний критерій оцінки ступеня розвитку деформацій та руйнувань покриття дорожнього одягу;

t – час від введення дороги в експлуатацію після будівництва, реконструкції або капітального ремонту, років;

N – кількісна оцінка впливу транспортних навантажень;

S – кількісна оцінка впливу погодно-кліматичних факторів.

2.3.2 Експериментальне обґрунтування параметрів моделі прогнозування рівності покриття

За моделями прогнозування рівності дорожнього покриття, що проаналізовані у розділі 1, проведено порівняльні розрахунки перспективної рівності покриття. У зв'язку з тим, що частина моделей прогнозування рівності покриття побудована за результатами вимірювання поштовхоміром (ПКРС-2У і ТХК-2), а інша частина моделей ґрунтується на методиці вимірювання міжнародного індексу рівності (IRI), результати вимірювань рівності покриття за різними моделями мають бути приведені до індексом рівності (IRI), м/км.

За дослідженнями А. П. Васильєва [92], І. А. Золотаря [98], А. А. Пахомова [129], Е. В. Каленової [130] прийнято залежності між результатами вимірювань рівності за поштовхоміром (ТХК-2, ТЕД, ПКРС-2У) і за індексом рівності (*IRI*):

– за дослідженнями О. А. Красікова [131]:

$$S_{\text{ТЕД}} = 3,45 \cdot S_{\text{ТХК-2}}^{0,7937}, \quad (2.37)$$

$$IRI = 0,0241 \cdot S_{\text{ТЕД}} + 0,8253, \quad (2.38)$$

$$IRI = 0,0831 \cdot S_{\text{ТХК-2}}^{0,7937} + 0,8253, \quad (2.39)$$

де $S_{\text{ТЕД}}$ і $S_{\text{ТХК-2}}$ – рівність дорожнього покриття, визначена поштовхомірами ТЕД і ТХК-2 відповідно, см/км;

IRI – рівність дорожнього покриття за міжнародним індексом рівності *IRI*, м/км;

– за дослідженнями А. П. Васильєва [92]:

$$S_{\text{ТХК-2}} = \left(\frac{S_{\text{ПКРС}} - 100}{4,4} \right), \quad (2.40)$$

$$IRI = 0,0831 \left(\frac{S_{\text{ПКРС}} - 100}{4,4} \right)^{0,7937} + 0,8253, \quad (2.41)$$

де $S_{\text{ПКРС}}$ – рівність дорожнього покриття, визначена приладом ПКРС-2У, см/км.

Аналізуючи структуру наведених вище емпіричних рівнянь слід зазначити, що вони побудовані за загальною логічно виправданою моделлю:

$$IRI_t = IRI_0 + \Delta IRI_t, \quad (2.42)$$

де IRI_t – показник рівності покриття через (*t*) років експлуатації, м/км;

IRI_0 – початковий показник рівності покриття, м/км;

ΔIRI_t – приріст показника рівності покриття за (t) років експлуатації, м/км.

Після перетворень моделі [74] отримано формулу:

$$S_t = S_0 + \Delta S_t = S_0 + S_0 \left[1,0066 \cdot K_{\text{мц}}^{-0.33} \cdot \exp(0,08 \cdot t) - 1 \right], \quad (2.43)$$

де S_t , S_0 – показник рівності покриття за поштовхоміром через (t) років експлуатації та початковий показник рівності покриття відповідно, см/км;

ΔS_t – приріст показника рівності покриття за поштовхоміром за (t) років експлуатації, см/км;

$K_{\text{мц}}$ – коефіцієнт запасу міцності дорожнього одягу;

Аналогічні рішення отримані за моделями В. І. Жабіна [105], О. А. Красікова [107] та інших.

Приріст показника рівності за всіма моделями залежить від загального модуля пружності дорожнього одягу або коефіцієнта запасу міцності за критерієм граничного пружного прогину. Цей зв'язок має експоненціальний характер або може бути апроксимований поліномом другого ступеня.

Якщо розглядати коефіцієнт запасу міцності як похідну від фактичного і потрібного модулів пружності, то модуль пружності в усіх моделях є параметром ступеневої функції, а інтенсивність руху має пропорційний вплив, близький до лінійної залежності:

$$K_{\text{мц}} = \frac{E_{\text{ф}}}{E_{\text{потр}}} = \frac{E_{\text{ф}}}{A + B \cdot \ln \sum N}, \quad (2.44)$$

де $E_{\text{ф}}$ – фактичний модуль пружності дорожнього одягу, МПа;

$E_{\text{потр}}$ – потрібний модуль пружності дорожнього одягу, МПа;

A, B – коефіцієнти, що залежать від групи розрахункового навантаження;

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

Результати визначення показника рівності покриття за різними моделями для порівняльних розрахунків зі змінними параметрами наведено у Додатку А (таблиця А.1). За результатами розрахунку визначено вагомість окремих параметрів моделей (за допомогою MS Excel у середовищі програмування Delfi). Чутливість показника рівності до зміни параметрів оцінювалася за допомогою ітераційної процедури (табл. 2.1), що дозволило встановити коефіцієнти вагомості факторів впливу:

- початкова рівність $\bar{K}_{\text{сер}} = 0,980$;
- інтенсивність руху і строк експлуатації $\bar{K}_{\text{сер}} = 0,54 \div 0,55$;
- коефіцієнт запасу міцності $\bar{K}_{\text{сер}} = 0,467$;
- модуль пружності змінюється у діапазоні від $\bar{K}_{\text{сер}} = 0,4$ до $\bar{K}_{\text{сер}} = 0,54$ в залежності від інтенсивності руху.

Таблиця 2.1 – Визначення вагомості параметрів моделей в залежності від коефіцієнта зміни ($K_{\text{зм}}$) параметра

Найменування параметру	Діапазон зміни		$K_{\text{зм}}$	За моделлю:											
				В. Ф. Демішкана				В. І. Жабіна				О. А. Красікова			
	IRI_t			$K_{\text{зм}}$	$\overline{K}$	IRI_t		$K_{\text{зм}}$	$\overline{K}$	IRI_t		$K_{\text{зм}}$	$\overline{K}$		
	від	до				від	до			від	до				
IRI_0 , м/км	1,70	5,00	2,94	2,22	6,72	3,03	1,03	2,44	6,80	2,79	0,95	1,94	5,70	2,94	1,00
E_{min} , МПа	100	200	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	2,48	1,96	0,79	0,40
$K_{\text{мц}}$	0,50	1,00	2,00	2,45	2,18	0,89	0,44	2,66	2,60	0,98	0,49	-	-	-	-
t , років	5	11	2,20	2,04	2,60	1,27	0,58	2,44	3,29	1,35	0,61	1,94	2,00	1,03	0,47
N , авт/добу	258	576	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	2,10	1,05	0,53

Найменування параметру	Діапазон зміни		$K_{\text{зм}}$	За моделлю:												$\overline{K}_{\text{сер}}$
				ТОВ «Автодор Інжинірінг»				О. В. Смірнова				Д. А. Скоробогатченка				
	IRI_t			$K_{\text{зм}}$	$\overline{K}$	IRI_t		$K_{\text{зм}}$	$\overline{K}$	IRI_t		$K_{\text{зм}}$	$\overline{K}$			
	від	до				від	до			від	до					
IRI_0 , м/км	1,70	5,00	2,94	1,87	5,17	2,76	0,94	10,47	29,00	2,77	0,94	-	-	-	-	0,97
E_{min} , МПа	100	200	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40
$K_{\text{мц}}$	0,50	1,00	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47
t , років	5	11	2,20	1,87	2,07	1,11	0,50	10,41	13,30	1,28	0,58	4,43	7,75	1,75	0,80	0,59
N , авт/добу	258	576	2,00	2,07	2,38	1,15	0,57	-	-	-	-	7,75	7,97	1,03	0,51	0,54

Аналіз достовірності моделей прогнозування рівності проводився для двох груп моделей, що побудовані за результатами спостережень (експериментальних даних):

- протягом 4-5 років [68, 74, 130, 132, 133];
- протягом 9-15 років [132, 105].

Результати аналізу першої групи моделей (таблиці 2.2-2.3, рис. 2.7-2.8) дозволили встановити незначну кореляцію між експериментальними даними та теоретичною залежністю. Це пояснюється неоднорідністю експериментальних даних [68, 74] через реалізацію заходів щодо приведення показника рівності до нормативних значень, що знижує точність теоретичної моделі.

Результати аналізу другої групи моделей наведено у таблиці 2.4 та на рисунках 2.9-2.12. Порівняльний аналіз моделей (таблиця 2.5, рисунок 2.13) дозволив встановити:

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані змінювання рівності покриття у часі (В. Ф. Демішкан) згідно з [74]

Рік експлуатації	Показник рівності покриття за поштовхоміром, см/км	
	фактичне значення	теоретичне значення
0	39	40
1	44	43
2	57	49
3	66	53
4	61	59
5	72	67
6	75	73
7	62	74
8	71	79
9	78	86

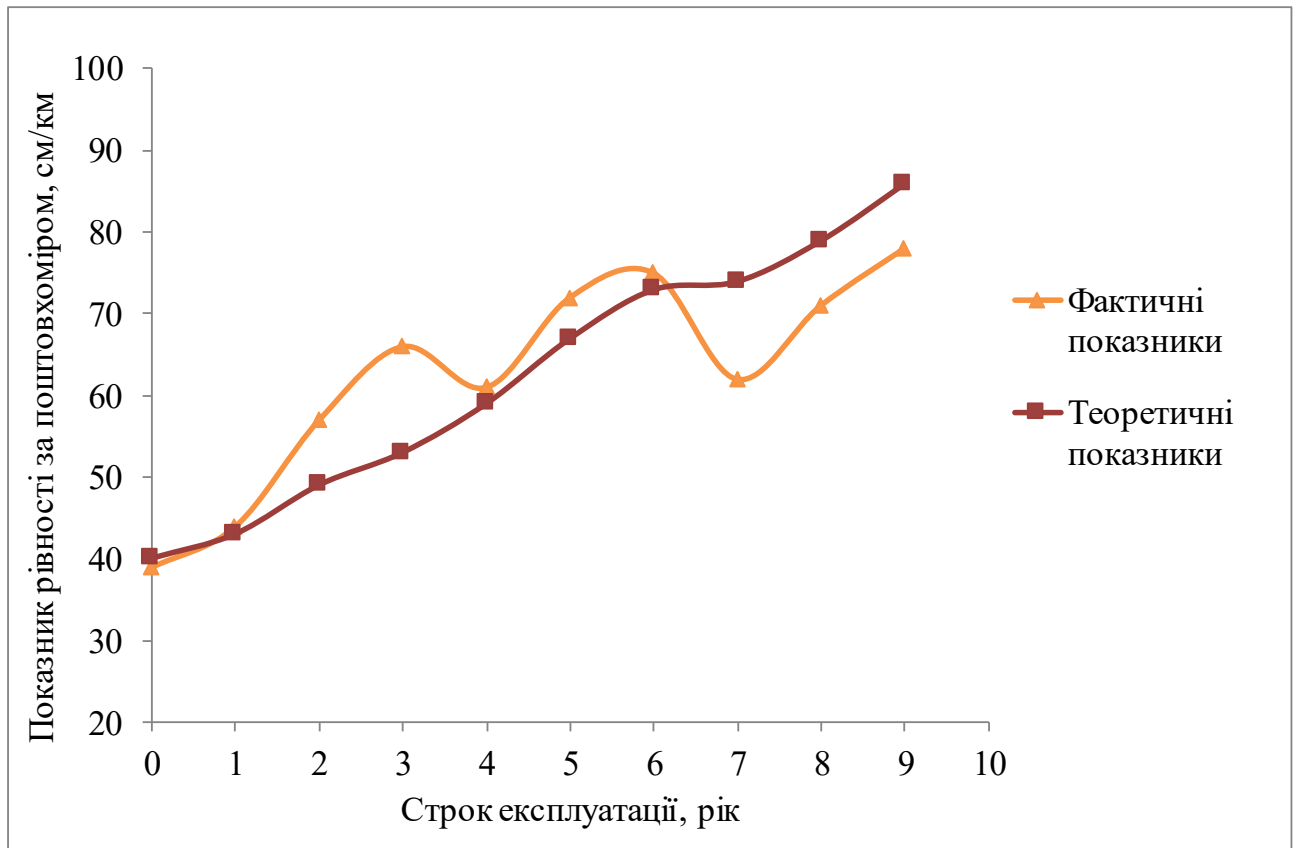


Рисунок 2.7 – Експериментальні дані змінювання рівності покриття у часі (В. Ф. Демішкан) згідно з [74]

Таблиця 2.3 – Експериментальні дані змінювання рівності покриття у часі (Ю. В. Буртиль) згідно з [68]

Рік експлуатації	Показник рівності покриття IRI, м/км	
	Ділянка №1	Ділянка №2
1	4,6	5,7
2	4,8	4,8
3	5,0	5,7
4	4,2	5,9
5	4,3	6,1
6	4,5	6,3
7	4,7	6,5
8	5,2	6,7
9	5,7	6,9
11	4,8	-
12	5,5	-

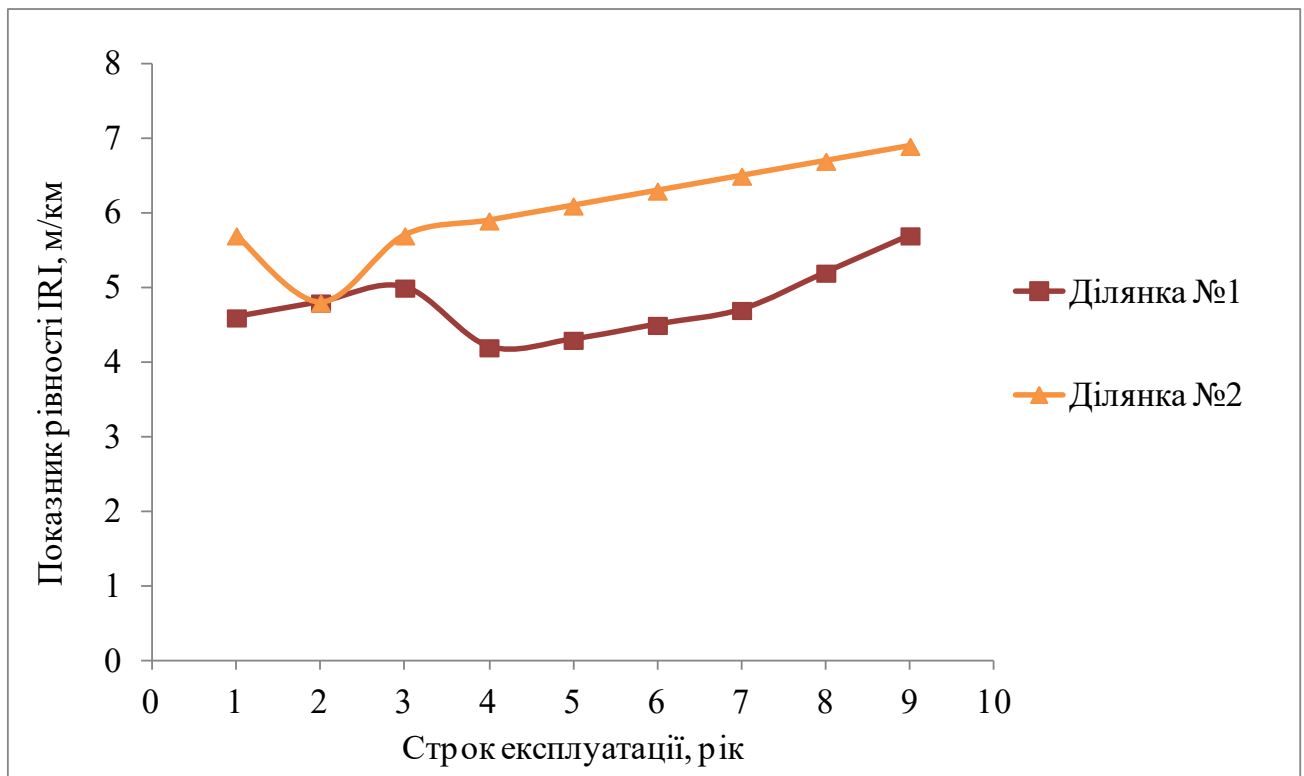


Рисунок 2.8 – Експериментальні дані змінювання рівності покриття у часі (Ю. В. Буртиль) згідно з [68]

Таблиця 2.4 – Експериментальні дані змінювання рівності покриття у часі (А. С. Любченко) згідно з [132]

Рік експлуатації	Показник рівності покриття за поштовхоміром ТХК-2, см/км							
	Ділянка №1	Ділянка №2	Ділянка №3	Ділянка №4	Ділянка №5	Ділянка №6	Ділянка №7	Ділянка №8
1	88	78	83	99	75	63	60	88
2	100	93	91	131	85	59	70	108
3	106	102	95	142	94	69	80	122
4	112	116	110	150	104	79	91	147
5	133	121	118	174	111	88	102	160
6	155	135	-	204	116	103	106	175
7	180	150	-	235	126	120	115	-
8	209	161	-	-	145	139	133	-
9	255	-	-	-	146	-	-	-

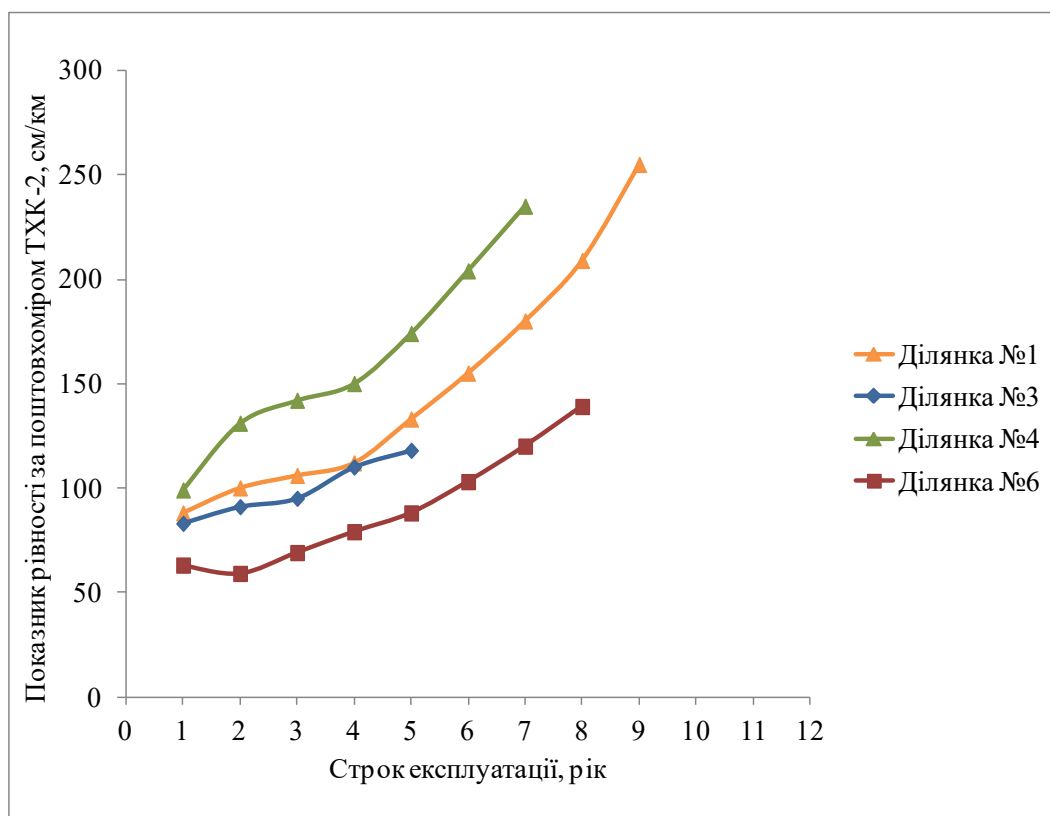


Рисунок 2.9 – Експериментальні дані змінювання рівності покриття у часі згідно з [132]

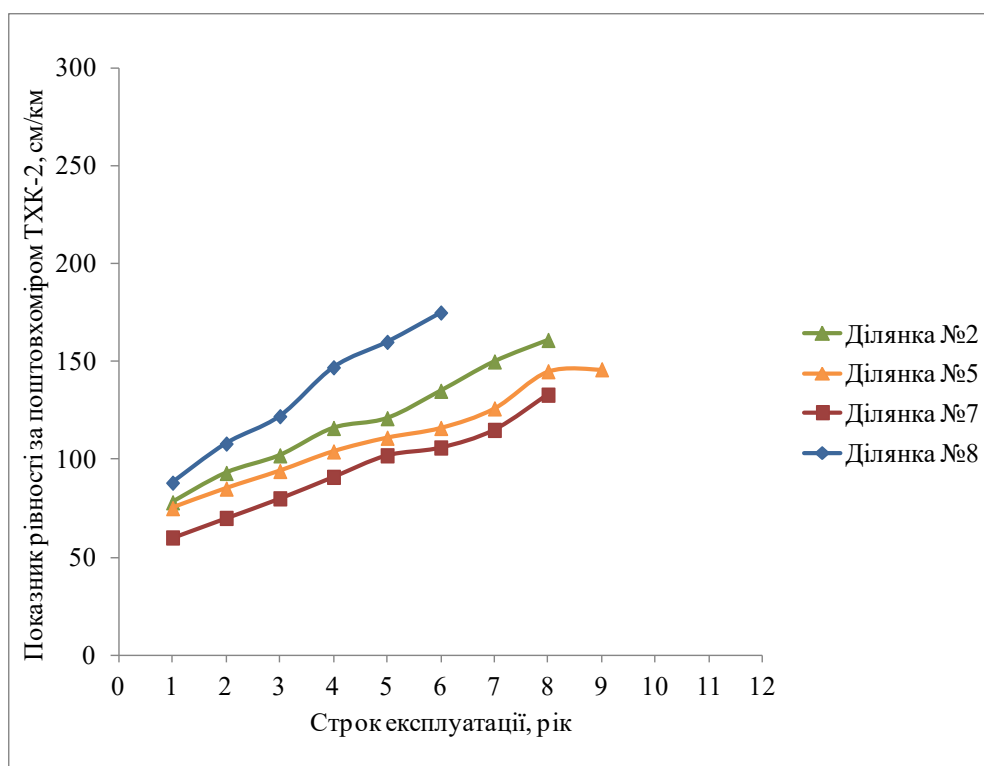


Рисунок 2.10 – Експериментальні дані змінювання рівності покриття у часі згідно з [132]

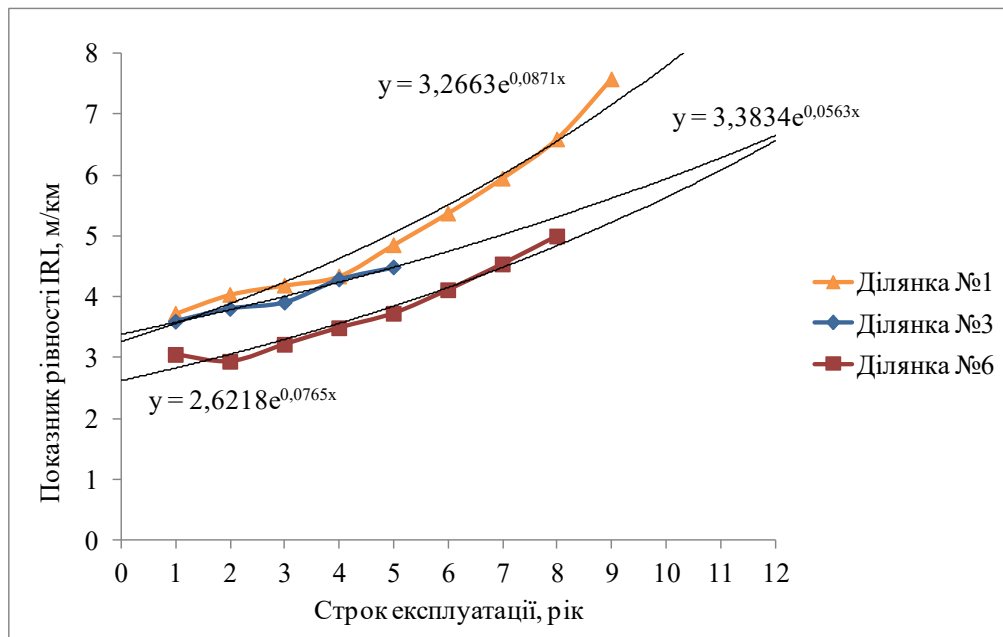


Рисунок 2.11 – Апроксимація експериментальних даних змінювання рівності покриття у часі згідно з [132]

(загальний модуль пружності $E = 255$ МПа, інтенсивність транспортного потоку $N_p = 812$ авт./добу, коефіцієнт зростання інтенсивності руху $q = 1,10$)

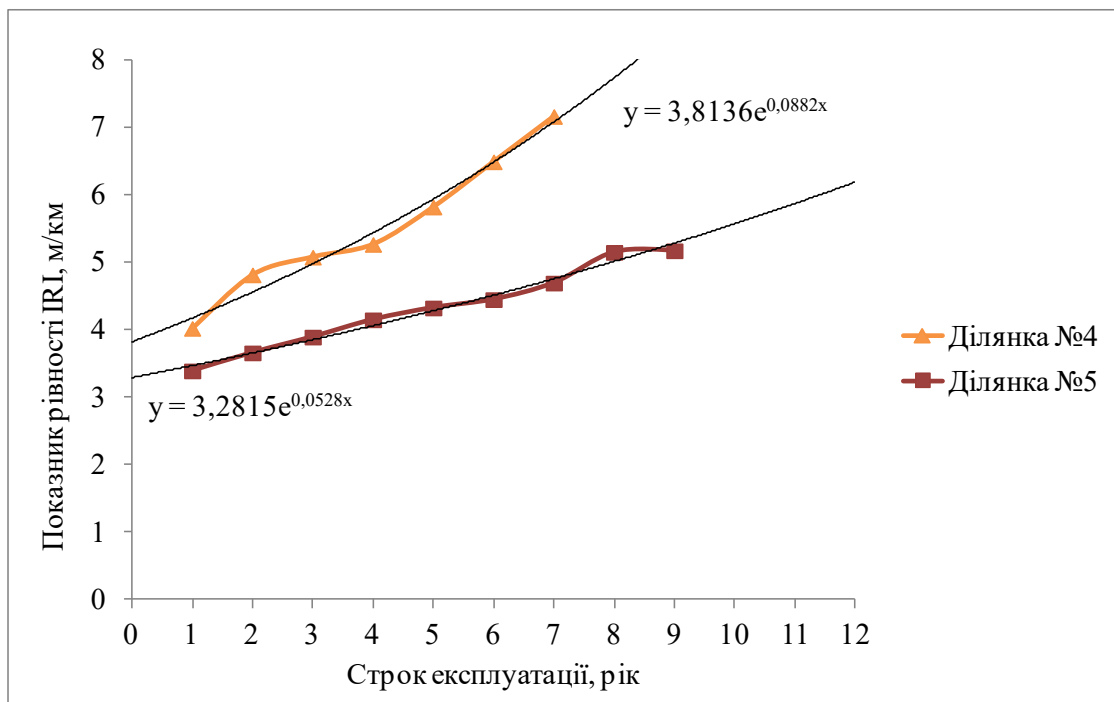


Рисунок 2.12 – Апроксимація експериментальних даних змінювання рівності покриття у часі згідно з [132]

(загальний модуль пружності $E = 224$ МПа, інтенсивність транспортного потоку $N_p = 269$ авт./добу, коефіцієнт зростання інтенсивності руху $q = 1,03$)

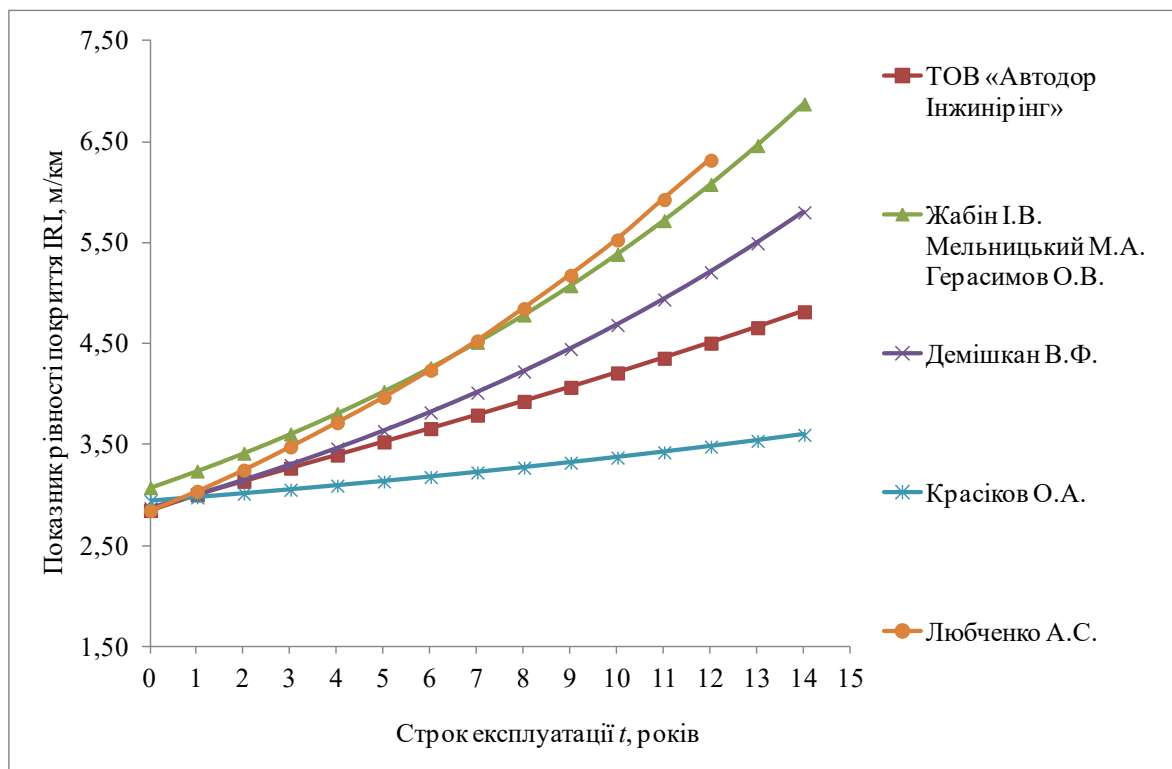


Рисунок 2.13 – Зв'язок показника рівності покриття зі строком експлуатації дорожнього одягу

- серед факторів впливу строк експлуатації має максимальну вагомість;
- темп змінювання показника рівності протягом строку експлуатації характеризується етапом низького темпу змінювання рівності, що наближується до лінійного (від 1 року до 4 років) та етапом стрімкого нагромадження деформацій (понад 5 років), що узгоджується з результатами досліджень [105].

Статистичний аналіз результатів визначення рівності покриття за різної інтенсивності руху, або загальної кількості циклів навантаження доводить кращу кореляцію з останнім фактором [68, 76, 98, 107]. Слід зазначити також, що процес погіршення експлуатаційного стану покриття суттєво відрізняється для різних типів транспортних засобів та залежить від їх вантажопідйомності і розподілу маси по осям [50, 68, 76, 109].

Таблиця 2.5 – Порівняльний аналіз моделей прогнозування рівності покриття

Ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспортів T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км				
											Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Любченко А.С.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2,85	3980	1226	0	1,00	250	250	1,04	0,00	28	2,94	2,87	3,08	2,85	2,85
2	2,85	3980	1226	1	1,00	250	250	1,04	0,45	28	2,98	3,01	3,24	3,01	3,04
3	2,85	3980	1226	2	1,00	250	250	1,04	0,91	28	3,02	3,15	3,42	3,14	3,25
4	2,85	3980	1226	3	1,00	250	250	1,04	1,40	28	3,06	3,30	3,61	3,27	3,48
5	2,85	3980	1226	4	1,00	250	250	1,04	1,90	28	3,10	3,46	3,81	3,40	3,72
6	2,85	3980	1226	5	1,00	250	250	1,04	2,42	28	3,14	3,64	4,03	3,53	3,97
7	2,85	3980	1226	6	1,00	250	250	1,04	2,97	28	3,18	3,82	4,26	3,66	4,24
8	2,85	3980	1226	7	1,00	250	250	1,04	3,53	28	3,23	4,02	4,52	3,79	4,53
9	2,85	3980	1226	8	1,00	250	250	1,04	4,12	28	3,27	4,23	4,79	3,93	4,85
10	2,85	3980	1226	9	1,00	250	250	1,04	4,74	28	3,32	4,45	5,08	4,07	5,18
11	2,85	3980	1226	10	1,00	250	250	1,04	5,37	28	3,37	4,69	5,39	4,21	5,53
12	2,85	3980	1226	11	1,00	250	250	1,04	6,03	28	3,43	4,94	5,72	4,36	5,93
13	2,85	3980	1226	12	1,00	250	250	1,04	6,72	28	3,48	5,21	6,08	4,51	6,32
14	2,85	3980	1226	13	1,00	250	250	1,04	7,44	28	3,54	5,50	6,46	4,66	-
15	2,85	3980	1226	14	1,00	250	250	1,04	8,18	28	3,60	5,80	6,88	4,82	-

2.4 Удосконалена модель прогнозування рівності покриття

У попередніх розділах із застосуванням факторного аналізу встановлено найбільш значимі параметри (фактори) моделі змінювання рівності покриття у часі. Це дає можливість обмежитись найбільш інформативними параметрами.

Основою моделі прогнозування рівності покриття є загальноприйняте твердження, що 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:

$$IRI_t = IRI_0 + \Delta IRI_t, \quad (2.45)$$

або

$$IRI_t = IRI_0 \cdot (1 + \Delta_t), \quad (2.46)$$

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.

Приріст індексу рівності ΔIRI_t розглядається як функція параметрів:

– загального еквівалентного модуля пружності дорожнього одягу, фактичного або потрібного (E , МПа);

– кількості циклів прикладання навантаження за t років служби дорожнього одягу;

– частки вантажних автомобілів у транспортному потоці;

– коефіцієнта запасу міцності дорожнього одягу $K_{\text{мц}} = \frac{E_{\text{ф}}}{E_{\text{потр}}}$.

Тоді основне завдання полягає у визначенні приросту показника рівності. За результатами аналізу експериментальних даних [68, 73-74, 83, 88, 91, 105, 109, 132-134] і спостережень, що виконані автором дисертації (розділ 3), встановлено, що практично незалежно від інтенсивності руху у перший рік експлуатації дорожнього одягу після будівництва, реконструкції або капітального ремонту відбувається формування щільної структури асфальтобетону і шарів основи. Цей період може бути охарактеризований як початковий, а змінювання рівності – як початкове. Цей висновок узгоджується з результатами досліджень, що проведені у різний час на автомобільних дорогах загального користування [68, 74, 107, 109, 132]. Статистичний і графічний аналіз впливу загального модуля пружності дорожнього одягу на початкову зміну рівності дозволив встановити кореляційну залежність у вигляді:

$$\Delta IRI_E = 1,51374 \cdot \exp\left(-\frac{E}{50}\right), \quad (2.47)$$

де ΔIRI_E – коефіцієнт приросту показника рівності покриття в залежності від модуля пружності, м/км;

E – загальний модуль пружності дорожнього одягу, МПа.

Модель (2.47), що отримана за результатами статистичної обробки експериментальних і розрахункових даних враховує результати експериментальних досліджень [68, 74, 105, 109, 132-133] та позбавлена недоліків більшості моделей [74, 105-109], де модуль пружності конструкції дорожнього одягу не перевищує 300 МПа. У запропонованій моделі (2.47) граничне значення загального еквівалентного модуля пружності конструкції дорожнього одягу становить 600 МПа, що відповідає реальним значенням несучої здатності конструкції дорожнього одягу на автомобільних дорогах загального користування II – IV категорій.

Другим фактором, що впливає на змінювання рівності покриття є інтенсивність руху (кількість циклів прикладання розрахункового навантаження) за строк служби дорожнього одягу.

Аналіз результатів моделювання деградації рівності покриття та порівняння з експериментальними даними [73, 91, 109, 133], в тому числі з даними, що отримані протягом 9-12 років [74, 132, 135], дозволили встановити основні закономірності змінювання показника рівності у часі (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Інтенсивність зміни показника рівності в часі

Рік експлуатації	Відношення перспективного показника рівності покриття до початкового за моделлю:			
	О. А. Красікова	В. Ф. Демішкана	В. І. Жабіна	А. С. Любченко
2	1,06	1,11	1,20	1,14
4	1,09	1,21	1,33	1,30
6	1,13	1,34	1,49	1,49
7	1,15	1,41	1,58	1,59
8	1,17	1,48	1,68	1,70
9	1,20	1,56	1,78	1,80
10	1,23	1,64	1,89	1,94
12	1,30	1,83	2,13	2,22

Згідно з даними таблиці 2.6 тільки модель О. А. Красікова [107] має мінімальну інтенсивність зростання показника рівності у часі. У моделях (таблиця 2.6) час враховується:

– як кількість циклів прикладань розрахункового навантаження за період (t) років згідно з [107]:

$$\sum \bar{N}_p = 365 \cdot N_p \cdot \frac{q^t - 1}{q - 1} \cdot 10^{-6}, \quad (2.48)$$

де $\sum \bar{N}_p$ – кількість циклів прикладань розрахункового навантаження за період (t) років, од.;

N_p – інтенсивність руху на смугу, приведена до розрахункового навантаження в перший рік експлуатації, авт./добу;

q – коефіцієнт зростання інтенсивності руху;

t – час з початку експлуатації або капітального ремонту, років;

– як експоненціальна функція згідно з [74]:

$$\bar{t} = \exp(0,08 \cdot t) \quad (2.49)$$

або згідно з [105]:

$$\bar{t} = \exp(0,089 \cdot t), \quad (2.50)$$

де $\bar{t}$ – коефіцієнт впливу часу експлуатації дорожнього одягу на загальний показник рівності покриття.

Порівнюючи коефіцієнт впливу часу на загальний показник рівності (2.48-2.50) встановлено, що за рівних умов за (2.50) коефіцієнт впливу сумарної кількості прикладань розрахункового навантаження становить від 0,15 до 0,88, тоді як за експериментальними даними [74, 132, 135], цей коефіцієнт знаходиться у межах від 1,17 до 2,43. Цим пояснюється незначна інтенсивність зростання показника рівності у часі у моделях на основі сумарної кількості циклів прикладань розрахункового навантаження.

За результатами апроксимації експериментальних і теоретичних даних щодо рівності покриття методом найменших квадратів отримано кореляційну залежність:

$$K_t = 0,82543 + 0,020896 \cdot t + 0,004742 \cdot t^2, \quad (2.51)$$

де K_t – коефіцієнт узгодження впливу часу експлуатації на показник рівності;

t – час експлуатації дорожнього одягу, років.

Зазначимо, що більшість теоретичних моделей і експериментальних даних ґрунтуються на розрахунковому навантаженні 115 кН або 100 кН на вісь транспортного засобу. Агресивність впливу кожної групи розрахункового навантаження різна. Тому на наступному етапі дослідження за результатами моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу під навантаження групи A_1 – 130 кН, A_2 – 115 кН, A_3 – 100 кН з урахуванням

впливу циклічності навантаження отримано кореляційну залежність:

$$A_Q = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x-x_0)/dx}} + A_2, \quad (2.52)$$

де A_Q – коефіцієнт, що враховує вплив групи розрахункового навантаження;

A_1, A_2, x, x_0, dx – коефіцієнти, що дорівнюють $A_1 = 0,27174$; $A_2 = 1,13032$; $x_0 = 0,91646$; $dx = 0,04855$;

$$x = \frac{Q}{115}, \quad (2.53)$$

де Q – розрахункове навантаження на вісь, кН.

Тоді рівняння (2.52) може бути представлено у вигляді:

$$A_Q = \frac{-0,85858}{1 + e^{\left(\frac{Q}{5,583} - 18,8766\right)}} + 1,13032. \quad (2.54)$$

Чисельні значення A_Q наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Значення експериментальних коефіцієнтів A_Q

Тип навантаження	Розрахункове навантаження на вісь, кН	Значення коефіцієнту A_Q
A_1	130	1,13
A_2	115	1,00
A_3	100	0,51

Проведені дослідження дозволили представити модель прогнозування рівності покриття у вигляді:

$$IRI_t = IRI_0 \cdot \left(1 + \Delta IRI_E + \Delta_2 IRI_E \cdot \sum N \cdot 10^{-6} \cdot A_Q\right) \cdot K_t \cdot \bar{K}_{\text{мц}} + \Delta IRI_{P_{\text{в.а.}}}, \quad (2.55)$$

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, що визначається за формулою:

$$\Delta_2 IRI_E = 0,0394 - 0,05248 \cdot 10^{-4} \cdot E; \quad (2.56)$$

$\sum N$ – 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;

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

$$\bar{K}_{мц} = 1,23 \cdot \left(\frac{K_{мц}}{0,67} \right)^{-0,26}. \quad (2.57)$$

Потрібний модуль пружності дорожнього одягу при визначенні коефіцієнту міцності залежить від інтенсивності руху і складу транспортного потоку і визначається за [34].

Моделювання рівності за різних значень кількості прикладань розрахункового навантаження і середньозваженого коефіцієнта приведення розрахункового навантаження довели необхідність врахування частки вантажних автомобілів, в тому числі великовантажних транспортних засобів. Це положення знаходить підтвердження при аналізі вимірної рівності покриття і складу транспортного потоку на автомобільних дорогах Харківській області. Встановлення впливу частки вантажних транспортних засобів у складі

транспортного потоку на змінювання показника рівності у часі здійснено за результатами статистичної обробки даних щодо інтенсивності та складу транспортного потоку на автомобільних дорогах державного значення Харківської області за період з 2008 року по 2017 рік [136].

У процесі дослідження для кожної ділянки автомобільної дороги, за даними СУСП, паспортів автомобільних доріг та результатами безпосередніх вимірювань були встановлені: рівність покриття; загальний еквівалентний модуль пружності конструкції дорожнього одягу; частка деформацій і руйнувань покриття; час проведення останніх ремонтних заходів. До вихідних даних були залучені результати моделювання рівності покриття (табл. А.1) та результати аналізу інтенсивності і складу транспортного потоку [136].

Апроксимація методом найменших квадратів вихідних даних дозволила отримати кореляційну залежність (коефіцієнт кореляції 0,965) у вигляді:

$$\Delta IRI_{P_{\text{в.а.}}} = \Sigma N \cdot 10^{-6} \cdot c \cdot S_{\text{сер.-зв.}} \cdot P_{\text{в.а.}}, \quad (2.58)$$

де $P_{\text{в.а.}}$ – загальна частка вантажних автомобілів в транспортному потоці;

$S_{\text{сер.-зв.}}$ – середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку до розрахункового навантаження, що визначається за формулою:

$$S_{\text{сер.-зв.}} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_{i\text{сум}} \cdot P_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i)}, \quad (2.59)$$

де $S_{i\text{сум}}$ – сумарний коефіцієнт приведення дії на дорожній одяг транспортного засобу i -ої марки до розрахункового навантаження ($Q_{\text{розр}}$) згідно з ГБН В.2.3-37641918-559 [34];

P_i – частка транспортних засобів i -ої марки у складі транспортного потоку;

n – кількість марок транспортних засобів у складі транспортного потоку;

$P_{\text{в.а.}}$ – частка вантажних автомобілів у складі транспортного потоку;

c – коефіцієнт, що визначається експериментально та залежить від групи розрахункового навантаження (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Коефіцієнт (c), що залежить від групи розрахункового навантаження

Група розрахункового навантаження	Розрахункове навантаження на вісь, кН	Значення коефіцієнту c
A ₁	130	0,33
A ₂	115	0,65
A ₃	100	0,75

Узагальнення отриманих результатів дозволило розробити модель змінювання рівності покриття у часі, що враховує інтенсивність руху та склад транспортного потоку, загальний еквівалентний модуль пружності конструкції дорожнього одягу, коефіцієнт запасу міцності:

$$\begin{aligned}
 IRI_t = IRI_0 & \left[1 + 1,51374 \cdot \exp\left(-\frac{E}{50}\right) + \left(0,0394 - 0,05248 \cdot 10^{-4} \cdot E\right) \times \right. \\
 & \left. \times 365 \cdot N \cdot \frac{q^t - 1}{q - 1} \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{-0,85858}{1 + \exp\left(\frac{Q}{5,583} - 18,8766\right)} + 1,13032 \right) \right] \times \\
 & \times \left(0,82543 + 0,020896 \cdot t + 0,004742 \cdot t^2 \right) \cdot 1,23 \cdot \left(\frac{K_{\text{мп}}}{0,67} \right)^{-0,26} + \\
 & + c \cdot S_{\text{сер.-зв}} \cdot P_{\text{в.а.}} \cdot \sum N \cdot 10^{-6}. \quad (2.60)
 \end{aligned}$$

2.5 Апробація і оцінка достовірності моделі прогнозування рівності покриття

Для апробації та оцінки достовірності моделі прогнозування рівності покриття були залучені експериментальні дані та теоретичні моделі [73, 74, 105, 107, 132, 133, 135]. Вихідними даними для моделювання змінювання рівності

покриття у часі є результати вимірювань, що проведені автором дисертації на автомобільних дорогах загального користування та дані, що отримані А. С. Любченко на автомобільних дорогах I, II і III категорій [132]:

– ділянка № 1, ділянка № 6 – автомобільна дорога II категорії завдовжки 11 км з інтенсивністю руху розрахункових автомобілів групи $A_2 (N_p)$ 812 авт./добу, потрібний модулем пружності $E_{\text{потр}} = 260$ МПа, строк спостережень – десять років;

– ділянка № 2 – автомобільна дорога I категорії завдовжки 5 км з інтенсивністю руху розрахункових автомобілів групи $A_2 (N_p)$ 1623 авт./добу, потрібний модуль пружності $E_{\text{потр}} = 290$ МПа, строк спостережень після реконструкції від чотирьох років до п'яти років;

– ділянка № 3 – автомобільна дорога II категорії завдовжки 5 км з інтенсивністю руху розрахункових автомобілів групи $A_2 (N_p)$ 812 авт./добу, потрібний модуль пружності $E_{\text{потр}} = 255$ МПа, строк спостережень – п'ять останніх років перед реконструкцією;

– ділянка № 4, ділянка № 5 – автомобільна дорога III категорії завдовжки 6 км з інтенсивністю руху розрахункових автомобілів групи $A_2 (N_p)$ 269 авт./добу, потрібний модуль пружності $E_{\text{потр}} = 225$ МПа, строк спостереження на ділянці № 4 становить сім років, на ділянці № 5 – останні вісім років перед капітальним ремонтом;

– ділянка № 7 – автомобільна дорога II категорії завдовжки 5 км з інтенсивністю руху розрахункових автомобілів групи $A_2 (N_p)$ 1003 авт./добу, потрібний модуль пружності $E_{\text{потр}} = 260$ МПа, строк спостереження – сім років;

– ділянка № 8 – автомобільна дорога III категорії завдовжки 5 км з інтенсивністю руху розрахункових автомобілів групи $A_3 (N_p)$ 307 авт./добу, потрібний модуль пружності $E_{\text{потр}} = 230$ МПа, строк спостереження – шість років.

Результати математичного моделювання змінювання рівності покриття у часі за запропонованою удосконаленою моделлю прогнозування рівності покриття (2.60) наведено на рисунках 2.17-2.27 та у Додатку А (табл. А.2-А.12). Адекватність запропонованої моделі оцінювалась шляхом зіставлення результатів математичного моделювання з результатами вимірювань, що отримані автором дисертації на автомобільних дорогах загального користування Харківської області, та результатами вимірювань, що наведені у науковій літературі [73, 74, 105, 107, 132, 133, 135]. Аналіз результатів моделювання (рис. 2.14-2.24), доводить, що на першому (початковому) етапі експлуатації тривалістю від 5 років до 7 років більшість моделей мають високу кореляцію з експериментальними даними. На другому етапі експлуатації кореляція між теоретичними і експериментальними даними зменшується (рис. 2.14, рис. 2.17, рис. 2.18). Це пояснюється тим, що більшість існуючих моделей побудовані за результатами спостережень за змінюванням рівності покриття протягом від 5 до 6 років, тому екстраполяція на більш тривалий строк має низьку точність.

Достовірність теоретичної моделі оцінювалась за критерієм Пірсона (табл. 2.9-2.19) шляхом зіставлення результатів розрахунку за удосконаленою моделлю прогнозування рівності покриття та результатів польових вимірювань на автомобільних дорогах Харківської області. За результатами статистичної обробки коефіцієнт кореляції Пірсона становить понад 0,95, що свідчить про достовірність результатів розрахунку за удосконаленою моделлю прогнозування рівності покриття. Зазначимо, що у випадку довгострокового прогнозування (строк прогнозування понад 5 років) удосконалена модель дозволяє отримати більш достовірний результат ніж відомі моделі короткострокового прогнозування рівності покриття. Таким чином, можна стверджувати, що розроблена модель зміни рівності покриття є адекватною і достовірною.

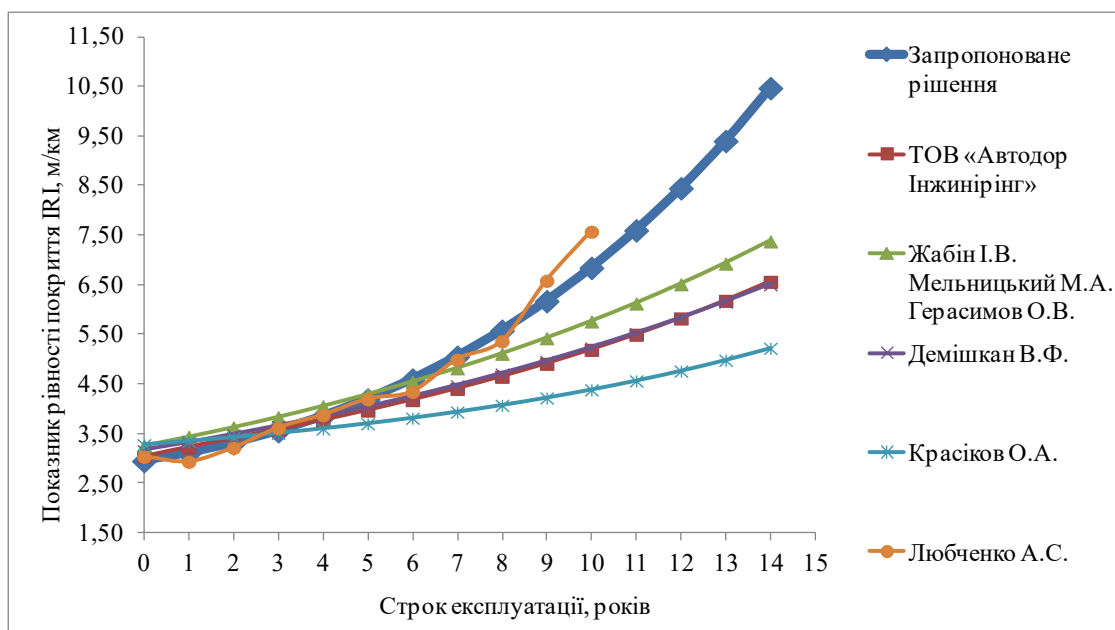


Рисунок 2.14 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці № 1: $IRI_0 = 3,04$ м/км; $A_2 = 115$ кН; $S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8$;

$$N = 5075 \text{ авт./добу}; N_p = 812 \text{ авт./добу}; K_{\text{мц}} = 0,85;$$

$$E_{\text{потр}} = 260 \text{ МПа}; E_{\text{ф}} = 220 \text{ МПа}, t = 10 \text{ років}$$

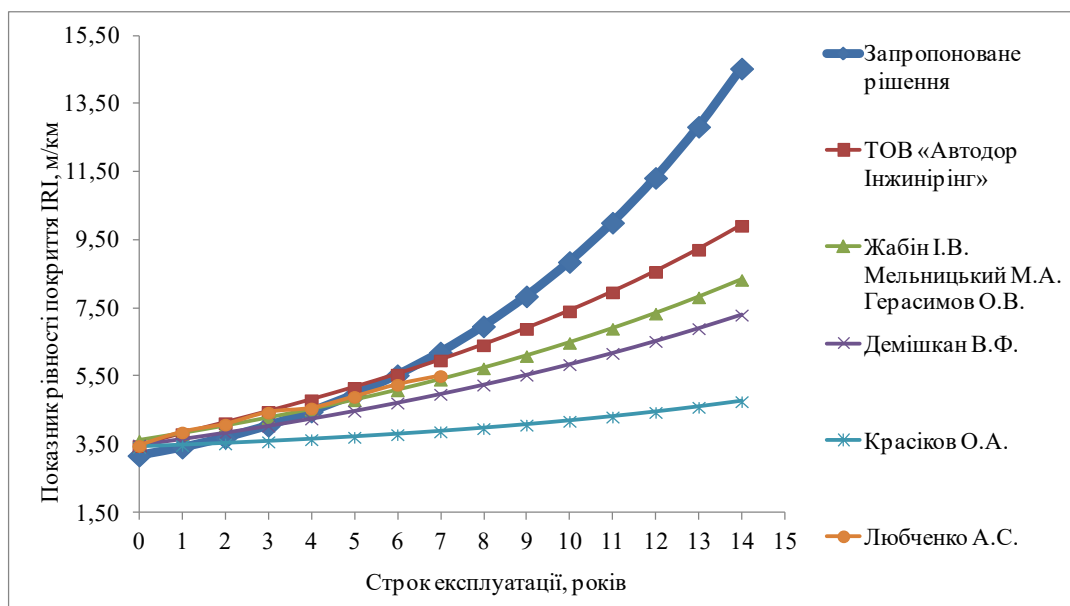


Рисунок 2.15 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці № 2: $IRI_0 = 3,46$ м/км; $A_2 = 115$ кН; $S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8$;

$$N = 10144 \text{ авт./добу}; N_p = 1623 \text{ авт./добу}; K_{\text{мц}} = 1,00;$$

$$E_{\text{потр}} = 290 \text{ МПа}; E_{\text{ф}} = 290 \text{ МПа}, t = 6 \text{ років}$$

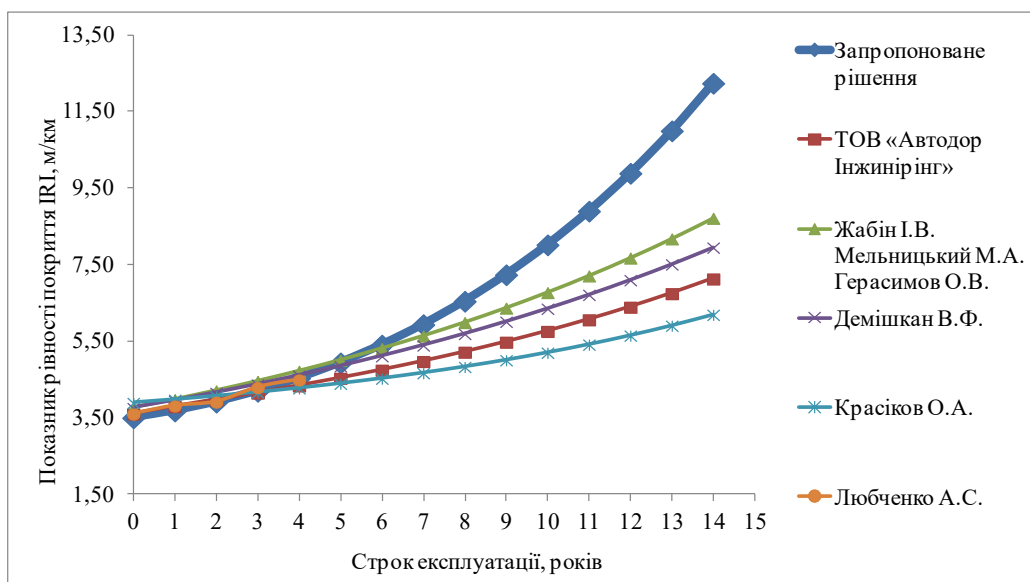


Рисунок 2.16 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці № 3: $IRI_0 = 3,60$ м/км; $A_2 = 115$ кН; $S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8$;

$$N = 5075 \text{ авт./добу}; N_p = 812 \text{ авт./добу}; K_{\text{мц}} = 0,85;$$

$$E_{\text{потр}} = 259 \text{ МПа}; E_{\text{ф}} = 220 \text{ МПа}, t = 5 \text{ років}$$

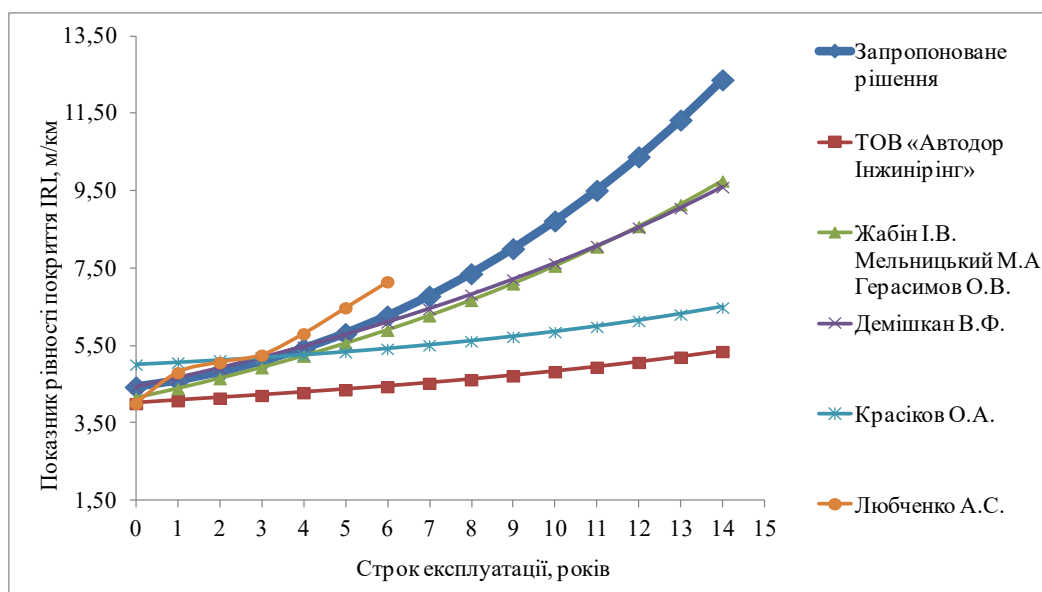


Рисунок 2.17 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці № 4: $IRI_0 = 4,01$ м/км; $A_2 = 115$ кН; $S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8$;

$$N = 5075 \text{ авт./добу}; N_p = 812 \text{ авт./добу}; K_{\text{мц}} = 0,85;$$

$$E_{\text{потр}} = 225 \text{ МПа}; E_{\text{ф}} = 146 \text{ МПа}, t = 7 \text{ років}$$

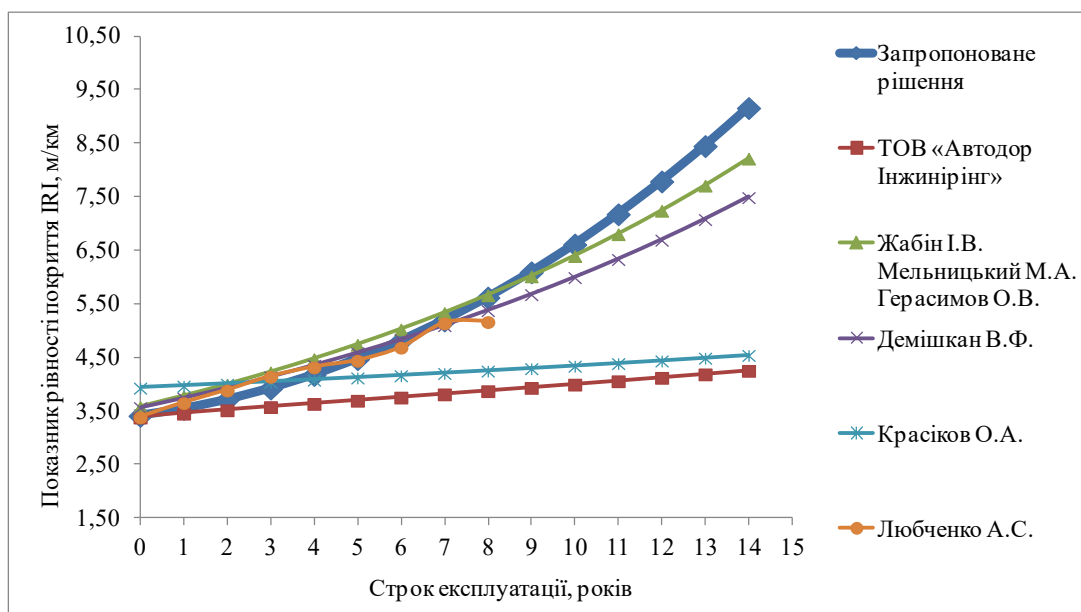


Рисунок 2.18 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці № 5: $IRI_0 = 3,38$ м/км; $A_2 = 115$ кН; $S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8$;

$$N = 1681 \text{ авт./добу}; N_p = 269 \text{ авт./добу}; K_{\text{мц}} = 0,8;$$

$$E_{\text{потр}} = 225 \text{ МПа}; E_{\text{ф}} = 180 \text{ МПа}, t = 9 \text{ років}$$

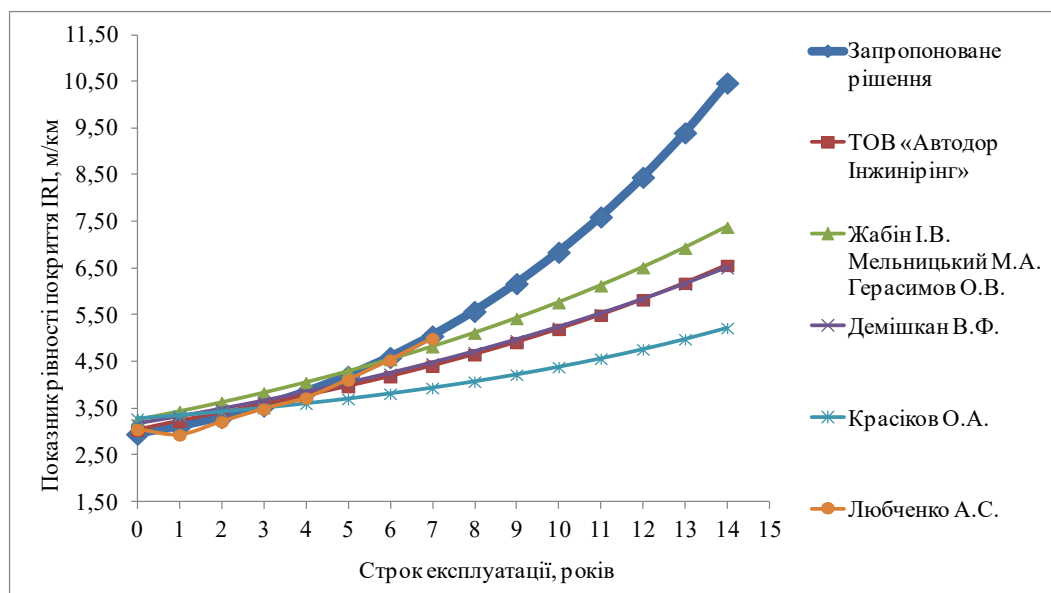


Рисунок 2.19 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці № 6: $IRI_0 = 3,05$ м/км; $A_2 = 115$ кН; $S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8$;

$$N = 5075 \text{ авт./добу}; N_p = 812 \text{ авт./добу}; K_{\text{мц}} = 0,85;$$

$$E_{\text{потр}} = 260 \text{ МПа}; E_{\text{ф}} = 220 \text{ МПа}, t = 6 \text{ років}$$

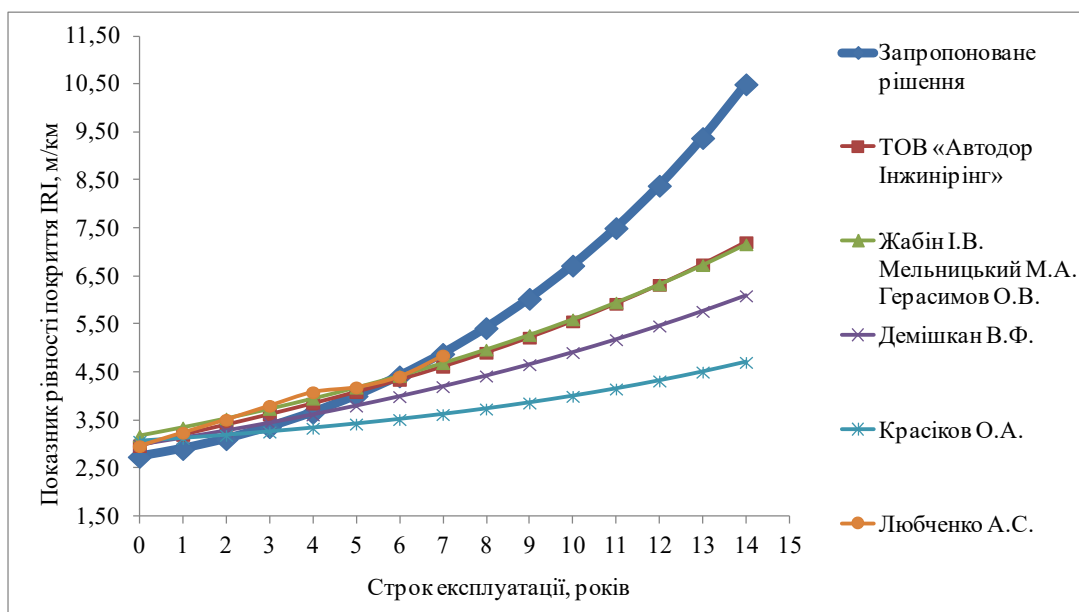


Рисунок 2.20 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці № 7: $IRI_0 = 2,97$ м/км; $A_2 = 115$ кН; $S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8$;

$$N = 6269 \text{ авт./добу}; N_p = 1003 \text{ авт./добу}; K_{\text{мц}} = 1,00;$$

$$E_{\text{потр}} = 250 \text{ МПа}; E_{\text{ф}} = 250 \text{ МПа}, t = 7 \text{ років}$$

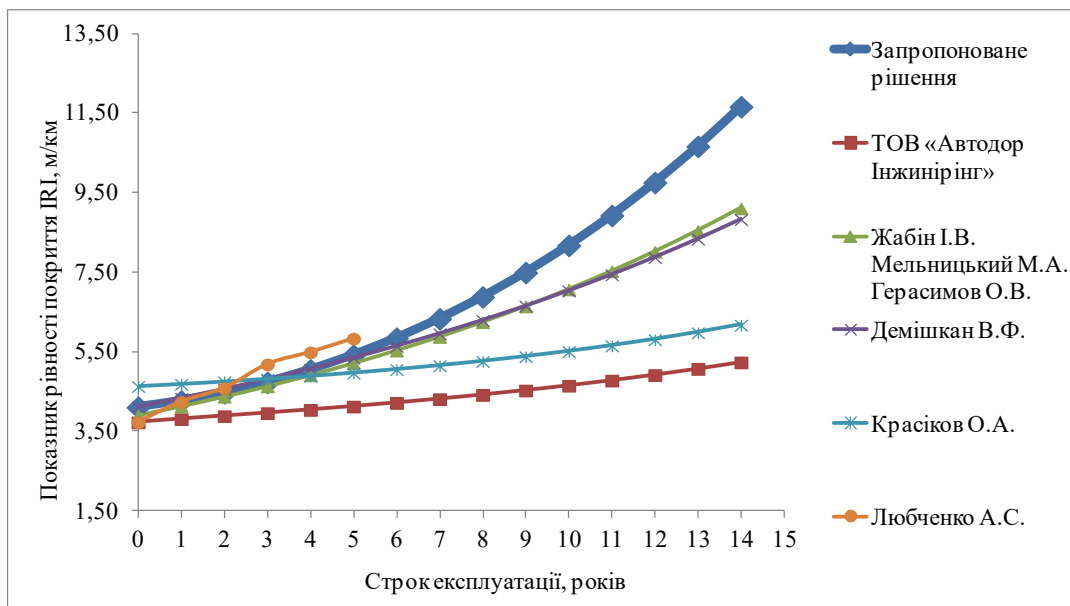


Рисунок 2.21 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці № 8: $IRI_0 = 3,73$ м/км; $A_2 = 100$ кН; $S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8$;

$$N = 1918 \text{ авт./добу}; N_p = 307 \text{ авт./добу}; K_{\text{мц}} = 0,65;$$

$$E_{\text{потр}} = 229 \text{ МПа}; E_{\text{ф}} = 149 \text{ МПа}, t = 5 \text{ років}$$

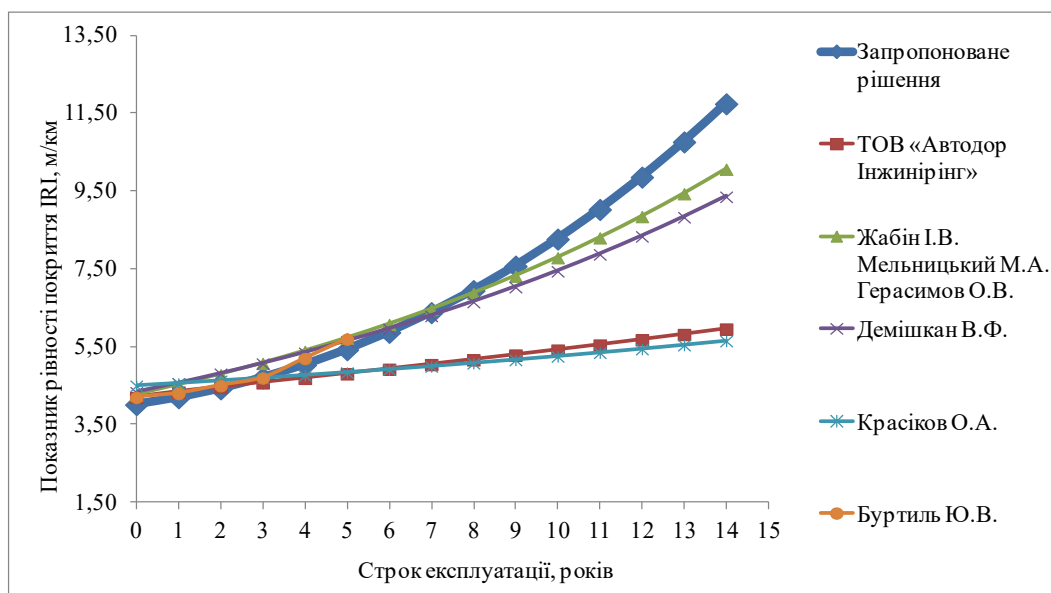


Рисунок 2.22 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці за даними Ю. В. Буртиль: $IRI_0 = 4,20$ м/км; $A_2 = 115$ кН; $S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8$; $N = 3500$ авт./добу; $N_p = 560$ авт./добу;

$$K_{\text{мц}} = 0,90; E_{\text{потр}} = 250 \text{ МПа}; E_{\text{ф}} = 225 \text{ МПа}, t = 6 \text{ років}$$

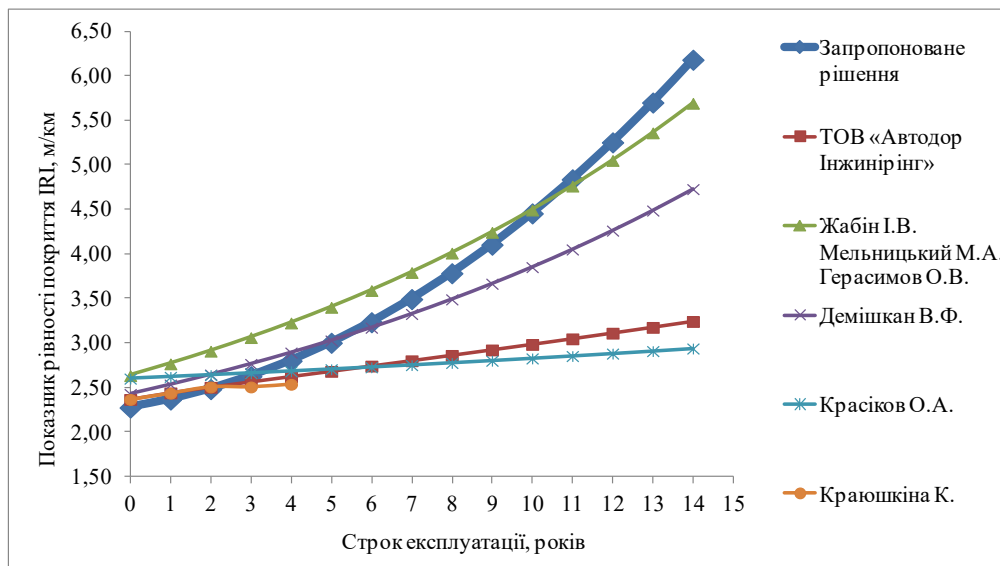


Рисунок 2.23 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці № 1 за даними К. Краюшкіної:

$$IRI_0 = 2,37 \text{ м/км}; A_2 = 115 \text{ кН}; S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8; N = 1685 \text{ авт./добу}; N_p = 270 \text{ авт./добу}; K_{\text{мц}} = 0,90; E_{\text{потр}} = 233 \text{ МПа}; E_{\text{ф}} = 210 \text{ МПа}, t = 5 \text{ років}$$

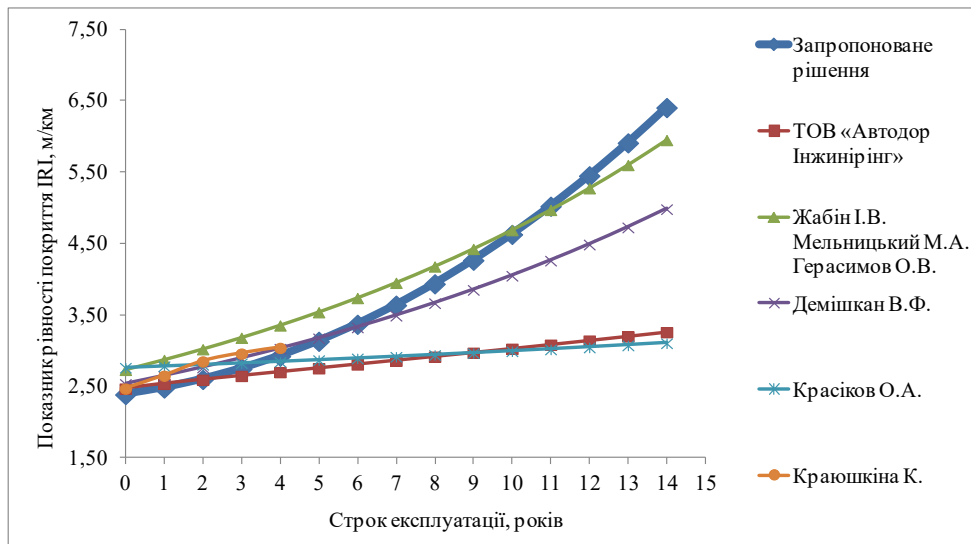


Рисунок 2.24 – Математичне моделювання змінювання рівності покриття на ділянці № 2 за даними К. Краюшкіної:

$$IRI_0 = 2,47 \text{ м/км}; A_2 = 115 \text{ кН}; S_{\text{сер.-зв.}} = 0,8; N = 1500 \text{ авт./добу};$$

$$N_p = 240 \text{ авт./добу}; K_{\text{мц}} = 0,90; E_{\text{потр}} = 222 \text{ МПа};$$

$$E_{\text{ф}} = 200 \text{ МПа}, t = 5 \text{ років}$$

Таблиця 2.9 – Статистична обробка теоретичних та експериментальних даних на ділянці № 1

Ч. ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відносних похибок	Середнє абсолютне відхилення відносних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відносних похибок, S_n	Дисперсія відносних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	2,96	3,04	0,080	0,027	0,037	0,024	0,031	0,001	0,988
2	3,11	2,94	0,170	0,055					
3	3,31	3,22	0,090	0,027					
4	3,56	3,62	0,060	0,017					
5	3,85	3,88	0,030	0,008					
6	4,20	4,20	0,000	0,000					
7	4,60	4,35	0,250	0,054					
8	5,06	5,00	0,060	0,012					
9	5,58	5,37	0,210	0,038					
10	6,18	6,59	0,410	0,066					
11	6,85	7,58	0,730	0,107					

Таблиця 2.10 – Статистична обробка теоретичних та експериментальних даних на ділянці № 2

Ч.ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відночних похибок	Середнє абсолютне відхилення відночних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відночних похибок, S_n	Дисперсія відночних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	3,18	3,46	0,280	0,088	0,077	0,037	0,044	0,002	0,983
2	3,41	3,86	0,450	0,132					
3	3,70	4,09	0,390	0,105					
4	4,05	4,44	0,390	0,096					
5	4,47	4,56	0,090	0,020					
6	4,97	4,90	0,070	0,014					
7	5,54	5,26	0,280	0,051					
8	6,21	5,52	0,690	0,111					

Таблиця 2.11 – Статистична обробка теоретичних та експериментальних даних на ділянці № 3

Ч.ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відночних похибок	Середнє абсолютне відхилення відночних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відночних похибок, S_n	Дисперсія відночних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	3,50	3,60	0,100	0,029	0,019	0,012	0,015	0,000	0,989
2	3,68	3,81	0,130	0,035					
3	3,91	3,91	0,000	0,000					
4	4,19	4,29	0,100	0,024					
5	4,53	4,49	0,040	0,009					

Таблиця 2.12 – Статистична обробка теоретичних та експериментальних даних на ділянці № 4

Ч.ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відносних похибок	Середнє абсолютне відхилення відносних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відносних похибок, S_n	Дисперсія відносних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	4,44	4,01	0,430	0,097	0,079	0,033	0,040	0,002	0,986
2	4,60	4,81	0,210	0,046					
3	4,82	5,07	0,250	0,052					
4	5,10	5,26	0,160	0,031					
5	5,43	5,81	0,380	0,070					
6	5,82	6,48	0,660	0,113					
7	6,27	7,16	0,890	0,142					

Таблиця 2.13 – Статистична обробка теоретичних та експериментальних даних на ділянці № 5

Ч.ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відносних похибок	Середнє абсолютне відхилення відносних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відносних похибок, S_n	Дисперсія відносних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	3,41	3,38	0,030	0,009	0,033	0,019	0,025	0,001	0,978
2	3,54	3,65	0,110	0,031					
3	3,71	3,88	0,170	0,046					
4	3,92	4,14	0,220	0,056					
5	4,18	4,32	0,140	0,033					
6	4,47	4,44	0,030	0,007					
7	4,81	4,69	0,120	0,025					
8	5,19	5,14	0,050	0,010					
9	5,62	5,16	0,460	0,082					

Таблиця 2.14 – Статистична обробка теоретичних та експериментальних даних на ділянці № 6

Ч.ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відносних похибок	Середнє абсолютне відхилення відносних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відносних похибок, S_n	Дисперсія відносних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	2,96	3,05	0,090	0,030	0,026	0,010	0,014	0,000	0,995
2	3,11	2,94	0,170	0,055					
3	3,31	3,22	0,090	0,027					
4	3,56	3,49	0,070	0,020					
5	3,85	3,73	0,120	0,031					
6	4,20	4,12	0,080	0,019					
7	4,60	4,54	0,060	0,013					
8	5,06	5,00	0,060	0,012					

Таблиця 2.15 – Статистична обробка теоретичних та експериментальних даних на ділянці № 7

Ч.ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відносних похибок	Середнє абсолютне відхилення відносних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відносних похибок, S_n	Дисперсія відносних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	2,74	2,97	0,230	0,084	0,079	0,047	0,055	0,003	0,980
2	2,91	3,25	0,340	0,117					
3	3,11	3,52	0,410	0,132					
4	3,36	3,81	0,450	0,134					
5	3,66	4,09	0,430	0,117					
6	4,01	4,19	0,180	0,045					
7	4,42	4,42	0,000	0,000					
8	4,89	4,86	0,030	0,006					

Таблиця 2.16 – Статистична обробка теоретичних та експериментальних даних на ділянці № 8

Ч.ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відносних похибок	Середнє абсолютне відхилення відносних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відносних похибок, S_n	Дисперсія відносних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	4,11	3,73	0,380	0,092	0,064	0,032	0,038	0,001	0,976
2	4,27	4,24	0,030	0,007					
3	4,47	4,59	0,120	0,027					
4	4,74	5,19	0,450	0,095					
5	5,05	5,49	0,440	0,087					
6	5,42	5,84	0,420	0,077					

Таблиця 2.17 – Статистична обробка результатів порівняльного аналізу розрахунків за отриманою моделлю та експериментальними даними, отриманими Ю.В. Буртиль

Ч.ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відносних похибок	Середнє абсолютне відхилення відносних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відносних похибок, S_n	Дисперсія відносних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	4,02	4,20	0,184	0,046	0,029	0,014	0,018	0,000	0,989
2	4,19	4,30	0,107	0,025					
3	4,42	4,50	0,078	0,018					
4	4,70	4,70	0,003	0,001					
5	5,04	5,20	0,162	0,032					
6	5,43	5,70	0,272	0,050					

Таблиця 2.18 – Статистична обробка результатів порівняльного аналізу розрахунків за отриманою моделлю та експериментальними даними, отриманими К. Краюшкіною на ділянці № 1

Ч.ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відносних похибок	Середнє абсолютне відхилення відносних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відносних похибок, S_n	Дисперсія відносних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	2,28	2,37	0,091	0,040	0,044	0,021	0,031	0,001	0,899
2	2,37	2,44	0,071	0,030					
3	2,49	2,51	0,024	0,010					
4	2,63	2,51	0,121	0,046					
5	2,80	2,54	0,264	0,094					

Таблиця 2.19 – Статистична обробка результатів порівняльного аналізу розрахунків за отриманою моделлю та експериментальними даними, отриманими К. Краюшкіною на ділянці №2

Ч.ч.	Теоретичний показник рівності IRI, м/км	Експериментальний показник рівності IRI за А. С. Любченко, м/км	Абсолютна похибка, $ \Delta x $, м/км	Відносна похибка, $ \delta $	Середнє арифметичне відносних похибок	Середнє абсолютне відхилення відносних похибок	Стандартне середньоквадратичне відхилення відносних похибок, S_n	Дисперсія відносних похибок, D	Коефіцієнт кореляції Пірсона
1	2,39	2,47	0,083	0,035	0,064	0,021	0,026	0,001	0,956
2	2,48	2,65	0,172	0,069					
3	2,60	2,85	0,252	0,097					
4	2,75	2,96	0,213	0,078					
5	2,93	3,04	0,115	0,039					

2.6 Висновки до розділу

1. За результатами аналізу існуючих підходів до врахування впливу пневматичних коліс транспортних засобів на конструкцію дорожнього одягу при подоланні нерівностей дорожнього покриття, розроблено розрахункову схему щодо визначення коефіцієнту динамічності, яка спирається на:

- врахування додаткового навантаження на дорожній одяг, яке дорівнює відцентровій силі, що з'являється внаслідок руху колеса по криволінійній траєкторії, яка описує нерівність покриття;

- визначення точки динамічного удару та висоти «падіння» колеса при подоланні нерівності шляхом вирішення системи рівнянь, які описують траєкторію руху кузова автомобіля і форму нерівності покриття;

- застосування енергетичного підходу, який враховує енергію деформування колеса, дорожнього одягу та енергію «падіння» колеса;

- врахування коефіцієнта приведення маси системи «транспортний засіб – дорожній одяг» до точки удару.

2. Запропоновано 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.

3. За результатами аналізу існуючих методів прогнозування рівності покриття:

– обґрунтовано 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, погоднокліматичні умови;

– визначено вагомість параметрів моделі прогнозування рівності покриття ($\bar{K}_{\text{сер}}$), серед яких найбільшу вагомість має 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).

4. Удосконалено модель прогнозування рівності покриття, де приріст індексу рівності ΔIRI_t 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. 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.

5. 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. Коефіцієнт кореляції Пірсона між експериментальними та розрахунковими даними становить понад 0,95, що свідчить про адекватність розробленої моделі.

У порівнянні з відомими моделями прогнозування рівності покриття [69, 74, 80, 92, 102-105, 107-109] удосконалена модель дозволяє застосовувати більш широкий 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.

Основні результати досліджень другого розділу висвітлено у роботах автора: [2-6].

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНОСТІ ПОКРИТТЯ ТА АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІВНОСТІ НА РОЗРАХУНКОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ

3.1 Польові вимірювання рівності покриття

При розрахунку нежорсткого дорожнього одягу важливо враховувати рівність покриття, яка погіршується впродовж часу його експлуатації, оскільки при подоланні транспортним засобом нерівностей покриття збільшується навантаження на дорожній одяг. З метою оцінки та аналізу впливу рівності на величину розрахункового навантаження на дорожнє покриття проведено серію експериментальних досліджень на автомобільних дорогах загального користування. Основними завданнями експериментальних досліджень є:

- визначення розподілу нерівностей на ділянках автомобільних доріг з різними показниками рівності;
- обґрунтувати мінімальну довжину ділянки, за якої результати вимірювання рівності відповідають 95 % забезпеченості;
- оцінити величину коефіцієнтів динамічності на ділянках з різними показниками рівності.

Для проведення експериментальних досліджень обрано 13 ділянок автомобільних доріг (рис. 3.1) із різним станом покриття та довжиною від 150 м до 200 м:

- 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.

На експериментальних ділянках визначено інтенсивність та склад транспортного потоку (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Інтенсивність і складу транспортного потоку на експериментальних ділянках (станом на 2017 р.)

Шифр дороги	Місце вимірювання, км	Інтенсивність руху, N , авт./добу	Склад транспортного потоку, %		
			легкові автомобілі	вантажні автомобілі	великовагові автомобілі
М-02	145	7411	74,05	15,30	12,66
	252	8081	63,55	12,71	9,60
Н-07	208	5682	70,94	17,79	9,42
	325	4267	56,74	15,65	13,44
М-03	460	14545	60,39	22,87	17,28
М-20	15	8358	78,23	13,51	5,40
	20	7272	77,27	14,53	7,33
М-29	2	3790	64,62	21,40	14,72
Р-46	24	7932	62,79	22,35	11,04
Т-21-04	15	2978	74,37	12,41	7,23
	17	3298	76,26	13,68	7,83
	18	3460	77,95	12,55	8,85
	21	3579	75,94	14,40	7,51
	29	3189	73,69	14,59	9,76



Рисунок 3.1 – Розташування експериментальних ділянок на автомобільній дорозі Т-21-04

Для відновлення поздовжнього профілю покриття експериментальних ділянок використовувалися прецизійний оптичний нівелір НА-1, електронно-оптичний нівелір Leica Sprinter 100 M і телескопічна рейка AGR-3 з рівнем та напівсферичним гумовим під'ятником. Роботи з нівелювання виконувались у відповідності з порядком проведення вимірювання поздовжнього профілю, що викладений у СОУ 45.2-00018112-078 [136].

На кожній ділянці за допомогою сталевोї землемірної стрічки проведено розмічування та нанесена тимчасова розмітка у вигляді точок на правій смугі накату (на відстані $(0,75 \pm 0,10)$ м від крайки проїзної частини) із кроком 0,25 м (рис. 3.2). За допомогою нівеліра та рейки, яку встановлювали на кожну з позначених точок, з точністю 0,6 мм отримані перевищення точок нівелювання відносно горизонту приладу. Дані нівелювання імпортовані на ПК, де були обчислені відносні позначки точок поверхні покриття дороги за допомогою електронних таблиць MS Excel. Приклад журналу нівелювання наведено у таблиці 3.2.



Рисунок 3.2 – Мітки на дорожньому покритті
(ділянка №2, Т-21-04)

Таблиця 3.2 – Результати нівелювання ділянки автомобільної дороги М-03 Київ – Харків – Довжанський від 465+000 км до 465+006 км

№ станції	Точка нівелювання		Відлік по рейці, м	Горизонт приладу, м	Позначка, м
	км	+ м			
1	465	0,00	1,274	101,274	100,000
	465	0,50	1,276		99,998
	465	1,00	1,279		99,995
	465	1,50	1,283		99,991
	465	2,00	1,285		99,989
	465	2,50	1,290		99,984
	465	3,00	1,293		99,981
	465	3,50	1,296		99,978
	465	4,00	1,294		99,980
	465	4,50	1,297		99,977
	465	5,00	1,301		99,973
	465	5,50	1,309		99,965
	465	6,00	1,314		99,960

Результати нівелювання (позначки поздовжнього профілю покриття) є вихідними даними для побудови поздовжнього профілю і розрахунку індексу рівності IRI за допомогою програмного забезпечення ProVAL.

3.2 Аналіз результатів вимірювання рівності покриття

Побудову поздовжнього профілю експериментальних ділянок проведено за допомогою програмного забезпечення ProVAL (рис. 3.3).

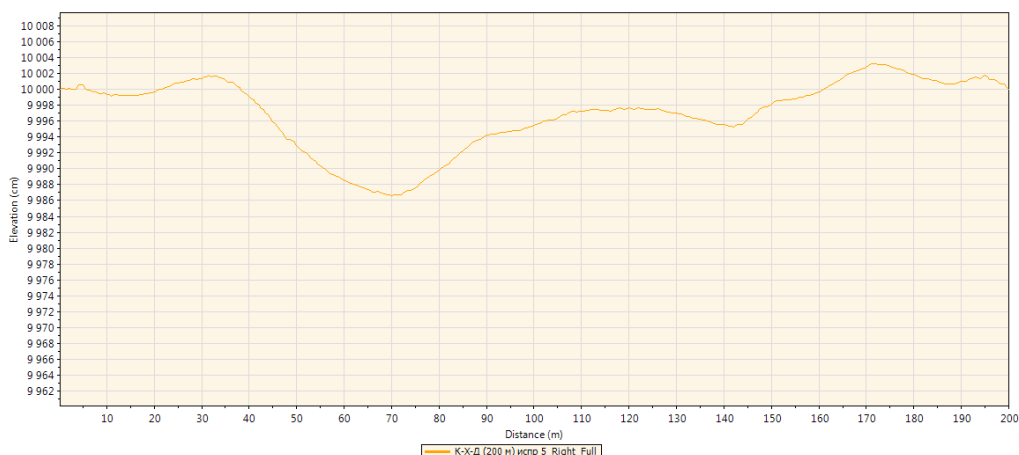


Рисунок 3.3 – Поздовжній профіль покриття на ділянці дороги М-03 Київ-Харків-Довжанський (465+000 км – 465+200 км)

За встановленим поздовжнім профілем експериментальних ділянок розрахований показник рівності IRI для ділянок довжиною 200 м та 10 м. (табл. 3.3, рис. 3.4). На ділянці автомобільної дороги М-03 Київ-Харків-Довжанський (465+000 км – 465+200 км) стан покриття за показником рівності IRI не перевищує граничного значення, що наведений у [137].

Таблиця 3.3 – Приклад визначення показника рівності IRI на ділянці дороги М-03 Київ-Харків-Довжанський (465+000 км – 465+200 км)

Початок ділянки, м	Кінець ділянки, м	Довжина ділянки, м	Показник IRI, м/км	Середній показник IRI на ділянці, м/км
0	10	10	2,83	1,65
10	20	10	1,29	
20	30	10	1,22	
30	40	10	1,80	
40	50	10	2,07	
50	60	10	1,55	
60	70	10	1,10	
70	80	10	1,71	
80	90	10	1,23	
90	100	10	1,26	
100	110	10	1,53	
110	120	10	1,41	
120	130	10	1,15	
130	140	10	0,73	
140	150	10	2,34	
150	160	10	2,10	
160	170	10	1,43	

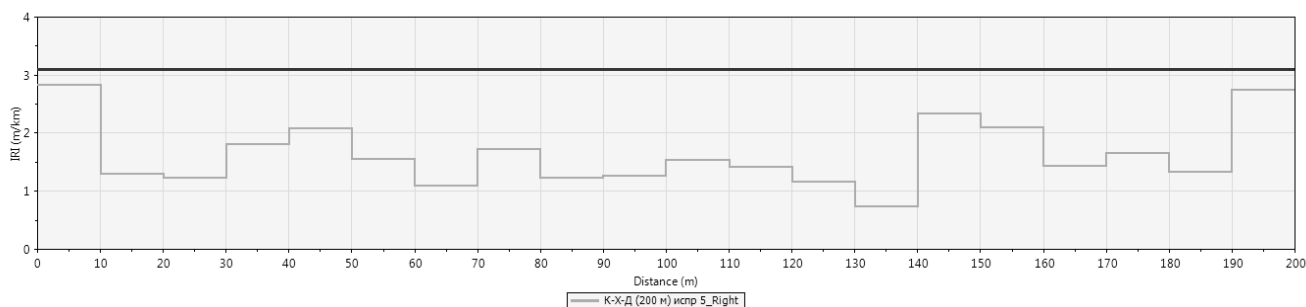


Рисунок 3.4 – Діаграма показника рівності IRI на ділянці дороги М-03 Київ-Харків-Довжанський (465+000 км – 465+200 км)

Оцінку рівності покриття з кроком 10 м за результатами нівелювання профілю покриття з кроком 0,25 м наведено у таблицях 3.4-3.10 та у Додатку Б (табл. Б.1-Б.5).

Таблиця 3.4 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від 15+000 км до 15+200 км (рік знімання – 2018, $IRI_{200} = 6,06$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
15	180	15	190	10	8,45	1,20	19,82
15	020	15	030	10	8,27		
15	050	15	060	10	7,75		
15	150	15	160	10	7,68		
15	100	15	110	10	7,36		
15	160	15	170	10	7,33		
15	000	15	010	10	7,14		
15	060	15	070	10	6,66		
15	040	15	050	10	6,05		
15	120	15	130	10	5,84		
15	190	15	200	10	5,80		
15	010	15	020	10	5,70		
15	080	15	090	10	5,61		
15	090	15	100	10	5,20		
15	030	15	040	10	5,10		
15	140	15	150	10	4,85		
15	070	15	080	10	4,83		
15	110	15	120	10	4,20		
15	170	15	180	10	4,09		
15	130	15	140	10	3,58		

Таблиця 3.5 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги М-03 Київ – Харків – Довжанський від 460+000 км до 460+200 км (рік знімання – 2018, $IRI_{200} = 1,65$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
1	2	3	4	5	6	7	8
460	000	460	010	10	2,83	0,42	26,14
460	190	460	200	10	2,73		
460	140	460	150	10	2,34		
460	150	460	160	10	2,10		
460	040	460	050	10	2,07		

Кінець таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	8
460	030	460	040	10	1,80	0,42	26,14
460	070	460	080	10	1,71		
460	170	460	180	10	1,64		
460	050	460	060	10	1,55		
460	100	460	110	10	1,53		
460	160	460	170	10	1,43		
460	110	460	120	10	1,41		
460	180	460	190	10	1,32		
460	010	460	020	10	1,29		
460	090	460	100	10	1,26		
460	080	460	090	10	1,23		
460	020	460	030	10	1,22		
460	120	460	130	10	1,15		
460	060	460	070	10	1,10		
460	130	460	140	10	0,73		

Таблиця 3.6 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги М-20 Харків – Щербаківка від 20+000 км до 20+200 км (рік знімання – 2018, $IRI_{200} = 3,41$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
20	190	20	200	10	7,87	1,14	33,21
20	140	20	150	10	6,06		
20	100	20	110	10	5,00		
20	110	20	120	10	4,38		
20	050	20	060	10	4,20		
20	180	20	190	10	4,10		
20	120	20	130	10	3,65		
20	150	20	160	10	3,56		
20	170	20	180	10	3,49		
20	080	20	090	10	3,32		
20	090	20	100	10	3,14		
20	060	20	070	10	2,89		
20	070	20	080	10	2,89		
20	040	20	050	10	2,80		
20	030	20	040	10	2,74		
20	160	20	170	10	2,27		
20	000	20	010	10	1,75		
20	130	20	140	10	1,68		
20	010	20	020	10	1,54		
20	020	20	030	10	1,36		

Таблиця 3.7 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги М-20 Харків – Щербаківка від 15+000 км до 15+200 км (рік знімання – 2017, $IRI_{200} = 1,85$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
1	2	3	4	5	6	7	8
15	010	15	020	10	2,64	0,41	22,16
15	020	15	030	10	2,57		
15	090	15	100	10	2,47		
15	150	15	160	10	2,45		
15	040	15	050	10	2,35		
15	100	15	110	10	2,18		
15	030	15	040	10	2,06		
15	160	15	170	10	1,99		
15	080	15	090	10	1,89		
15	130	15	140	10	1,84		
15	070	15	080	10	1,78		
15	050	15	060	10	1,55		
15	170	15	180	10	1,54		
15	000	15	010	10	1,53		
15	180	15	190	10	1,47		
15	190	15	200	10	1,45		
15	110	15	120	10	1,34		
15	140	15	150	10	1,22		
15	060	15	070	10	1,22		
15	120	15	130	10	1,17		

Таблиця 3.8 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги Т-21-03 Харків – Золочів – Олександрівка від 11+000 км до 11+200 км (рік знімання – 2017, $IRI_{200} = 2,86$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
1	2	3	4	5	6	7	8
11	150	11	160	10	9,37	1,72	60,68
11	060	11	070	10	6,70		
11	090	11	100	10	6,26		
11	080	11	090	10	5,18		
11	160	11	170	10	3,80		
11	050	11	060	10	2,92		
11	000	11	010	10	2,69		
11	100	11	110	10	2,58		
11	070	11	080	10	2,33		

Кінець таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8
11	040	11	050	10	2,24		
11	010	11	020	10	1,78		
11	170	11	180	10	1,72		
11	180	11	190	10	1,34		
11	130	11	140	10	1,32		
11	120	11	130	10	1,28		
11	110	11	120	10	1,24		
11	140	11	150	10	1,20		
11	020	11	030	10	1,16		
11	190	11	200	10	0,99		
11	030	11	040	10	0,61		

Таблиця 3.9 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги Р-46 Харків – Охтирка від 24+000 км до 24+200 км (рік знімання – 2018, $IRI_{200} = 2,15$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
24	100	24	110	10	3,89	0,68	31,41
24	060	24	070	10	3,78		
24	070	24	080	10	2,87		
24	190	24	200	10	2,81		
24	170	24	180	10	2,64		
24	160	24	170	10	2,64		
24	130	24	140	10	2,61		
24	090	24	100	10	2,58		
24	140	24	150	10	2,43		
24	080	24	090	10	2,13		
24	180	24	190	10	2,10		
24	030	24	040	10	1,93		
24	020	24	030	10	1,85		
24	150	24	160	10	1,79		
24	120	24	130	10	1,50		
24	110	24	120	10	1,43		
24	050	24	060	10	1,26		
24	040	24	050	10	1,20		
24	000	24	010	10	0,95		
24	010	24	020	10	0,85		

Таблиця 3.10 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги М-29 Харків – Красноград – Перещепине від 2+000 км до 2+400 км (рік знімання – 2018, $IRI_{400} = 2,69$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
2	040	2	050	10	4,75	0,60	22,37
2	250	2	260	10	4,55		
2	270	2	280	10	3,93		
2	260	2	270	10	3,75		
2	190	2	200	10	3,72		
2	020	2	030	10	3,64		
2	030	2	040	10	3,63		
2	240	2	250	10	3,47		
2	070	2	080	10	3,44		
2	130	2	140	10	3,25		
2	050	2	060	10	3,15		
2	360	2	370	10	2,95		
2	120	2	130	10	2,94		
2	350	2	360	10	2,78		
2	080	2	090	10	2,69		
2	110	2	120	10	2,64		
2	280	2	290	10	2,63		
2	150	2	160	10	2,61		
2	310	2	320	10	2,56		
2	290	2	300	10	2,56		
2	060	2	070	10	2,54		
2	200	2	210	10	2,53		
2	340	2	350	10	2,50		
2	160	2	170	10	2,49		
2	010	2	020	10	2,47		
2	140	2	150	10	2,43		
2	170	2	180	10	2,40		
2	210	2	220	10	2,39		
2	330	2	340	10	2,28		
2	380	2	390	10	2,22		
2	300	2	310	10	2,16		
2	220	2	230	10	2,11		
2	370	2	380	10	2,10		
2	390	2	400	10	2,04		
2	320	2	330	10	1,94		
2	180	2	190	10	1,91		
2	100	2	110	10	1,69		
2	000	2	010	10	1,59		
2	230	2	240	10	1,43		
2	090	2	100	10	1,28		

Як доводять результати обробки експериментальних даних, середнє квадратичне відхилення рівності на ділянках завдовжки 10 м, що розташовані у межах ділянок 200 м досягає 50 відсотків. Це свідчить про те, що навіть на ділянках дороги зі середнім показником рівності, що не перевищує граничного значення, є локальні ділянки завдовжки до 10 м, рівність яких не відповідає нормативним вимогам. Таки ділянки є джерелом руйнування покриття.

За даними головного інституту ДП «Укрдіпродор», що отримані за допомогою лабораторії з оцінки рівності покриття (ЛВС-3), проведений аналіз умовних профілів автомобільних доріг загальною довжиною 224 км:

- М-02 Кіпті – Глухів – Бачівськ від 145+000 км до 252+000 км;
- Н-07 Київ – Суми – Юнаківка від 208+000 км до 325+000 км.

За результатами обробки експериментальних даних визначено середні показники рівності IRI для кожної ділянки довжиною один кілометр, де побудовано розподіл локальних ділянок довжиною 10 м, рівність яких перевищує середні значення показника рівності на 1 км і на 200 м. Результати розрахунку наведено у Додатку Б (табл. Б.6-Б.10).

Для вирішення завдання визначення мінімальної довжини ділянки, результат вимірювання рівності на яких відповідає 95 % забезпеченості та є характеристикою рівності кілометрових або базових ділянок. У процесі експериментальних досліджень проаналізовано умовні профілі покриття і фактичні мікропрофілі покриття ділянок, що досліджувалися.

За допомогою програми ProVAL проведено фільтрацію мікропрофілів покриття і умовних профілів (Додаток Б, табл. Б.6-Б.10) з довжиною хвилі 200 м, 50 м, 10 м і 5 м. Кожному варіанту фільтрації відповідає своя деталізація нерівності та показників рівності. Фільтрація з довжиною хвилі 200 м дає загальні уявлення про рівність дороги (за кожним кілометром) в цілому (Додаток Б, табл. Б.8, табл. Б.10), але не дозволяє описати характер нерівностей, що необхідно для визначення коефіцієнтів динамічності.

Максимально повну інформацію надає фільтрація з довжиною хвилі 10 м, при обробці якої з похибкою до 5 відсотків визначено рівність ділянок

завдовжки 200 м і 1000 м.

Аналіз даних, що наведені у таблицях 3.4-3.15 та у додатку Б (табл. Б.8-Б.10 та рис. Б.1-Б.15) дозволяє зробити висновок, що розподіл показників рівності на ділянках 200 м і 1000 м близький до логнормального закону розподілу, що дозволяє визначити рівність на ділянках автомобільної дороги із заданою ймовірністю.

За результатами обробки експериментальних даних визначено коефіцієнти відповідності, що дорівнюють відношенню показника рівності IRI восьми відсоткової імовірності до середнього показника IRI на двохсотметровій ділянці (таблиця 3.11, рисунок 3.5).

Таблиця 3.11 – Оцінка рівності покриття

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		IRI ₂₀₀ , м/км	IRI 8 % ймовірності, м/км	$\frac{\text{IRI } 8 \%}{\text{IRI}_{200}}$	Назва автомобільної дороги	Рік знімання
км	м	км	м					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	0	15	200	6,06	8,27	1,36	Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка	2018
17	0	17	200	6,30	11,90	1,89	Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка	2018
460	0	460	200	1,65	2,34	1,42	М-03 Київ – Харків – Довжанський від	2018
24	0	24	200	2,15	3,78	1,76	Р-46 Харків – Охтирка	2018
2	0	2	400	2,69	3,73	1,39	М-29 Харків – Красноград – Перещепине	2018
20	0	20	200	3,41	6,06	1,77	М-20 Харків – Щербаківка	2018
18	0	18	150	8,84	17,10	1,93	Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка	2017
18	0	18	150	9,80	20,60	2,10	Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка	2018
145	0	145	200	3,27	4,51	1,38	М-02 Кіпті – Глухів – Бачівськ	2018
145	200	145	400	2,57	3,75	1,26		
145	400	145	600	2,80	3,79	1,33		
145	600	145	800	2,71	3,85	1,42		
145	800	146	0	2,42	3,07	1,27		
146	0	146	200	2,39	3,34	1,40		
146	200	146	400	2,63	3,74	1,42		
146	400	146	600	2,55	3,59	1,41		
146	600	146	800	2,70	4,50	1,67		
146	800	147	0	2,05	2,68	1,31		

Кінець таблиці 3.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
147	0	147	200	1,93	2,47	1,28	М-02 Кіпті – Глухів – Бачівськ	2018
147	200	147	400	2,26	2,86	1,26		
147	400	147	600	2,46	3,96	1,61		
147	600	147	800	2,24	2,94	1,31		
147	800	148	0	2,66	3,39	1,27		
148	0	148	200	2,36	3,43	1,45		
148	200	148	400	2,11	2,64	1,25		
148	400	148	600	2,70	4,86	1,80		
169	0	169	200	2,64	3,59	1,36		
169	200	169	400	3,63	3,70	1,02		
169	400	169	600	4,87	7,32	1,50		
169	600	169	800	3,74	5,91	1,58		
169	800	170	0	3,64	4,88	1,34		
174	0	174	200	4,18	5,86	1,40		
174	200	174	400	3,92	5,37	1,37		
174	400	174	600	4,96	5,27	1,06		
174	600	174	800	4,79	9,38	1,96		
174	800	175	0	3,52	5,39	1,53		
207	0	207	200	3,41	6,45	1,89		
207	200	207	400	3,23	5,44	1,68		
207	400	207	600	5,27	7,46	1,41		
207	600	207	800	3,03	6,84	2,26		
207	800	208	0	5,89	12,20	2,07		

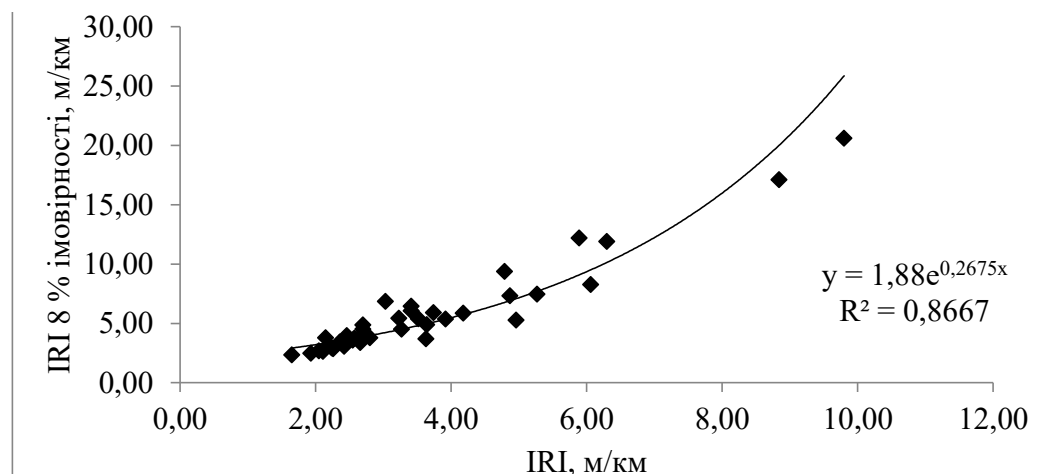


Рисунок 3.5 – Зв'язок показника рівності IRI ділянки і IRI восьми відсоткової ймовірності

Аналіз результатів експериментальних досліджень дозволяє зробити висновок, що між інтегральним показником рівності на ділянці 200 м і очікуваною (з восьми відсотковою ймовірністю) рівністю існує зв'язок – зі

збільшенням показника рівності IRI (погіршення стану покриття) збільшуються очікуваний показник рівності і коефіцієнт відповідності. Якщо за результатами вимірювання рівності на ділянці завдовжки 1000 м показник рівності становить 2 м/км, коефіцієнт відповідності дорівнює 1,3, тобто на таких ділянках є локальні ділянки завдовжки 10 м, показник рівності яких відповідає 2,6 м/км. Якщо на ділянках показник рівності становить від 8 м/км до 9 м/км, коефіцієнт відповідності приймає значення у межах від 1,9 до 2, тобто існують локальні ділянки завдовжки 10 м, показник рівності на яких становить від 18 м/км до 19 м/км, що перевищує нормативні значення.

3.3 Аналіз впливу рівності покриття при визначенні навантаження на нежорсткий дорожній одяг

За допомогою програмного забезпечення ProVAL виконувався детальний аналіз поздовжніх профілів покриття. Детальний аналіз передбачає збільшення масштабу окремих ділянок і виявлення нерівності. Виявлення границь нерівностей на першому етапі виконувалося за допомогою зорової оцінки, використовуючи вісь абсцис (пикетне положення) і ординат (відносні позначки). При цьому нехтували нерівностями висотою до 5 мм, оскільки нерівності висотою до 5 мм вважаються шорсткістю покриття. Такі нерівності повністю поглинаються демпферуючою здатністю шини. Кожна нерівність розглядалася окремо (рис. 3.6).

Аналіз поздовжніх профілів показав, що нерівності на покритті можна розділити на три типи, які зустрічаються найчастіше:

- нерівності у формі опуклої кривої;
- нерівності у формі увігнутої кривої;
- нерівності у вигляді виступу.

Оскільки поздовжній профіль, отриманий в результаті нівелювання, має вигляд ламаної, то для обробки нерівностей у формі опуклої та увігнутої кривих необхідно провести апроксимацію ламаної профілю.

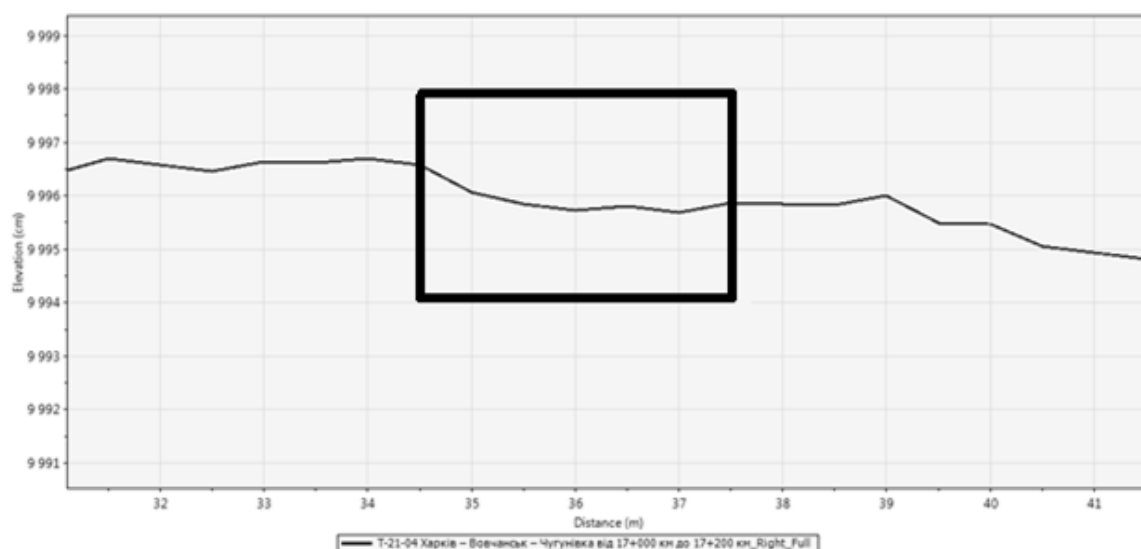


Рисунок 3.6 – Приклад виділення окремої нерівності

Були проаналізовані різні способи апроксимації поздовжнього профілю за допомогою таких ліній тренду: лінійна, експоненціальна, логарифмічна, ступенева та поліноміальна (другого та третього ступенів). На основі аналізу коефіцієнта кореляції різних ліній тренду встановлено, що в межах виділеної нерівності, ламану лінію профілю покриття доцільно описувати за допомогою поліному третього ступеня (рис. 3.7)

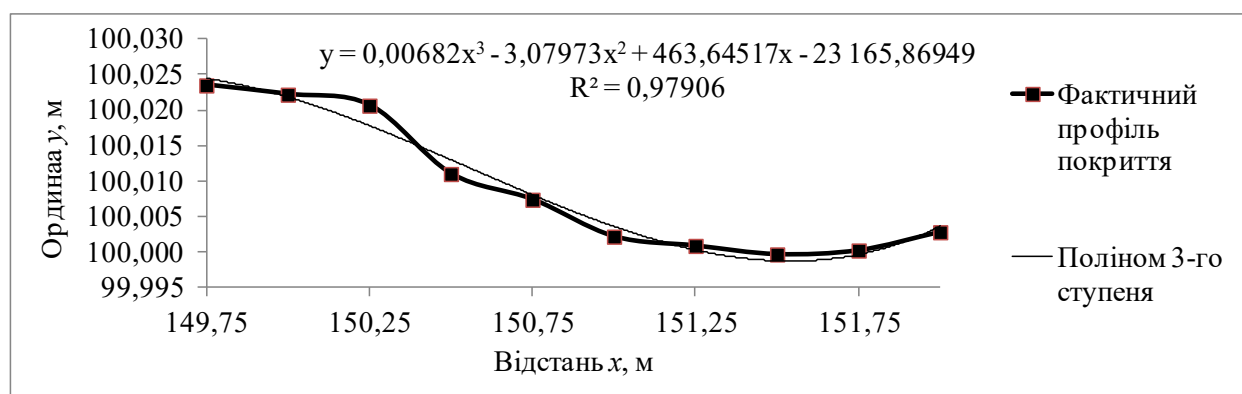


Рисунок 3.7 – Приклад апроксимації нерівності поліномом 3-го ступеня за допомогою програми MS Excel

Для визначення величини навантаження на дорожній одяг при подоланні нерівностей за методом, що наведено у розділі 2, визначено параметри нерівностей покриття.

Для нерівностей у вигляді увігнутих та опуклих кривих визначальним параметром є радіус кривизни профілю покриття. Знаючи рівняння кривої, яка описує профіль покриття, можна визначити радіус її кривизни у будь-якій її точці. Радіуси кривизни визначаються за формулами (2.1) та (2.2).

На ділянках виникнення динамічного навантаження внаслідок «падіння» колеса визначальним параметром є висота «падіння». Для її визначення вирішувалася система рівнянь, що складається з рівняння траєкторії руху колеса (2.5) та рівняння кривої профілю після апроксимації (рис. 3.7). Результатом вирішення системи рівнянь (2.6) є точка найбільшого динамічного удару (рис. 3.7). Обчисливши різницю між висотною позначкою початку нерівності і точки «падіння», визначили висоту «падіння» у кожній нерівності.

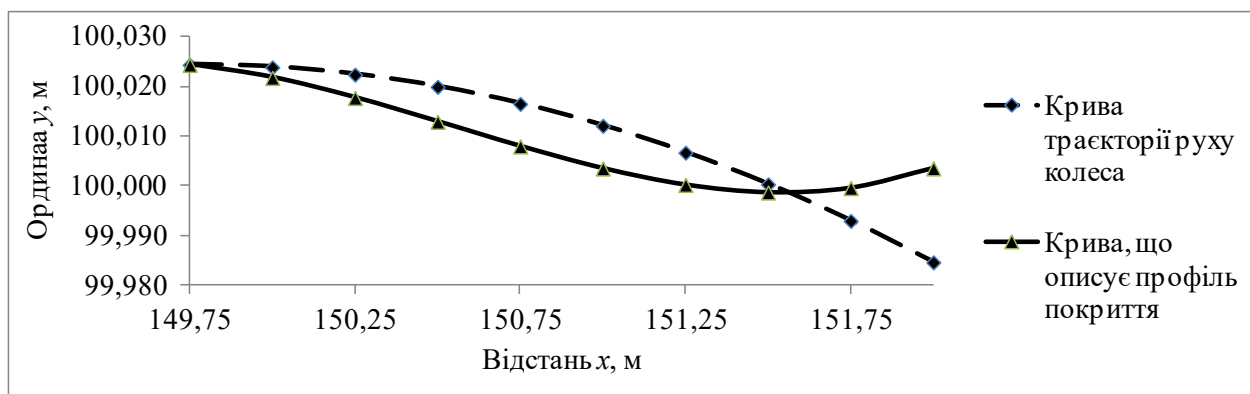


Рисунок 3.8 – Приклад визначення точки максимального динамічного удару

За формулами (2.4) та (2.20) визначено коефіцієнти динамічності для різної форми нерівності на ділянках вимірювань (табл. 3.12-3.13, Додаток Б табл. Б.11-Б.20). Результати розрахунку коефіцієнтів динамічності залежно від інтегрального показника рівності на ділянках завдовжки 100 м зведено до таблиці 3.14, що дозволило, у свою чергу, побудувати ранжируваний розподіл коефіцієнтів динамічності за діапазонами рівності (IRI, м/км), таблиця 3.15.

Таблиця 3.12 – Коефіцієнти динамічності для увігнутих кривих на ділянці автомобільної дороги М-03 Київ-Харків-Довжанський від 460+000 км до 460+200 км (рік вимірювання – 2018, $IRI_{200} = 1,65$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
км	м	км	м		Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
465	000	465	010	2,83	6	1,95	72	1,87
465	010	465	020	1,29	3	1,41	50	2,25
465	030	465	040	1,80	4	1,42	62	2,00
					4	1,38	-	-
465	040	465	050	2,07	7	1,67	120	1,52
					6	1,63	-	-
465	190	465	200	2,73	3	1,45	-	-
					3	1,44	-	-

Таблиця 3.13 – Коефіцієнти динамічності для увігнутих кривих на ділянці автомобільної дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від 18+000 км до 18+150 км (рік вимірювання – 2018, $IRI_{200} = 9,80$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
км	м	км	м		Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	000	18	010	6,23	2	1,40	20	4,14
					3	1,84	108	1,58
					13	3,41	-	-
					4	1,55	-	-
18	010	18	020	10,7	7	3,25	60	2,05
					9	5,60	37	2,69
					4	2,03	-	-
					3	2,36	-	-
					10	2,75	-	-
18	020	18	030	13,54	2	1,33	108	1,58
					8	3,23	-	-
18	020	18	030	13,54	2	1,89	-	-
					2	1,49	-	-
					4	2,22	-	-
18	030	18	040	10,33	5	1,50	21	4,00
					2	1,84	54	2,16

Кінець таблиці 3.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	030	18	040	10,33	6	5,14	-	-
					8	2,20	-	-
18	040	18	050	7,54	4	1,50	58	2,08
					3	2,05	6	11,00
					4	2,11	49	2,28
						-	17	4,64
18	050	18	060	13,07	4	1,53	19	4,35
					2	1,44	7	9,77
					8	2,88	-	-
18	060	18	070	17,02	8	1,97	-	-
					13	4,30	-	-
					9	2,82	-	-
					10	7,75	-	-
					12	2,93	-	-
18	070	18	080	24,38	1	1,47	-	-
					6	4,71	-	-
					30	6,96	-	-
18	080	18	090	5,58	14	1,63	-	-
					8	2,59	-	-
18	090	18	100	8,21	8	2,27	50	2,50
					3	2,37	75	1,83
					5	2,62	30	3,00
					2	1,78	-	-
					3	2,06	-	-
					5	1,99	-	-
					2	2,35	-	-
18	100	18	110	5,65	2	1,44	40	2,55
					2	1,91	136	1,46
					-	-	8	9,00
18	110	18	120	4,21	3	1,21	15	5,00
					-	-	48	2,30
					-	-	40	2,57
18	120	18	130	4,77	8	2,52	62	2,00
					-	-	54	2,16
18	130	18	140	4,91	17	3,63	21	4,00
18	140	18	150	10,28	25	5,14	-	-

Таблиця 3.14 – Зведена таблиця коефіцієнтів динамічності

IRI, м/км	Сума K_d на 10 м	Середній K_d на 10 м, $K_{d\text{ ср.}}$	IRI, м/км	Сума K_d на 10 м	Середній K_d на 10 м, $K_{d\text{ ср.}}$
1	2	3	4	5	6
2,04	2,95	1,48	2,64	1,18	1,18
2,06	1,19	1,19	2,69	3,00	3,00
2,07	4,41	2,21	2,69	2,53	1,27
2,10	1,14	1,14	2,73	4,74	1,58
2,10	1,50	1,50	2,74	1,21	1,21
2,10	1,17	1,17	2,74	1,11	1,11
2,11	3,62	1,81	2,78	3,22	1,61
2,13	7,50	2,50	2,80	2,07	2,07
2,16	2,14	2,14	2,81	9,85	2,46
2,18	3,40	1,70	2,83	1,18	1,18
2,22	4,48	1,49	2,83	3,92	1,96
2,24	1,15	1,15	2,87	5,10	1,70
2,27	1,44	1,44	2,89	5,06	1,69
2,28	6,57	1,64	2,89	1,96	1,96
2,33	2,47	1,24	2,92	1,10	1,10
2,34	1,17	1,17	2,94	4,86	2,43
2,35	1,10	1,10	2,94	2,43	1,22
2,39	4,35	2,18	2,95	4,71	1,57
2,40	4,94	1,65	2,97	1,22	1,22
2,43	1,51	1,51	3,04	5,50	1,83
2,43	3,28	1,64	3,13	3,00	1,50
2,43	4,24	1,41	3,14	2,02	2,02
2,43	5,23	1,74	3,15	1,12	1,12
2,45	1,31	1,31	3,15	3,86	1,93
2,46	2,40	1,20	3,21	5,87	1,47
2,47	2,91	1,46	3,22	9,07	2,27
2,47	4,03	1,34	3,25	3,72	1,86
2,49	1,23	1,23	3,32	5,01	1,67
2,50	2,83	1,42	3,44	4,34	2,17
2,53	5,34	1,78	3,46	11,24	1,87
2,54	1,33	1,33	3,47	3,24	1,62
2,54	1,30	1,30	3,47	3,72	1,86
2,56	4,59	2,30	3,49	5,41	1,80
2,56	5,36	1,79	3,56	4,82	2,41
2,57	1,38	1,38	3,58	9,60	2,40
2,58	2,68	1,34	3,59	7,52	1,50
2,58	2,32	1,16	3,61	2,46	1,23
2,58	4,45	2,23	3,62	4,93	1,64
2,61	1,41	1,41	3,63	3,65	1,83
2,61	6,07	2,02	3,63	7,83	1,96
2,63	3,75	1,88	3,64	5,26	1,75
2,64	2,14	2,14	3,65	6,68	1,67
2,64	2,74	1,37	3,72	4,16	2,08
2,64	1,19	1,19	3,72	5,91	1,97

Кінець таблиці 3.14

1	2	3	4	5	6
3,75	12,36	3,09	5,65	16,36	3,27
3,76	4,14	2,07	5,67	3,23	1,62
3,78	6,63	2,21	5,70	9,39	2,35
3,80	2,60	2,60	5,75	8,13	2,03
3,81	1,35	1,35	5,80	12,94	2,59
3,86	3,73	1,87	5,84	12,56	2,09
3,86	3,73	1,87	6,05	9,87	1,97
3,89	8,45	2,11	6,06	12,50	2,08
3,89	8,24	2,75	6,09	9,33	2,33
3,89	4,15	4,15	6,25	13,92	2,32
3,90	7,66	1,92	6,26	3,42	1,71
3,93	12,18	3,05	6,64	14,67	2,45
3,96	6,83	1,71	6,66	11,75	2,35
4,07	7,99	2,66	6,70	8,54	4,27
4,09	7,16	1,79	7,14	7,55	2,52
4,10	5,17	1,72	7,25	10,08	3,36
4,20	7,43	2,48	7,33	7,66	1,92
4,20	9,34	1,56	7,36	7,37	1,84
4,21	11,08	2,77	7,54	25,66	3,67
4,38	2,64	1,32	7,56	8,58	2,86
4,38	6,76	1,69	7,61	17,11	3,42
4,42	9,85	1,97	7,62	15,29	2,55
4,50	6,85	2,28	7,68	11,59	2,32
4,51	9,04	2,26	7,75	11,64	1,94
4,55	6,75	2,25	7,87	16,18	2,31
4,75	7,66	1,92	7,94	13,86	2,31
4,77	6,68	2,23	8,17	16,14	2,69
4,79	11,75	2,94	8,21	22,77	2,28
4,83	7,42	2,47	8,27	9,44	2,36
4,85	8,08	1,62	8,42	9,40	2,35
4,91	7,63	3,82	8,45	15,80	2,63
5,00	16,25	2,71	8,86	25,30	2,53
5,00	8,76	1,75	9,36	24,78	3,54
5,02	5,03	1,68	9,37	6,10	2,03
5,02	8,52	2,13	9,44	9,83	2,46
5,06	8,09	2,02	9,96	23,77	2,97
5,10	9,66	1,93	10,28	5,14	5,14
5,18	2,78	1,39	10,33	16,84	2,81
5,20	10,86	1,81	10,70	20,73	2,96
5,25	8,78	2,93	11,50	13,14	2,63
5,26	4,98	1,66	11,90	13,72	2,74
5,38	7,75	2,58	13,07	19,97	3,99
5,42	16,01	2,67	13,54	11,74	1,96
5,56	11,96	1,99	13,98	25,33	4,22
5,58	4,22	2,11	14,01	23,33	3,89
5,61	12,84	3,21	17,02	19,77	3,95
5,64	4,96	1,65	17,97	14,19	2,84
5,65	16,36	3,27	20,01	16,92	4,23
			24,38	13,14	4,38

Таблиця 3.15 – Ранжируваний розподіл коефіцієнтів динамічності за діапазонами рівності

№ з.п.	Коефіцієнти динамічності (K_d) на ділянках із показником рівності IRI (м/км) в діапазоні:												
	від 2 до 3	від 3 до 4	від 4 до 5	від 5 до 6	від 6 до 7	від 7 до 8	від 8 до 9	від 9 до 10	від 10 до 11	від 11 до 12	від 13 до 14	від 14 до 15	> 15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	4,90	6,70	5,00	9,00	7,03	11,00	5,33	8,70	5,60	4,82	9,77	7,61	8,42
2	3,70	4,37	4,32	7,47	5,28	5,97	4,72	6,99	5,14	3,56	7,62	5,67	7,75
3	3,25	4,15	4,00	5,50	4,14	4,70	4,50	4,15	5,14	3,25	4,38	3,44	6,96
4	3,10	3,80	3,86	5,00	4,12	4,64	3,50	4,14	4,00	3,04	4,35	2,77	4,71
5	2,97	3,75	3,63	4,16	3,44	4,50	3,35	3,67	3,25	2,46	3,63	2,42	4,30
6	2,95	3,70	3,52	4,14	3,41	3,96	3,25	3,02	2,75	2,25	3,52	1,42	3,95
7	2,92	3,44	3,25	3,96	3,25	3,75	3,11	2,83	2,69	2,07	3,23	-	3,92
8	2,83	3,36	3,00	3,69	3,25	3,73	3,06	2,62	2,36	2,04	3,16	-	3,19
9	2,34	3,07	2,99	3,24	2,85	3,53	3,00	2,58	2,20	1,80	3,02	-	2,93
10	2,33	3,02	2,85	3,01	2,60	3,25	2,98	2,56	2,16	1,57	2,88	-	2,85
11	2,31	2,91	2,77	3,00	2,33	3,05	2,70	2,53	2,05	-	2,22	-	2,82
12	2,25	2,90	2,75	3,00	2,30	3,05	2,66	2,30	2,03	-	1,89	-	2,36
13	2,25	2,86	2,75	2,90	2,28	2,90	2,62	2,08	1,84	-	1,58	-	2,35
14	2,15	2,75	2,70	2,90	1,96	2,87	2,57	2,00	1,50	-	1,53	-	2,20
15	2,15	2,75	2,68	2,79	1,84	2,87	2,50	1,83	-	-	1,49	-	1,97
16	2,14	2,75	2,57	2,78	1,83	2,79	2,50	1,82	-	-	1,44	-	1,87
17	2,14	2,66	2,55	2,76	1,83	2,75	2,42	1,72	-	-	1,33	-	1,47
18	2,07	2,64	2,52	2,75	1,82	2,75	2,40	1,66	-	-	-	-	-
19	2,05	2,62	2,42	2,75	1,80	2,75	2,37	1,65	-	-	-	-	-
20	2,04	2,50	2,31	2,67	1,76	2,72	2,35	1,55	-	-	-	-	-
21	2,03	2,50	2,30	2,59	1,75	2,66	2,27	1,47	-	-	-	-	-
22	2,00	2,49	2,22	2,55	1,75	2,50	2,25	1,21	-	-	-	-	-
23	2,00	2,46	2,16	2,53	1,65	2,42	2,20	-	-	-	-	-	-
24	2,00	2,32	2,10	2,51	1,62	2,38	2,17	-	-	-	-	-	-
25	2,00	2,27	2,06	2,50	1,62	2,30	2,16	-	-	-	-	-	-
26	1,96	2,25	2,00	2,45	1,60	2,30	2,07	-	-	-	-	-	-
27	1,93	2,25	2,00	2,44	1,58	2,30	2,06	-	-	-	-	-	-
28	1,89	2,25	1,91	2,35	1,55	2,28	2,05	-	-	-	-	-	-
29	1,87	2,25	1,90	2,32	1,53	2,25	1,99	-	-	-	-	-	-
30	1,85	2,25	1,86	2,25	1,51	2,23	1,97	-	-	-	-	-	-
31	1,83	2,22	1,83	2,18	1,50	2,13	1,85	-	-	-	-	-	-
32	1,77	2,21	1,82	2,18	1,48	2,11	1,83	-	-	-	-	-	-
33	1,75	2,20	1,80	2,18	1,48	2,08	1,83	-	-	-	-	-	-
34	1,75	2,14	1,80	2,10	1,48	2,08	1,78	-	-	-	-	-	-

Кінець таблиці 3.15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
113	1,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
114	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
115	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

За результатами обробки експериментальних даних встановлено зв'язок коефіцієнта динамічності (середній) з рівністю покриття (середньої) на ділянці, (табл. 3.16, рис. 3.9). Зв'язок між рівністю покриття (IRI) і коефіцієнтом динамічності за шкалою Чеддока (R^2) характеризується як високий (від 0,7915 до 0,9316). Таким чином, стає можливим 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.

Апроксимація експериментальних даних методом найменших квадратів дозволила встановити кореляційну залежність коефіцієнта динамічності від показника рівності покриття:

$$K_d = 1,25884 + 0,20533 \cdot IRI - 0,00439 \cdot IRI^2, \quad (3.1)$$

де K_d – коефіцієнт динамічності;

IRI – показник рівності покриття, м/км.

Таблиця 3.16 – Коефіцієнт динамічності (середній)

IRI , м/км	$K_{д\text{ ср}}$	IRI , м/км	$K_{д\text{ ср}}$	IRI , м/км	$K_{д\text{ ср}}$
1	2	3	4	5	6
2,00	1,62	4,50	2,26	7,25	2,37
2,25	1,45	4,75	2,50	7,50	2,96
2,50	1,61	5,00	1,93	7,75	2,19
2,75	1,70	5,25	2,46	8,00	2,48
3,00	1,73	5,50	2,31	8,25	2,45
3,25	1,84	5,75	2,24	8,75	2,53
3,50	1,86	6,00	2,13	9,25	2,68
3,75	2,41	6,25	2,02	9,75	2,97
4,00	2,16	6,50	3,02	12,50	3,30
4,25	1,66	7,00	2,52	20,00	3,85

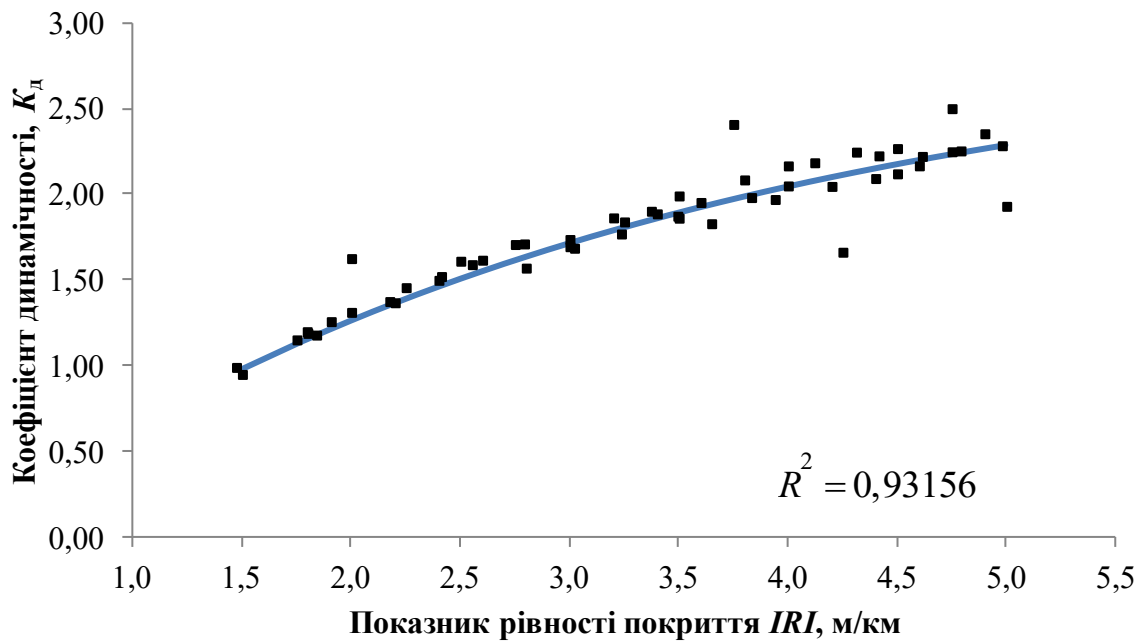


Рисунок 3.9 – Зв'язок коефіцієнта динамічності з показником рівності покриття

Кореляційна залежність (3.1) дозволяє визначити коефіцієнт динамічності на ділянках автомобільної дороги за величиною прогнозованої (з певною ймовірністю) рівності покриття. Таким чином, навіть на ділянках з відмінною рівністю за показником IRI на 100 м існує ймовірність наявності локальних ділянок покриття, де коефіцієнт динамічності (K_d) перевищує нормативні значення (1,3). Таки ділянки є потенційно небезпечними через високу ймовірність руйнування.

3.4 Висновки до розділу

1. За результатами експериментальних досліджень з відновлення мікропрофілю покриття на автомобільних дорогах загального користування методом нівелювання та наступної 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 відсотків;

- розподіл показника рівності на ділянках довжиною від 200 м до 1000 м наближується до логнормального розподілу, що дозволяє визначити імовірну рівність покриття;

- для вирішення задач прогнозування рівності покриття доцільно визначати рівність покриття з імовірністю 8 відсотків;

- середньоквадратичне відхилення рівності покриття понад 8 відсотків 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 очікуваною (з восьми відсотковою імовірністю) рівністю 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.

2. Розроблена методика визначення величини коефіцієнта динамічності за параметрами мікро-профілю покриття (з кроком 0,25 м), що дозволило встановити зв'язок між показником рівності покриття і коефіцієнтом динамічності (коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,9316$).

3. Зв'язок між рівністю покриття і коефіцієнтом динамічності за шкалою Чеддока характеризується як високий (від 0,7915 до 0,9316), що свідчить про можливість визначати для ділянок дороги зі середньою рівністю за різної імовірності очікуваний коефіцієнт динамічності.

4. За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено, що навіть на ділянках довжиною 100 м, показник рівності яких відповідає нормативним вимогам, існує ймовірність наявності ділянок довжиною 10 м, на яких коефіцієнт динамічності перевищує 1,3. Ділянки з такими нерівностями є потенційно небезпечними, тому їх рекомендується враховувати під час прогнозування стану нежорсткого дорожнього одягу.

5. Експериментальні дослідження дозволили підтвердити теоретичні

положення другого розділу дисертації та довести адекватність розроблених моделей: прогнозування рівності покриття; визначення коефіцієнту динамічності; прогнозування величини коефіцієнту динамічності на ділянках за величиною середньої рівності за різної ймовірності.

Основні результати досліджень третього розділу висвітлено у роботах автора: [2, 3, 5-9].

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Обґрунтування граничного значення коефіцієнта динамічності

Напружено-деформований стан (НДС) шарів дорожнього одягу пов'язаний з величиною і характером навантаження від коліс транспортних засобів, що рухаються по дорозі. За тривалістю та змінюванню у часі навантаження можна поділити на: статичне навантаження (не змінюється у часі) і динамічне, що змінюється у часі. Динамічне навантаження характеризується величиною, швидкістю і тривалістю прикладання. Узагальнюючою характеристикою динамічного навантаження є коефіцієнт динамічності. Загально прийнято [16, 63, 64, 82, 88, 92, 100, 101, 115, 117, 120, 126], що величина динамічного навантаження і його основна характеристика – коефіцієнт динамічності залежать від рівності покриття. Тому моделювання впливу рівності покриття на НДС дорожнього одягу здійснювалося шляхом змінювання коефіцієнта динамічності. Оцінку НДС конструкції дорожнього одягу під дією навантаження здійснено із залученням методу скінченних елементів [47, 51, 52].

За умови забезпечення зчеплення на контактні шарів (спаяний контакт), (переріз *A-B*, *C-D*, *E-F* на рис. 4.1) дотичні напруження не дорівнюють нулю. За умови вільного контакту між шарами моделі дотичні напруження не можуть перебільшувати сили тертя-зчеплення:

$$\tau_{xz(yz)} \leq P_z \cdot f + C, \quad (4.1)$$

де $\tau_{xz(yz)}$ – дотичні напруження, МПа;

P_z – вертикальний тиск на глибині z (м), МПа;

f – коефіцієнт тертя;

C – зчеплення, МПа.

За розрахункову модель прийнято шаруватий півпростір зі спаяним або вільним контактом між шарами. Розрахункову модель наведено на рисунку 4.1.

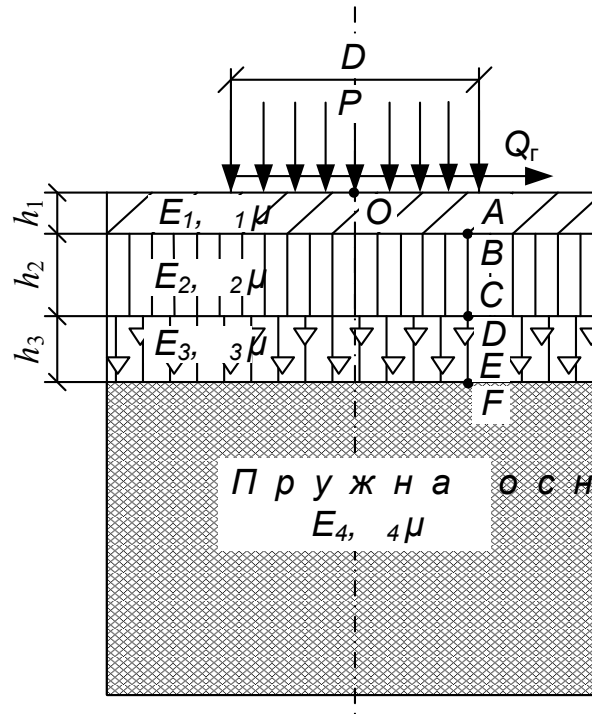


Рисунок 4.1 – Розрахункова модель конструкції дорожнього одягу

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. Розрахунок напружень виконується у програмі ANSYS.

Напруження визначалися у точках O , A , B , C , D , E та F (рис. 4.1). Точка O знаходиться на осі симетрії на поверхні покриття. Розподілене навантаження прикладене на поверхні покриття рівномірно по площині кола діаметром (D),

рівновеликого площі відбитку колеса. На нижній границі моделі задані граничні умови у вигляді нерухомого закріплення нижньої границі:

$$\delta x_p = \delta y_p = \delta z_p = 0, \text{ або } \delta r_p = \delta \phi_p = \delta z_p = 0 \text{ при } \forall p \in \{P\}, \quad (4.2)$$

де p – номери вузлів, що належать відповідній поверхні, на якій задається умова;

$\{P\}$ – множина вузлів.

Для оцінки напружень застосовані моделі, що складаються з двох шарів асфальтобетону та пружної основи (рис. 4.2).

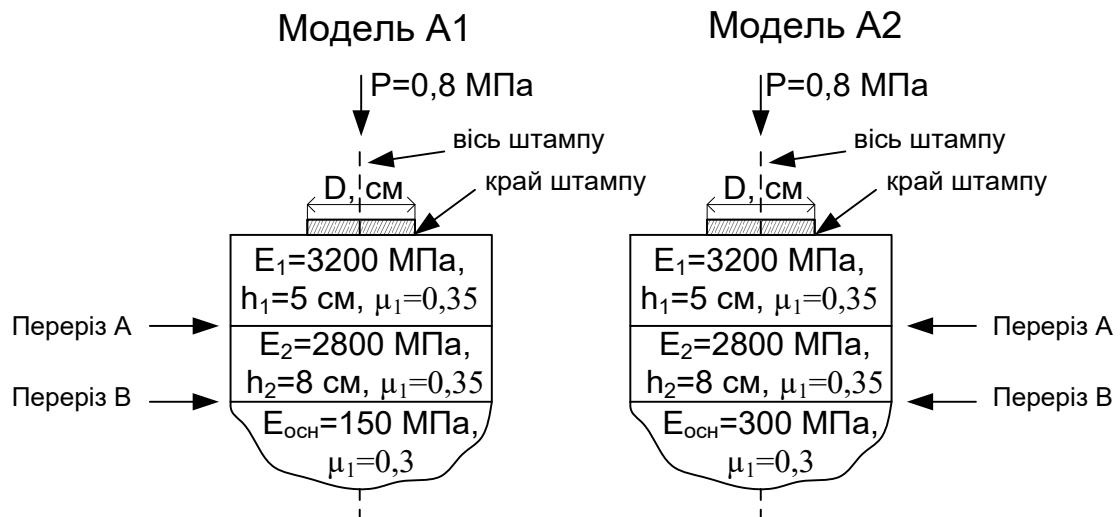


Рисунок 4.2 – Розрахункова модель конструкції дорожнього одягу

На поверхні моделі прикладене вертикальне навантаження з постійним рівномірно розподіленим тиском $0,8 \text{ МПа}$ [138] та змінним діаметром площадки навантаження, що імітує змінювання коефіцієнта динамічності. Модель являє собою шаруватий півпростір з забезпеченим зчепленням між асфальтобетонними шарами. Розміри розрахункової моделі прийняті за умови відсутності переміщень згідно з [10, 53, 54] та становлять $2 \text{ м} \times 2 \text{ м} \times 2 \text{ м}$. Розрахункові моделі відрізняються модулем пружності основи (150 МПа у моделі «A1» та 300 МПа у моделі «A2»).

На поверхні моделі по осі штампу визначалися деформації та загальний еквівалентний модуль пружності конструкції. Напруження визначалися 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 моделювання НДС конструкцій дорожнього одягу, що наведені у табл. 4.1-4.4 та на рис. 4.3-4.10, встановлено, що:

- збільшення коефіцієнта динамічності у 3 – 3,5 рази призводить до зростання деформації на поверхні покриття майже у 1,5 рази;
- модуль пружності на поверхні покриття зменшується майже вдвічі при збільшенні коефіцієнта динамічності у 3,5 рази;
- на осі штампу вертикальні напруження (σ_z) та горизонтальні напруження (σ_x і σ_r) зростають при збільшенні коефіцієнту динамічності. У перерізі «А» (рис. 4.1, рис. 4.2) вертикальні напруження (σ_z) зростають у 1,15 – 1,20 рази при збільшенні коефіцієнта динамічності у 6 разів, а горизонтальні напруження (σ_x і σ_r) зростають в 2,0 рази. У перерізі «В» вертикальні напруження (σ_z) зростають у 2,3 – 2,8 рази, а горизонтальні напруження (σ_x та σ_r) зростають у 1,6 – 2,0 рази;
- на краю штампу вертикальні напруження (σ_z) та дотичні напруження (τ_{xz}) зростають при збільшенні коефіцієнту динамічності. У перерізі «А» вертикальні напруження (σ_z) зростають у 1,2 – 2,1 разів при збільшенні коефіцієнта динамічності у 6 разів, а дотичні напруження (τ_{xz}) зростають у

1,2 – 1,4 рази. У перерізі «В» (рис. 4.1, рис. 4.2) вертикальні напруження (σ_z) зростають у 1,7 – 2,1 рази, а дотичні напруження (τ_{xz}) у 1,2 – 2,4 рази.

Таблиця 4.1 – Результати моделювання НДС моделі А1 за різних коефіцієнтах динамічності

Коефіцієнт динамічності	Діаметр штапу, см	Деформація поверхні покриття, см	Модуль пружності на поверхні покриття, МПа	Напруження, МПа									
				Переріз «А» на осі штапу			Переріз «А» на краю штапу		Переріз «В» на осі штапу			Переріз «В» на краю штапу	
				σ_z	σ_x	σ_r	τ_{xz}	σ_z	σ_z	σ_x	σ_r	τ_{xz}	σ_z
1,0	30,00	0,0583	323	-0,630	-0,505	-0,512	0,473	-0,292	-0,212	0,773	1,865	0,061	-0,146
1,2	33,00	0,0688	301	-0,635	-0,561	-0,571	0,502	-0,300	-0,241	0,842	2,061	0,069	-0,162
1,3	34,50	0,0743	292	-0,639	-0,588	-0,586	0,516	-0,303	-0,256	0,874	2,154	0,072	-0,170
1,5	37,06	0,0840	277	-0,644	-0,633	-0,628	0,529	-0,309	-0,281	0,924	2,300	0,079	-0,186
1,7	39,45	0,0934	265	-0,650	-0,671	-0,684	0,554	-0,313	-0,304	0,965	2,445	0,085	-0,194
2,0	42,79	0,1072	250	-0,660	-0,723	-0,737	0,575	-0,320	-0,336	1,017	2,623	0,093	-0,209
2,1	43,75	0,1112	247	-0,662	-0,738	-0,752	0,580	-0,322	-0,345	1,031	2,760	0,095	-0,213
3,0	52,40	0,1500	219	-0,687	-0,857	-0,865	0,619	-0,336	-0,425	1,129	3,058	0,114	-0,246
5,0	67,64	0,2240	189	-0,726	-1,000	-0,998	0,652	-0,354	-0,543	1,185	3,505	0,139	-0,291
6,0	74,10	0,2573	181	-0,740	-1,042	-1,030	0,655	-0,360	-0,586	1,178	3,613	0,146	-0,305

Таблиця 4.2 – Зміна НДС моделі А1 за різних коефіцієнтів динамічності у порівнянні з коефіцієнтом динамічності, що дорівнює одиниці

Коефіцієнт динамічності	Діаметр штапу, см	Відношення деформації поверхні покриття до значення при $K_d = 1$	Відношення модулю пружності на поверхні покриття до значення при $K_d = 1$	Відношення напружень до значень при $K_d = 1$									
				Переріз «А» на осі штапу			Переріз «А» на краю штапу		Переріз «В» на осі штапу			Переріз «В» на краю штапу	
				σ_z/σ_{z1}	σ_x/σ_{x1}	σ_r/σ_{r1}	τ_{xz}/τ_{xz1}	σ_z/σ_{z1}	σ_z/σ_{z1}	σ_x/σ_{x1}	σ_r/σ_{r1}	τ_{xz}/τ_{xz1}	σ_z/σ_{z1}
1,0	30,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,2	33,00	1,18	1,07	1,01	1,11	1,11	1,06	1,03	1,14	1,09	1,11	1,15	1,11
1,3	34,50	1,27	1,11	1,01	1,16	1,14	1,09	1,04	1,21	1,13	1,15	1,18	1,16
1,5	37,06	1,44	1,17	1,02	1,25	1,26	1,12	1,05	1,32	1,19	1,23	1,29	1,27
1,7	39,45	1,60	1,22	1,03	1,33	1,33	1,17	1,07	1,43	1,25	1,31	1,39	1,32
2,0	42,79	1,84	1,29	1,05	1,43	1,44	1,22	1,09	1,58	1,32	1,41	1,52	1,43
2,1	43,75	1,91	1,31	1,05	1,46	1,47	1,23	1,10	1,63	1,33	1,43	1,56	1,46
3,0	52,40	2,57	1,47	1,09	1,70	1,69	1,31	1,15	2,00	1,46	1,64	1,87	1,68
5,0	67,64	3,84	1,71	1,15	1,98	1,96	1,38	1,21	2,56	1,53	1,88	2,28	1,99
6,0	74,10	4,41	1,78	1,17	2,06	2,01	1,38	1,23	2,76	1,52	1,94	2,39	2,09

Таблиця 4.3 – Результати моделювання НДС моделі А2

Коефіцієнт динамічності	Діаметр штапу, см	Деформація поверхні покриття, см	Модуль пружності на поверхні покриття, МПа	Напруження, МПа									
				Переріз «А» на осі штапу			Переріз «А» на краю штапу		Переріз «В» на осі штапу			Переріз «В» на краю штапу	
				σ_z	σ_x	σ_r	τ_{xz}	σ_z	σ_z	σ_x	σ_r	τ_{xz}	σ_z
1,0	30,00	0,0350	538	-0,663	-0,415	-0,445	0,415	-0,307	-0,293	0,520	1,326	0,087	-0,184
1,2	33,00	0,0409	506	-0,671	-0,497	-0,491	0,435	-0,314	-0,329	0,554	1,444	0,097	-0,201
1,3	34,50	0,0440	493	-0,675	-0,520	-0,513	0,444	-0,317	-0,346	0,566	1,499	0,102	-0,209
1,5	37,06	0,0493	472	-0,682	-0,555	-0,547	0,451	-0,321	-0,375	0,585	1,586	0,109	-0,227
1,7	39,45	0,0545	455	-0,689	-0,585	-0,576	0,469	-0,328	-0,401	0,600	1,660	0,117	-0,232
2,0	42,79	0,0619	434	-0,699	-0,626	-0,613	0,481	-0,334	-0,435	0,615	1,753	0,127	-0,246
2,1	43,75	0,0641	428	-0,701	-0,637	-0,623	0,485	-0,335	-0,445	0,617	1,778	0,129	-0,250
3,0	52,40	0,0845	389	-0,726	-0,725	-0,695	0,505	-0,347	-0,527	0,626	1,955	0,150	-0,279
5,0	67,64	0,1227	346	-0,760	-0,822	-0,759	0,519	-0,362	-0,635	0,570	2,099	0,174	-0,314
6,0	74,10	0,1393	334	-0,771	-0,847	-0,765	0,519	-0,367	-0,671	0,531	2,106	0,180	-0,324

Таблиця 4.4 – Зміна НДС моделі А2 за різних коефіцієнтів динамічності у порівнянні з коефіцієнтом динамічності, що дорівнює одиниці

Коефіцієнт динамічності	Діаметр штапу, см	Відношення деформації поверхні покриття до значення при $K_d = 1$	Відношення модулю пружності на поверхні покриття до значення при $K_d = 1$	Відношення напружень до значень при $K_d = 1$									
				Переріз «А» на осі штапу			Переріз «А» на краю штапу		Переріз «В» на осі штапу			Переріз «В» на краю штапу	
				σ_{Zi}/σ_{Z1}	σ_{Xi}/σ_{X1}	σ_{ri}/σ_{r1}	τ_{XZi}/τ_{XZ1}	σ_{Zi}/σ_{Z1}	σ_{Zi}/σ_{Z1}	σ_{Xi}/σ_{X1}	σ_{ri}/σ_{r1}	τ_{XZi}/τ_{XZ1}	σ_{Zi}/σ_{Z1}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1,0	30,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,2	33,00	1,17	1,06	1,01	1,20	1,10	1,05	1,11	1,12	1,06	1,09	1,02	1,09
1,3	34,50	1,26	1,09	1,02	1,25	1,15	1,07	1,17	1,18	1,09	1,13	1,03	1,13
1,5	37,06	1,41	1,14	1,03	1,34	1,23	1,08	1,25	1,28	1,12	1,19	1,04	1,23
1,7	39,45	1,56	1,18	1,04	1,41	1,29	1,13	1,34	1,37	1,15	1,25	1,07	1,26
2,0	42,79	1,77	1,24	1,05	1,51	1,38	1,15	1,46	1,48	1,18	1,32	1,09	1,34
2,1	43,75	1,83	1,26	1,06	1,53	1,40	1,17	1,48	1,52	1,19	1,34	1,09	1,36
3,0	52,40	2,41	1,38	1,09	1,75	1,56	1,22	1,72	1,80	1,20	1,47	1,13	1,52
5,0	67,64	3,51	1,55	1,15	1,98	1,70	1,25	2,00	2,17	1,10	1,58	1,18	1,71
6,0	74,10	3,98	1,61	1,16	2,04	1,72	1,25	2,06	2,29	1,02	1,59	1,19	1,76

Як свідчать результати моделювання НДС (рис. 4.5-4.10), найбільш суттєвий вплив на змінювання напружень у конструкції дорожнього одягу має коефіцієнт динамічності у діапазоні від 1 до 3. Подальше зростання коефіцієнта

динамічності незначно змінює напруження у шарах конструкції дорожнього одягу.

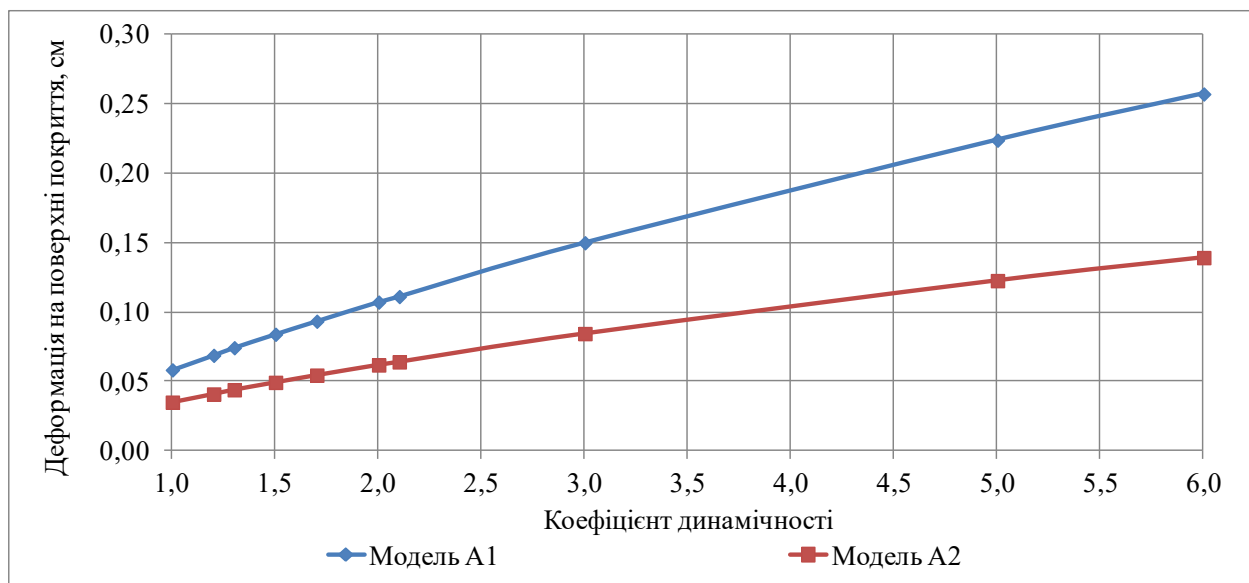


Рисунок 4.3 – Зв'язок деформації на поверхні покриття з коефіцієнтом динамічності

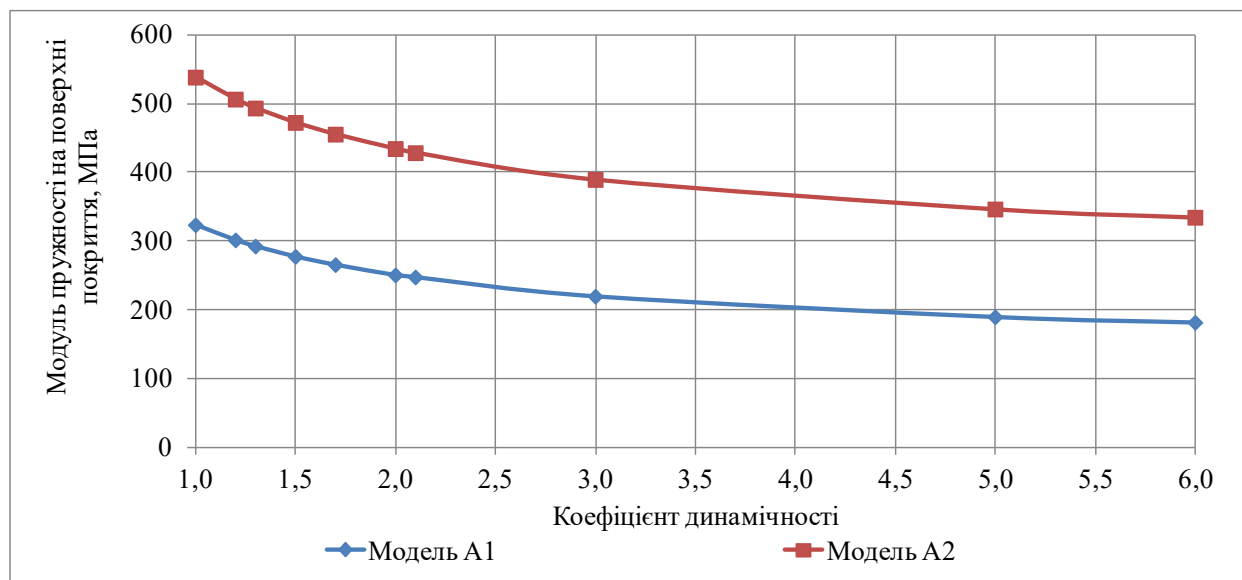


Рисунок 4.4 – Зв'язок модуля пружності на поверхні покриття з коефіцієнтом динамічності

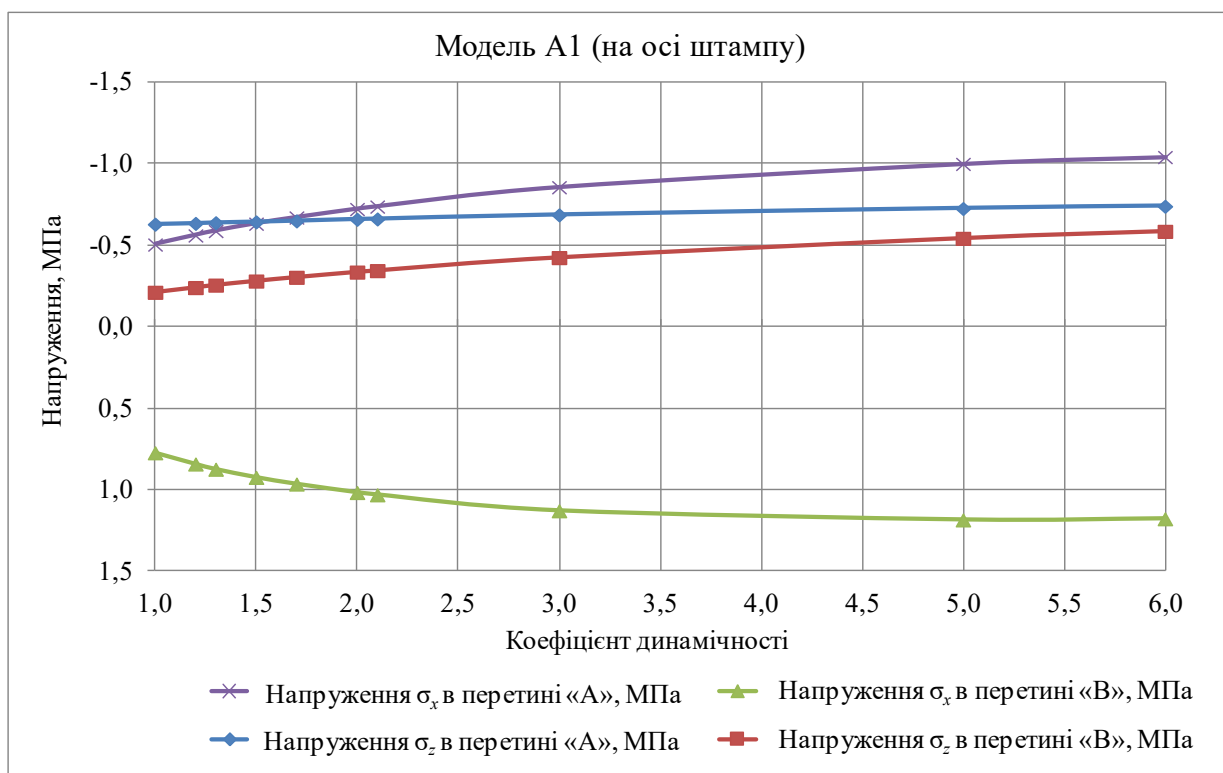


Рисунок 4.5 – Зв'язок напружень (σ_x, σ_z) по осі штампу з коефіцієнтом динамічності для моделі А1

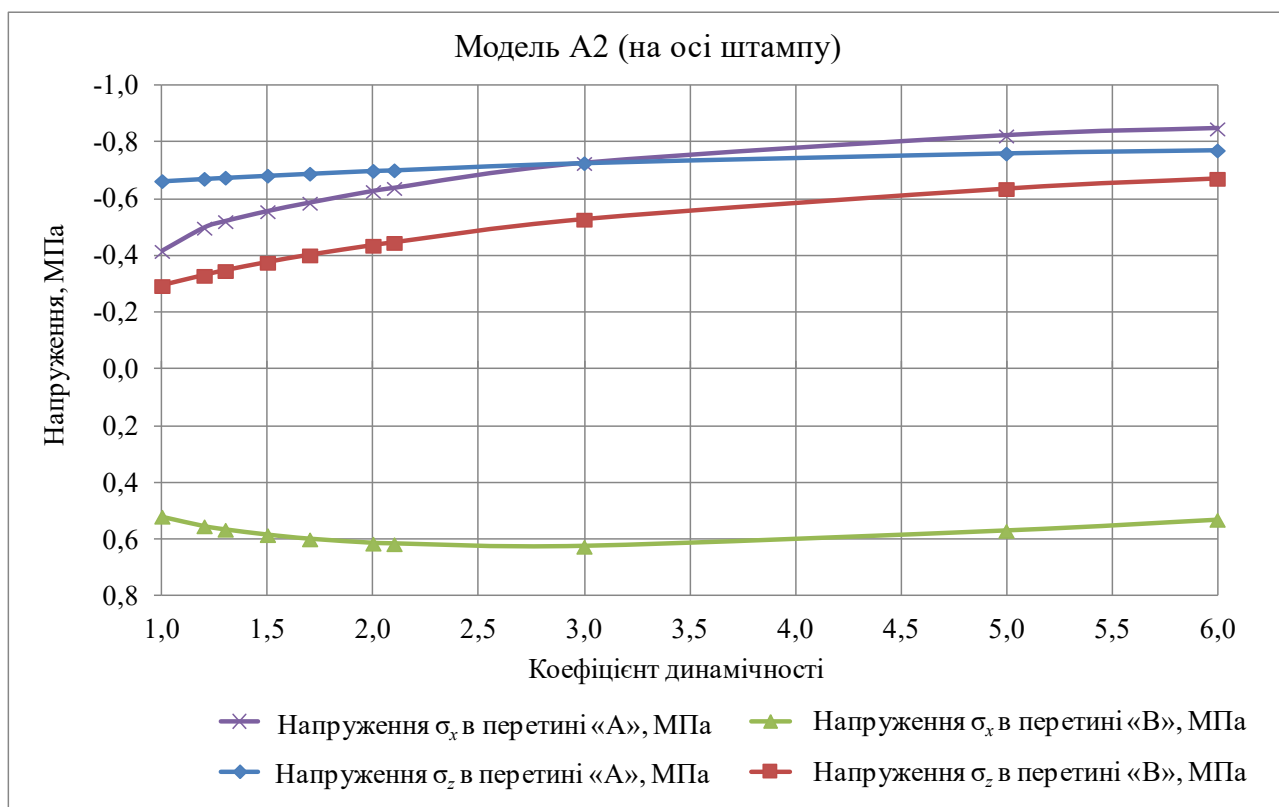


Рисунок 4.6 – Зв'язок напружень (σ_x, σ_z) по осі штампу з коефіцієнтом динамічності для моделі А2

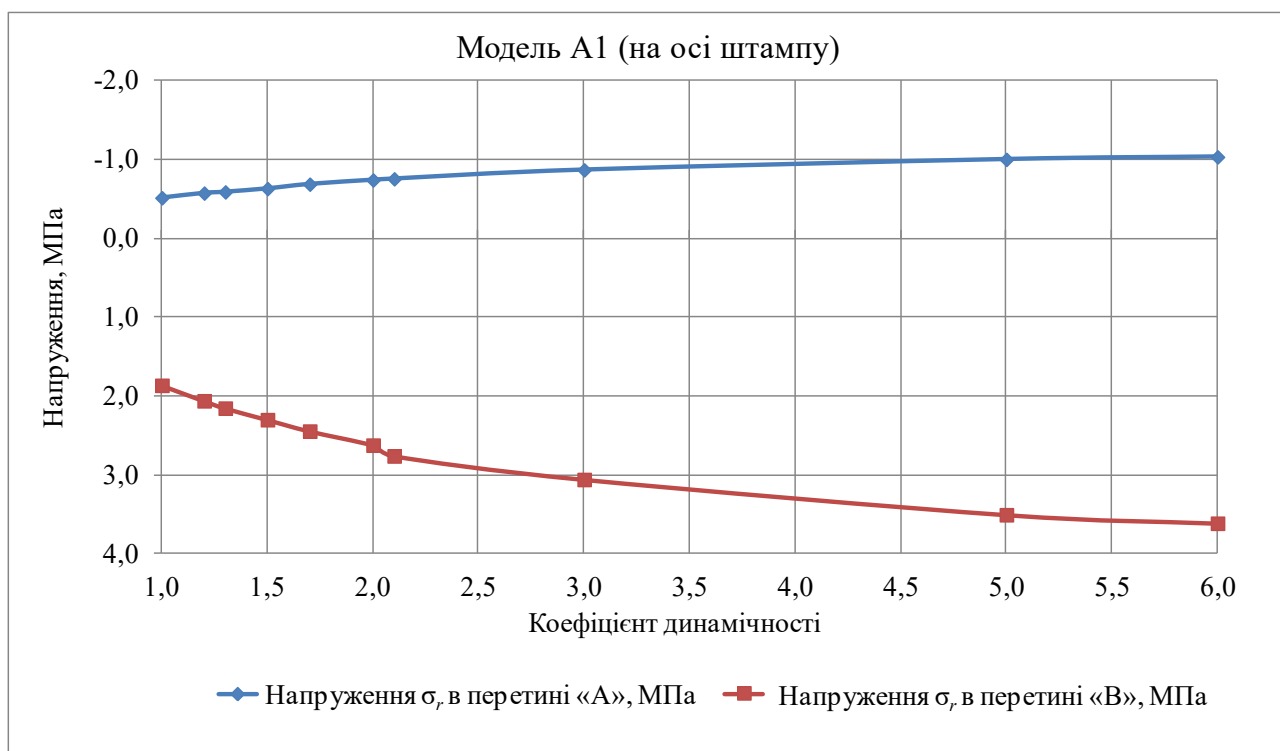


Рисунок 4.7 – Зв'язок напружень (σ_r) по осі штампу з коефіцієнтом динамічності для моделі А1

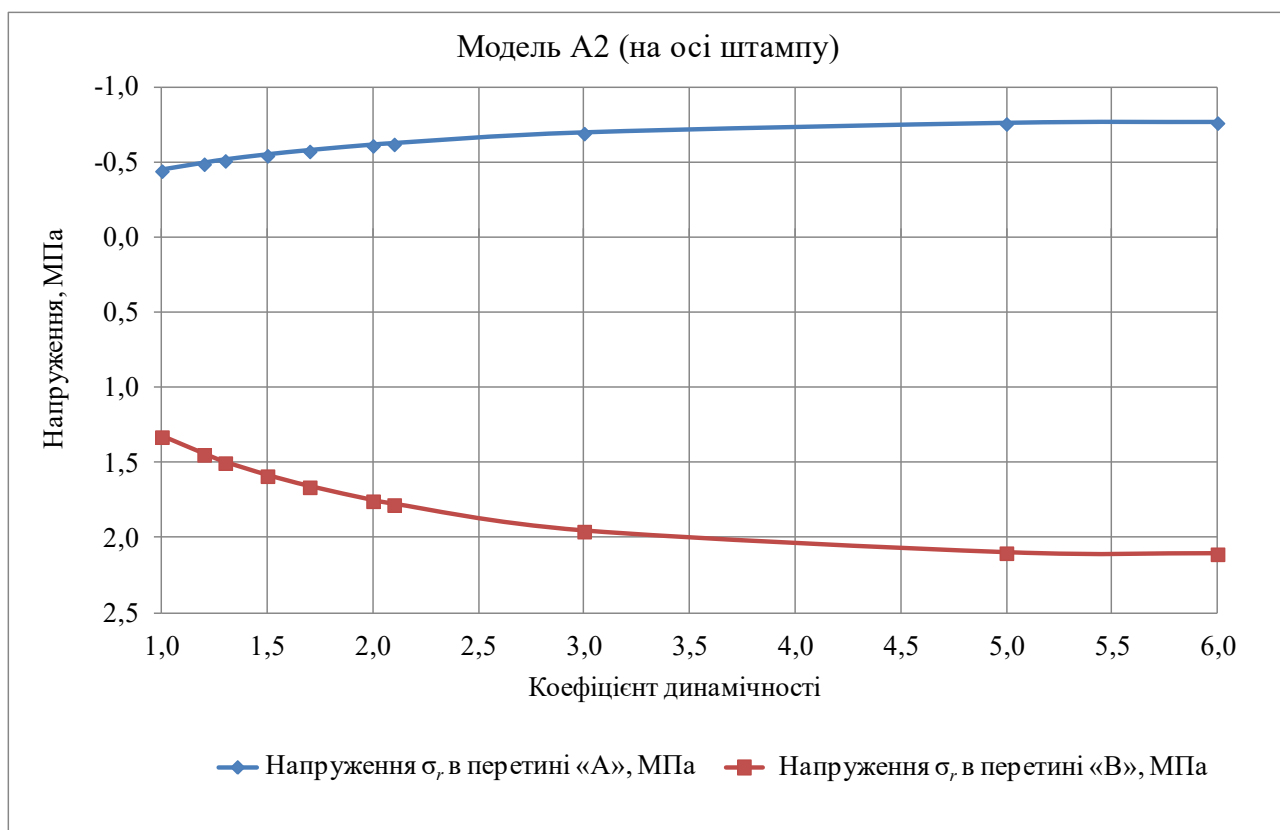


Рисунок 4.8 – Зв'язок напружень (σ_r) по осі штампу з коефіцієнтом динамічності для моделі А2

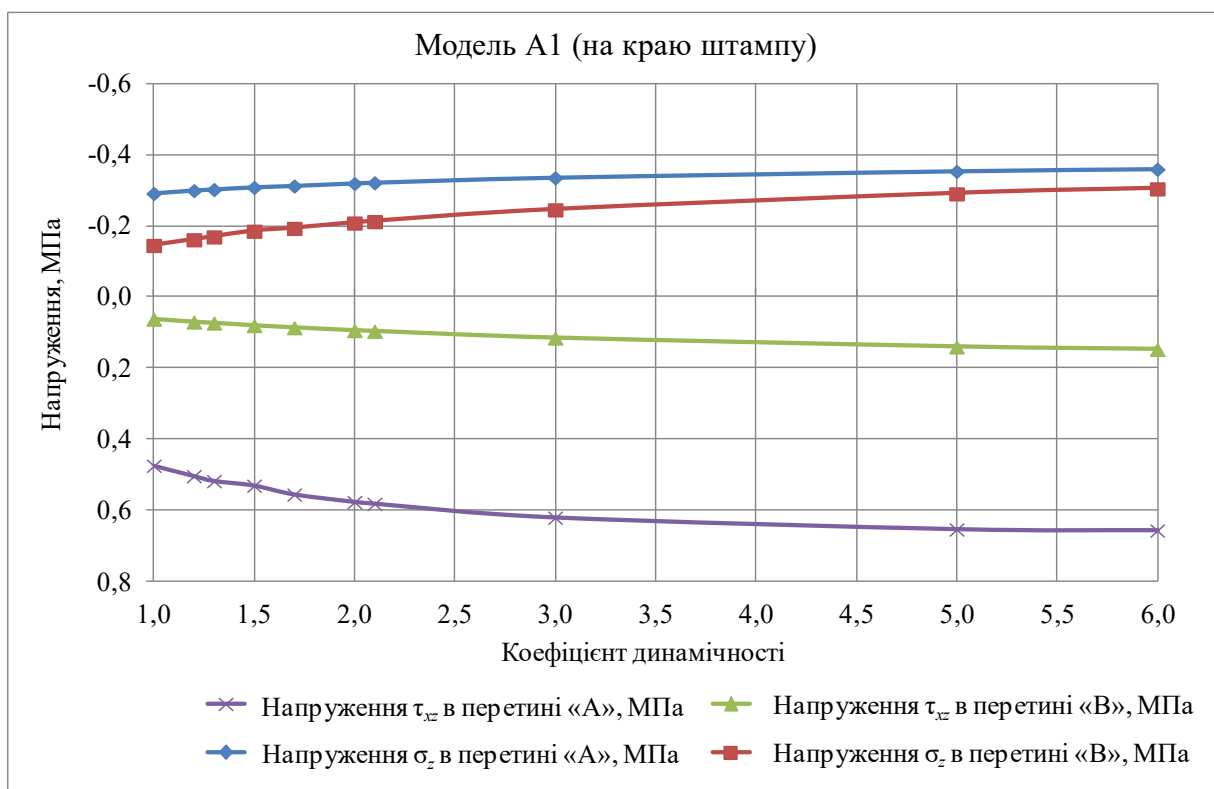


Рисунок 4.9 – Зв'язок напружень на краю штампу з коефіцієнтом динамічності для моделі A1

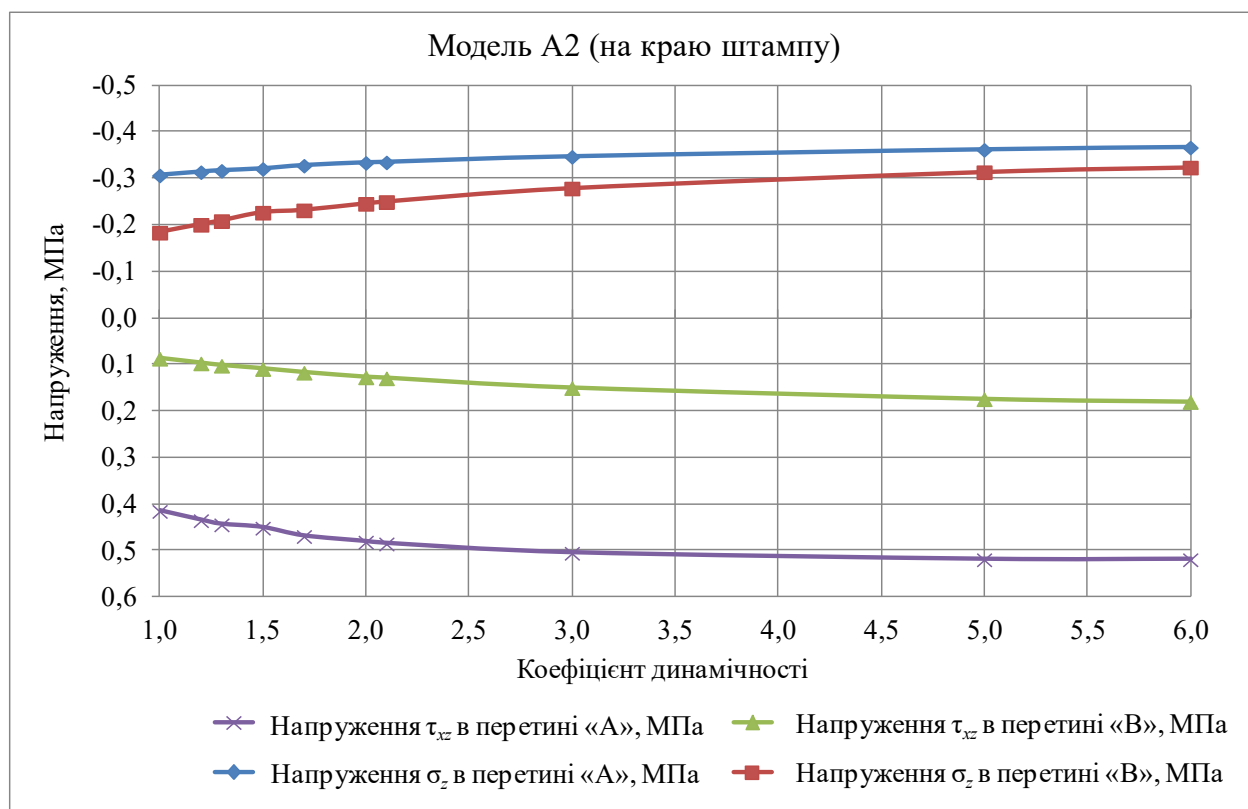


Рисунок 4.10 – Зв'язок напружень на краю штампу з коефіцієнтом динамічності для моделі A2

Результати моделювання НДС конструкцій застосовані для аналізу змінювання коефіцієнтів запасу міцності за граничними станами (критеріями міцності) і оцінювання впливу параметрів навантаження на показники міцності.

Дорожній одяг розраховують за умови безвідмовної роботи конструкції протягом усього періоду між капітальними ремонтами [34-36]. При цьому допускається нормований відсоток відмов, під якими розуміють стан дорожнього одягу, що характеризується нерівностями, які пов'язані зі зменшенням міцності конструкції у процесі експлуатації. Згідно з [35-36] для автомобільних доріг I і II категорії допустимий відсоток відмов або граничний коефіцієнт руйнування приймається у межах п'яти відсотків (коефіцієнт руйнування ($K_{руй}$) дорівнює 0,05). Відповідно до ГБН В.2.3-37641918-559 [34] коефіцієнт руйнування ($K_{руй}$) для автомобільних доріг становить:

- категорії I-а – 3 відсотки;
- категорії I-б і категорії II – 5 відсотків відмов.

Нормативний коефіцієнт надійності (Україна) або граничний коефіцієнт руйнування (Росія, Білорусь, Азербайджан, Казахстан та ін.) визначає мінімальний коефіцієнт міцності за граничними станами, який дорожній одяг повинен мати до кінця строку експлуатації. Тобто, не тільки рівень надійності але й коефіцієнти запасу міцності [34] характеризують можливі руйнування. Граничним вважається стан дорожнього одягу, за якого коефіцієнт запасу міцності за критерієм допустимого пружного прогину ($K_{мц}$) менше або дорівнює 0,95 [49]. Числове моделювання впливу коефіцієнту динамічності на пружний прогин (табл. 4.5) типової конструкції дорожнього одягу для автомобільних доріг I-а, I-б та II категорій [139] показало, що із збільшенням коефіцієнту динамічності загальний модуль пружності зменшується. При коефіцієнті динамічності від 2 до 2,5 модуль пружності дорожнього одягу в порівнянні зі статичним навантаженням зменшується в 1,5 рази. Тобто в даних умовах запас міцності вичерпаний, а стан дорожнього одягу характеризується як «відмова» [34].

Таблиця 4.5 – Вплив коефіцієнту динамічності на пружний прогин (середньозважений модуль пружності покриття $E_{\text{сер}} = 2800$ МПа, товщина шарів покриття $h_{\text{заг}} = 23$ см, коефіцієнт Пуассона $\mu_1 = 0,25$ та $\mu_2 = 0,30$)

K_d	D , см	$E_0 = 100$ МПа		$E_0 = 150$ МПа		$E_0 = 200$ МПа		$E_0 = 250$ МПа		$E_0 = 300$ МПа	
		W , мм	$E_{\text{об}}$, МПа	W , мм	$E_{\text{об}}$, МПа	W , мм	$E_{\text{об}}$, МПа	W , мм	$E_{\text{об}}$, МПа	W , мм	$E_{\text{об}}$, МПа
			E_1/E_d		E_1/E_d		E_1/E_d		E_1/E_d		E_1/E_d
1,0	30,00	0,564	449	0,426	594	0,349	725	0,299	847	0,263	963
			1,000		1,000		1,000		1,000		1,000
1,2	33,00	0,678	411	0,512	544	0,419	665	0,358	778	0,315	884
			1,092		1,092		1,090		1,090		1,090
1,3	34,50	0,739	394	0,557	523	0,456	639	0,390	746	0,342	851
			1,140		1,136		1,134		1,135		1,130
1,5	37,06	0,848	369	0,639	490	0,522	599	0,446	701	0,391	800
			1,217		1,212		1,210		1,210		1,200
1,7	39,45	0,955	335	0,719	463	0,587	565	0,501	665	0,439	758
			1,340		1,280		1,280		1,270		1,270
2,0	42,79	1,115	324	0,838	431	0,683	529	0,582	620	0,510	708
			1,380		1,378		1,370		1,370		1,360
2,5	47,95	1,383	292	1,036	390	0,843	480	0,717	564	0,627	648
			1,540		1,520		1,510		1,500		1,490
3,0	52,40	1,632	271	1,220	375	0,991	446	0,841	526	0,735	602
			1,657		1,584		1,620		1,610		1,560
3,5	56,74	1,892	253	1,411	339	1,143	419	0,969	494	0,846	566
			1,770		1,750		1,730		1,710		1,700
4,0	60,66	2,139	239	1,592	303	1,287	398	1,090	470	0,950	539
			1,880		1,960		1,820		1,800		1,787
5,0	67,82	2,620	218	1,942	295	1,565	365	1,321	433	1,149	498
			2,060		2,010		1,980		1,960		1,930
6,0	74,29	3,085	203	2,278	275	1,831	342	1,542	406	1,337	469
			2,210		2,160		2,120		2,080		2,050

Пружний прогин є комплексним показником стану дорожнього одягу, характеристикою деформативності, а безпосередньо міцність дорожнього одягу характеризує міцність шарів з монолітних матеріалів на згин і міцність на зсув між асфальтобетонними шарам.

Числове моделювання впливу коефіцієнту динамічності на НДС моделей конструкції дорожнього одягу показало, що найбільш «чутливим» параметром до динамічних навантажень є міцність асфальтобетонних шарів на розтяг при згині (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Вплив коефіцієнту динамічності на показники НДС конструкції дорожнього одягу

K_d	D , см	$E_0 = 100$ МПа			$E_0 = 100$ МПа			$E_0 = 250$ МПа			$E_0 = 250$ МПа		
		$\sigma_{r\text{ аб}}$	σ_R за [92]	$\tau_{\text{кон}}$	$\sigma_{r\text{ аб}}$	σ_R за [92]	$\tau_{\text{кон}}$	$\sigma_{r\text{ аб}}$	σ_R за [92]	$\tau_{\text{кон}}$	$\sigma_{r\text{ аб}}$	σ_R за [92]	$\tau_{\text{кон}}$
1,0	30,00	1,100	0,763	0,350	0,997	0,734	0,347	0,923	0,709	0,340	0,866	0,689	0,319
1,3	34,50	1,345	1,415	0,380	1,211	1,348	0,368	1,116	1,290	0,358	1,043	1,246	0,348
1,5	37,06	1,483	1,916	0,399	1,331	1,870	0,381	1,223	1,785	0,381	1,140	1,713	0,361
1,7	39,45	1,611	2,638	0,406	1,441	2,480	0,394	1,321	2,358	0,394	1,228	2,253	0,370
2,0	42,79	1,788	3,800	0,436	1,591	3,570	0,423	1,452	3,367	0,410	1,346	3,199	0,397
2,5	47,95	2,053	5,770	0,465	1,812	5,820	0,451	1,644	5,436	0,437	1,516	5,120	0,423
3,0	52,40	2,273	9,450	0,495	1,992	8,600	0,474	1,797	7,960	0,458	1,649	7,440	0,444

Радіальні напруження і напруження на розтяг при згині зі зростанням динамічних навантажень збільшуються інтенсивніше, ніж прогин конструкції і дотичні напруження. Радіальні напруження по нижній фібрі пакету асфальтобетонних шарів збільшуються відносно статичного навантаження (для статичного навантаження прийнятий $K_d = 1$) при $K_d = 1,6$ на 150 відсотків; напруження на розтяг при згині при $K_d = 1,3$ збільшуються на 150 відсотків. Це свідчить, що при коефіцієнті динамічності, що дорівнює 1,6, міцність на згін асфальтобетонних шарів не забезпечена, починається інтенсивне деформування і руйнування асфальтобетонного покриття з погіршенням показників рівності.

Дотичні напруження на нижній фібрі верхнього шару покриття збільшуються менш інтенсивно. Для навантаження 130 кН і 115 кН величина дотичних напружень за нормативного коефіцієнта динамічності ($K_d = 1,3$) становить від 0,38 МПа до 0,33 МПа, а з урахуванням напружень від дії гальмівних сил, загальна величина дотичних напружень (коефіцієнт динамічності дорівнює від 1,6 до 1,7) досягає значень від 0,6 МПа до 0,55 МПа, що є дуже небезпечним.

Проведене числове моделювання НДС конструкції дорожнього одягу дозволило встановити граничне значення коефіцієнта динамічності ($K_d = 1,7$) за умови допустимого значення коефіцієнту руйнування (0,05).

4.2 Порядок визначення динамічного розрахункового навантаження з урахуванням рівності покриття

При проектуванні дорожнього одягу на дію рухомого транспортного навантаження фактичне розрахункове динамічне навантаження визначається з урахуванням коефіцієнта динамічності, що відповідає середньозваженій за строк експлуатації рівності покриття. Середньозважена за строк експлуатації рівність покриття становить від 0,78 до 0,80 від максимального індексу рівності (IRI) за строк служби 10-12 років. За результатами проведених досліджень на еталонних ділянках отримано експериментальні дані щодо статистичного розподілу показників рівності і коефіцієнтів динамічності, що відповідають певній рівності.

Статистична обробка масиву даних дозволила отримати апроксимуючу залежність, що характеризує зв'язок (табл. 4.7) коефіцієнту динамічності (K_d) зі середньозваженою рівністю за строк експлуатації ($IRI_{\text{сер}}$):

$$K_d = 2,94207 - 3,1222 \cdot \exp\left(-\frac{IRI_{\text{сер}}}{3,21747}\right), \quad (4.3)$$

де K_d – коефіцієнт динамічності навантаження;

$IRI_{\text{сер}}$ – середньозважена рівність покриття за строк експлуатації, м/км.

Таблиця 4.7 – Розрахункові значення коефіцієнта динамічності

Ч.ч.	Значення показника рівності, IRI, м/км	Коефіцієнт динамічності, K_d	Ч.ч.	Значення показника рівності, IRI, м/км	Коефіцієнт динамічності, K_d	Ч.ч.	Значення показника рівності, IRI, м/км	Коефіцієнт динамічності, K_d
1	1,60	1,043	8	2,80	1,634	15	4,00	2,041
2	1,75	1,130	9	3,00	1,713	16	4,20	2,096
3	1,80	1,158	10	3,20	1,787	17	4,40	2,147
4	2,00	1,265	11	3,40	1,857	18	4,50	2,171
5	2,20	1,366	12	3,50	1,890	19	4,60	2,195
6	2,40	1,460	13	3,60	1,922	20	4,80	2,240
7	2,60	1,550	14	3,80	1,984	21	5,00	2,282

Номінальне (фактичне) динамічне навантаження кожного типу транспортного засобу визначається з урахуванням коефіцієнта динамічності:

$$Q_{\text{д.ф.}} = Q_{\text{ст}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (4.4)$$

де $Q_{\text{д.ф.}}$ – номінальне (фактичне) динамічне навантаження від транспортного засобу, кН;

$Q_{\text{ст}}$ – статичне навантаження від транспортного засобу, кН;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт динамічності навантаження.

Розрахунковими параметрами динамічного навантаження є питомий тиск p (МПа) та динамічний діаметр відбитка колеса (см), що визначається за формулою:

$$D_{\text{ф}} = 1,18972 \cdot \sqrt{Q_{\text{д.ф.}}}, \quad (4.5)$$

де $D_{\text{ф}}$ – динамічний діаметр відбитка колеса, см.

4.3 Методика визначення потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття

4.3.1 Визначення рівності покриття на кінець строку експлуатації дорожнього одягу

Конструкція дорожнього одягу відповідає вимогам надійності і міцності за критерієм пружного прогину, якщо виконується умова [34]:

$$K_{\text{мц}} \leq \frac{E_{\text{заг}}}{E_{\text{потр}}}, \quad (4.6)$$

де $K_{\text{мц}}$ – коефіцієнт запасу міцності дорожнього одягу згідно з [34];

$E_{\text{заг}}$ – загальний модуль пружності конструкції дорожнього одягу, МПа;

$E_{\text{потр}}$ – потрібний модуль пружності конструкції дорожнього одягу, що визначається в залежності від допустимої рівності покриття з урахуванням капітальності дорожнього одягу, інтенсивності дії навантаження, фактичного динамічного навантаження (4.4, 4.5), МПа.

Рівність покриття визначається за формулою:

$$\begin{aligned}
 IRI_t = IRI_0 & \left[1 + 1,51374 \cdot \exp\left(-\frac{E_{\text{заг}}}{50}\right) + \left(0,0394 - 0,05248 \cdot 10^{-4} \cdot E_{\text{заг}}\right) \times \right. \\
 & \left. \times 365 \cdot N \cdot \frac{q^t - 1}{q - 1} \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{-0,85858}{1 + \exp\left(\frac{Q}{5,583} - 18,8766\right)} + 1,13032 \right) \right] \times \\
 & \times \left(0,82543 + 0,020896 \cdot t + 0,004742 \cdot t^2 \right) \cdot 1,23 \cdot \left(\frac{K_{\text{мц}}}{0,67} \right)^{-0,26} + \\
 & + c \cdot S_{\text{сеп.-зв.}} \cdot P_{\text{в.а.}} \cdot \sum N \cdot 10^{-6}, \quad (4.7)
 \end{aligned}$$

де IRI_t – показник рівності покриття за міжнародним індексом рівності (IRI) на t -й рік експлуатації після початку експлуатації або капітального ремонту, м/км;

IRI_0 – початкова нормативна рівність покриття, м/км (табл. 4.8);

$E_{\text{заг}}$ – загальний модуль пружності дорожнього одягу, МПа;

$\sum N$ – сумарна кількість прикладення навантаження, одиниць, що визначається за формулою:

$$\sum N = 365 \cdot N_1 \cdot K_c \cdot 10^{-6}, \quad (4.8)$$

де N_1 – інтенсивність руху на смугу у перший рік експлуатації, зведена до розрахункового динамічного навантаження, що розраховується з урахуванням номінального динамічного навантаження (4.4) та динамічного діаметру відбитка колеса (4.5), од./добу;

K_c – коефіцієнт суми, що визначається за формулою:

$$K_c = \frac{q^t - 1}{q - 1}, \quad (4.9)$$

де q – коефіцієнт зростання інтенсивності руху;

$K_{\text{мц}}$ – коефіцієнт запасу міцності за критерієм пружного прогину. При визначенні потрібного модуля пружності дорожнього одягу на кінець строку експлуатації дорожнього одягу, приймаємо рівним від 0,95 до 1,0;

c – коефіцієнт, що визначається експериментально та залежить від групи розрахункового навантаження (згідно таблиці 2.8);

$S_{\text{сер.-зв.}}$ – середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку до розрахункового навантаження:

$$S_{\text{сер.-зв.}} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_{i\text{сум}} \cdot P_i)}{\sum_{i=1}^n (P_i)}, \quad (4.10)$$

де $S_{i\text{сум}}$ – сумарний коефіцієнт приведення дії на дорожній одяг транспортного засобу i -ої марки до розрахункового навантаження ($Q_{\text{розр}}$). Визначається за ГБН В.2.3-37641918-559 (п.п. 6.2.7-6.2.9) [34].

P_i – частка транспортних засобів i -ої марки у складі транспортного потоку;

n – кількість марок транспортних засобів у складі транспортного потоку;

$P_{\text{в.а.}}$ – частка вантажних автомобілів у складі транспортного потоку.

Максимальний (граничний) рівень рівності (табл. 4.8) є допустимим на кінець строку експлуатації дорожнього одягу перед капітальним ремонтом або реконструкцією дорожнього одягу.

Нормативний строк експлуатації дорожнього одягу (t) приймають рівним строку експлуатації дорожнього одягу між капітальними ремонтами згідно з ДБН В.2.3-4 [43].

Таблиця 4.8 – Нормативні показники початкової і граничної рівності покриття

Категорія дороги	Початкова рівність покриття IRI_0 за ДБН В.2.3-4 [43], м/км	Граничний рівень рівності за ДСТУ 3587 [140], см/км (IRI , м/км)
I-а, I-б	1,7	90 (3,00)
II	1,8	110 (3,48)
III	1,9	130 (4,78)
IV	2,0	180 (5,95)

Визначення потрібного модуля пружності може бути проведено:

- методом ітерацій, що являє собою покрокове наближення до граничної рівності покриття;
- визначення потрібного модуля пружності за критерієм граничної рівності за допомогою номограм.

4.3.2 Визначення потрібного модуля пружності дорожнього одягу за критерієм граничної рівності методом ітерацій

Вихідними даними для розрахунку потрібного модуля пружності дорожнього одягу є:

- категорія автомобільної дороги;
- інтенсивність руху (N , авт./добу) і склад транспортного потоку;
- інтенсивність транспортних засобів на смугу руху у перший рік експлуатації дорожнього одягу, зведена до розрахункового навантаження, авт./добу;
- строк експлуатації дорожнього одягу (нормативний чи заданий), років;
- показник зміни інтенсивності руху даного типу автотransпортних засобів (q) згідно з [34];
- коефіцієнт запасу міцності дорожнього одягу ($K_{\text{мц}}$);

– початкова і допустима рівність покриття згідно з [43, 49, 140].

Визначення потрібного модуля пружності проводять у такий спосіб:

– призначають конструкцію дорожнього одягу відповідно до вимог ГБН В.2.3-37641918-559 [34], за альбомами типових конструкцій нежорсткого дорожнього одягу [44, 139] або, виходячи з досвіду проектування нежорсткого дорожнього одягу в аналогічних умовах.

– визначають загальний модуль пружності конструкції дорожнього одягу відповідно до ГБН В.2.3-37641918-559 [34]. Якщо конструкція дорожнього одягу прийнята за альбомами типових конструкцій [44, 139], то очікуваний потрібний модуль пружності визначають за формулою:

$$E_{\text{потр}}^{\text{оч}} = \frac{E_{\text{д.о.}}}{K_{\text{мц}}}, \quad (4.11)$$

де $E_{\text{потр}}^{\text{оч}}$ – очікуваний потрібний модуль пружності дорожнього одягу, МПа;

$E_{\text{д.о.}}$ – загальний модуль пружності конструкції дорожнього одягу, МПа;

$K_{\text{мц}}$ – коефіцієнт запасу міцності за критерієм допустимого пружного прогину;

– за модулем пружності $\left(E_{\text{потр}}^{\text{оч}}\right)$ і коефіцієнтом запасу міцності $\left(K_{\text{мц}}\right)$ за формулою (4.7) визначають розрахунковий показник рівності покриття $\left(IRI_t\right)$ та порівнюють його з допустимими значеннями рівності покриття $\left(IRI_{\text{доп}}\right)$ згідно з ДБН В.2.3-4 [43] та ДСТУ 3587 [140] або з даними таблиці 4.8;

– якщо розрахунковий показник рівності $\left(IRI_t\right)$ перевищує допустимі значення рівності покриття $\left(IRI_{\text{доп}}\right)$, то приймають найбільше значення модуля пружності і повторюють розрахунок до виконання умови:

$$IRI_t \leq IRI_{\text{доп}}; \quad (4.12)$$

– якщо для $\left(E_{\text{потр}}^{\text{оч}}\right)$ розрахунковий показник рівності (IRI_t) менше нормативного значення рівності $(IRI_{\text{доп}})$, то не потрібно призначати іншу конструкцію дорожнього одягу.

4.3.3 Визначення потрібного модуля пружності дорожнього одягу за критерієм граничної рівності за допомогою номограми

Для побудови номограми визначення потрібного модуля пружності дорожнього одягу за критерієм граничної рівності рішення (4.7) представимо у вигляді:

$$\frac{IRI_t - 0,778 \cdot S_{\text{сер.зв.}} \cdot P_{\text{в.а.}}}{1,23 \cdot \left(\frac{K_{\text{мц}}}{0,67}\right)^{-0.26} \cdot \left(0,9778 - 0,00665 \cdot t + 0,00413 \cdot t^2\right) \cdot IRI_0} =$$

$$= \left[1 + \left\{ 1,51374 \cdot \exp\left(-\frac{E_{\text{заг}}}{79,59791}\right) + \left(0,0394 - 0,5248 \cdot 10^{-4} \cdot E_{\text{заг}}\right) \right\} \cdot \sum N_p \right], \quad (4.13)$$

де

$$\sum N_p = 0,365 \cdot N_i \cdot \frac{q^t - 1}{q - 1} \cdot 10^{-3}. \quad (4.14)$$

Ліва частина рівняння (4.13) є умовною величиною рівності (C_{IRI}) :

$$C_{IRI} = \frac{IRI_t - 0,778 \cdot S_{\text{сер.зв.}} \cdot P_{\text{в.а.}}}{1,23 \cdot \left(\frac{K_{\text{мц}}}{0,67}\right)^{-0.26} \cdot IRI_0 \cdot \left(0,9778 - 0,00665 \cdot t + 0,00413 \cdot t^2\right)}. \quad (4.15)$$

За результатами числового моделювання побудовано номограму з визначення потрібного модуля пружності дорожнього одягу за критерієм граничної рівності (рисунок 4.11). Номограма пов'язує сумарну кількість

навантажень ($\sum N_p$) на осі ординат та умовну величину рівності (C_{IRI}) на осі абсцис з модулем пружності дорожнього одягу.

Порядок визначення потрібного модуля пружності за номограмою наступний:

- відповідно до ДБН В.2.3-4 [43] та ДСТУ 3587 [140] або за даними таблиці 4.8 визначається граничний показник рівності покриття;

- за вихідними даними визначаються: кількість прикладань розрахункового навантаження на смугу руху (N) (4.8), коефіцієнт зростання інтенсивності руху (q) (4.9); частка вантажних автомобілів у складі транспортного потоку; початкова нормативна рівність покриття згідно з [42];

- за номограмою (рисунок 4.11) визначається потрібний модуль пружності дорожнього одягу у такому порядку:

- 1) за формулою (4.15) визначається умовна величина рівності (C_{IRI});

- 2) за формулою (4.14) визначається сумарна кількість прикладань навантажень за строк експлуатації дорожнього одягу ($\sum N_p$);

- 3) на номограмі проводиться горизонтальна пряма з точки на вертикальній осі, що відповідає значенню ($\sum N_p$), і вертикаль із точки на горизонтальній осі, що відповідає значенню умовної величини рівності (C_{IRI}).

Точка перетину цих прямих дає шукане значення ($E_{\text{заг}}$);

- незалежно від результатів розрахунків потрібний модуль пружності має дорівнювати або перевищувати граничні значення відповідно до ГБН В.2.3-37641918-559 [34];

- обрану конструкцію дорожнього одягу розраховують за критеріями міцності згідно з ГБН В.2.3-37641918-559 [34].

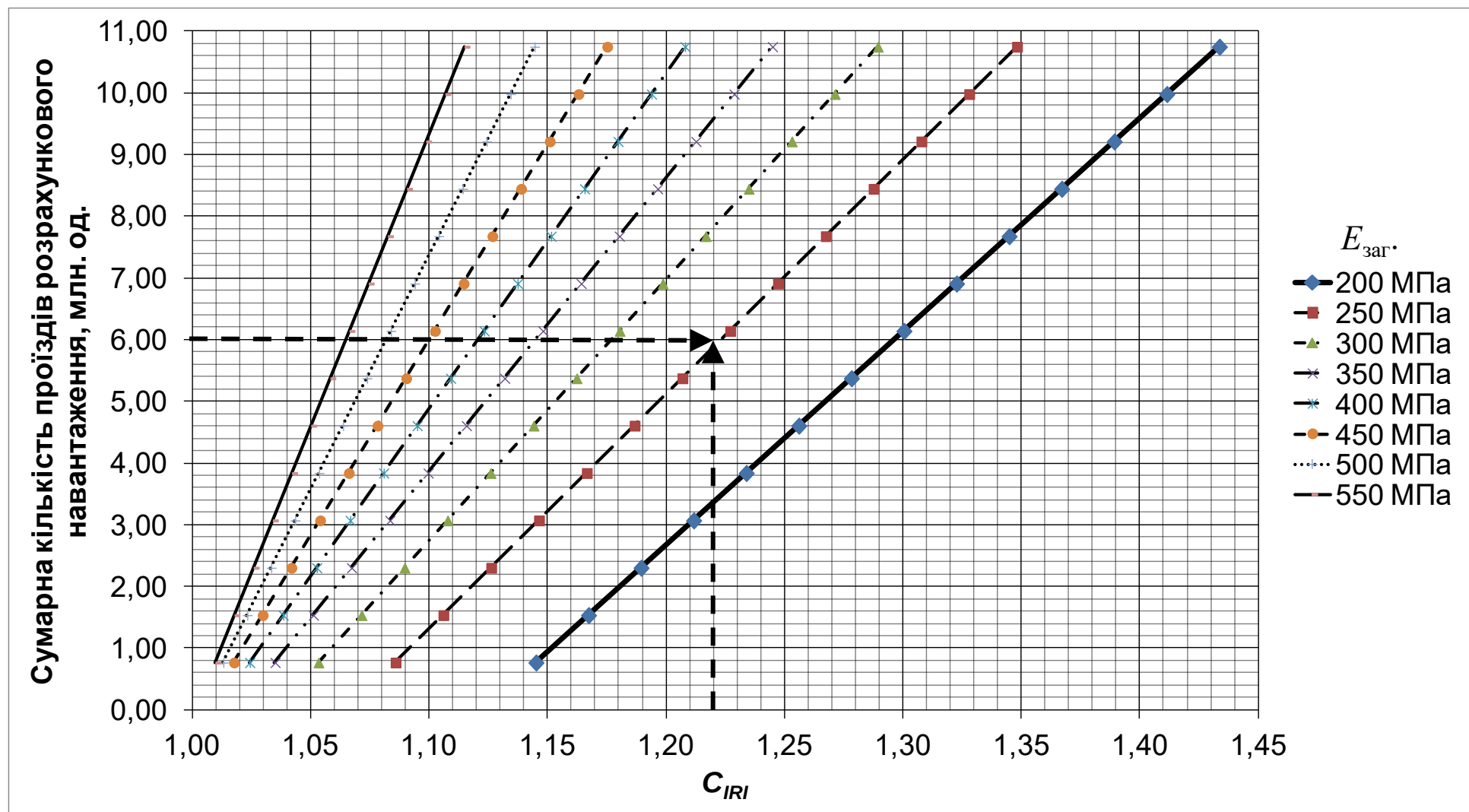


Рисунок 4.11 – Номограма з визначення потрібного модуля пружності за критерієм граничної рівності

4.4 Висновки до розділу

1. За результатами чисельного моделювання впливу навантаження від транспортних засобів на напружено-деформований стан 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 від 2 до 2,5, модуль пружності дорожнього одягу в порівнянні зі статичним навантаженням зменшується в 1,5 рази, тобто в 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 1,6 до 1,7 досягають величини від 0,6 МПа до 0,55 МПа, що є дуже небезпечним.

2. Встановлено граничне значення коефіцієнта динамічності за умови допустимого коефіцієнта руйнування. Для II категорії автомобільної дороги граничне значення коефіцієнта динамічності дорівнює 1,7.

3. Розроблено методику визначення потрібного модуля пружності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття методом ітерацій, основу якої складає модель прогнозування рівності покриття на останній рік експлуатації нежорсткого дорожнього одягу перед капітальним

ремонт. Для спрощення розрахунків розроблено номограму, та порядок визначення потрібного модуля пружності конструкції нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності покриття за допомогою номограми.

4. Результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію на автомобільних дорогах Харківської області та впроваджені у нормативні документи Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор»: Альбом типових конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на дорогах I-II категорій на навантаження 130 кН [139]; Методичні рекомендації з проектування нежорсткого дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи A_1 [141].

ЗАГАЛЬНІ 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 дисертаційного дослідження 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. 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.
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. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.

8. 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, ХОТВ АБУ. 2019, № 2 (96). С. 358–361. DOI: 10.29295/2311-7257-2019-96-2-358-361.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. Бабков В. Ф., Орнатский Н. В., Маслов Н. Н. Расчет дорожных конструкций и несущая способность грунтов. *Вопросы дорожного строительства на V Междунар. конгрессе по механике грунтов и фундаментостроению*. Москва : Автотрансиздат, 1963. С. 102–123.

13. Батраков О. Т., Кравченко В. Г. Прочность грунтощебеночных слоев дорожных одежд. *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1971. № 2. С. 135–138.

14. Бируля А. К., Михович С. И. Работоспособность дорожных одежд : учебное пособие. Москва : Транспорт, 1968. 172 с.

15. Бируля А. К. Конструирование и расчет нежестких одежд автомобильных дорог. Москва : Транспорт, 1971. 167 с.
16. Иванов Н. Н. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд : учебное пособие. Москва : Транспорт, 1973. 328 с.
17. Калужский Я. А. О расчетных схемах конструирования нежестких дорожных одежд. *Автодорожник Украины*. 1963. №1. С. 31–32.
18. Корсунский М. Б. Оценка прочности дорог с нежесткими одеждами : монография. Москва : Транспорт, 1966. 153 с.
19. Кривисский А. М. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд по местному предельному равновесию : монография. Москва : Автотрансиздат, 1963. 75 с.
20. Кривисский А. М. Новые схемы расчета нежестких дорожных одежд : монография. Москва : Автотрансиздат, 1961. 76 с.
21. Раппопорт Р. М. Задача Буссинеска для слоистого упругого полупространства. *Труды Ленинградского политехнического института*. Ленинград : Изд-во ЛПИ, 1948. Вып. 5. С. 3–18.
22. Теляев П. И. Напряжённое состояние дорожных одежд при статическом и кратковременном воздействии нагрузок. *Автомобильные дороги*. 1964. №6. С. 20–21.
23. Бурмистер Д. М. Общая теория напряжений и перемещений в слоистых грунтовых системах. *Журнал прикладной физики*. №16 (5). С. 296–302.
24. Коган Б. И. Осесимметрическая задача теории упругости для многослойного полупространства. *Известия АН СССР. Механика и машиностроение*. 1958. № 6. С. 111–113.
25. Корсунский М. Б. Основы комплексного проектирования конструкций дорожных одежд и земляного полотна автомобильных дорог : автореф. дис. на соискание науч. степ. д-ра техн. наук : 05.22.11. Москва, 1971. 64 с.

26. Pereira A. T. Procedures for Development of CBR Design Curves. U.S. Army Corps of Engineering, Waterways Experiment Station : Instruction Report. Vicksburg, 1977. 89 p.

27. Special Report 18: The WASHO Road Test, Part 1: Design, Construction, and Testing Procedures, 1954, and Special Report 22: The WASHO Road Test, Part 2: Test Data, Analyses, Finding, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1955.

28. Special Report G-61: The AASHO Road Test, Report 7, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1962.

29. Dormon G. M. The Extensions To Practice of a Fundamental Procedure for the Design of Flexible Pavement. *Proceedings, International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan*. Michigan, 1963. P. 785–793.

30. Finn F., Saraf S., Kulkarni R., Nair K., Smith W., Abdullah A. The Use of Distress Prediction Subsystem in the Design of Pavement Structures. *Proceedings, Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan*. Michigan, 1977, Vol. 1, P. 3–38.

31. Burmister D. M. The General Theory of Stresses and Displacement in Layered Systems. *Journal of Applied Physics*. 1945. Vol. 15. P. 89-94, 126-127.

32. Super pave Mix Design. Asphalt Institute Super vespers №2 (33-2), Printing. 1996.

33. Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen. RSTO 200. FORSCHUNG Gesellschaft für Strassen – und VERKEHR wesen. Ausgabe 2000. BAST.

34. ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. [Чинний від 2019-06-01]. Київ : Міністерство інфраструктури України, 2019. 63 с.

35. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. [Введен в действие 2000-12-20]. Москва : Государственная служба дорожного хозяйства министерства транспорта Российской федерации, 2001. 94 с.

36. ТКП 45-3.03-3-2004 (02250). Проектирование дорожных одежд улиц и дорог населенных пунктов. [Введен в действие 2004-12-08]. Минск : Минстройархитектуры, 2005. 54 с.

37. Герцог В. Н., Долгих Г. В., Кузин В. Н. Расчет дорожных одежд по критериям ровности. Часть 1. Обоснование норм ровности покрытий. *Инженерно-строительный журнал*. 2015. №5 (57). С. 45–57.

38. М 218-02071168-681:2011. Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість. [Чинний від 2012–01–01]. Київ : Укравтодор, 2012. 61 с.

39. МВ 218-02070915-679:2010. Методичні вказівки з розрахунку асфальтобетонного покриття на температурну тріщиностійкість. [Чинний від 2010–01–01]. Київ : Укравтодор, 2010. 28 с.

40. Гамеляк І. П. Оцінка руйнування доріг від руху транспортних засобів з врахуванням нерівностей покриття. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ : НТУ. 2004. № 70. С. 70–82.

41. Гамеляк І. П., Якименко Я. М., Коц І. В. Моделювання взаємодії транспортних засобів з нерівностями поверхні дорожнього покриття. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва*. 2007. № 600. С. 46–52.

42. СОУ 45.2-00018112-046:2009. Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві. [Чинний від 2010–03–01]. Київ : Укравтодор, 2009. 16 с.

43. ДБН В.2.3-4-2015. Автомобільні дороги. Споруди транспорту. [Чинний від 2016–01–04]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2015. 101 с. (Національний стандарт України).

44. Альбом типових конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу під розрахункові навантаження А1, А2, Б. [Чинний від 2014-08-20]. Київ : Укравтодор, 2014. 76 с.

45. The AASHO Road. Test Report 5. Pavement Research. Special Report 6IE, Highway Research Board, National Academy of Science. NRC. 1962. Publication №. 954, 351 p.

46. Monismith C. L. Pavement design: the fatigue subsystem. Highway Research Board Special Report, 1973, № 140, P. 1–19.

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

48. ОДМ 218.11.001-2015. Методические рекомендации по учету увеличения динамического воздействия нагрузки по мере накопления неровностей и определению коэффициента динамичности в зависимости от показателя ровности. Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2013. 40 с.

49. П-Г.1-218-113:2009. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. [Чинний від 2009-07-01]. Київ : Укравтодор, 2009. 232 с.

50. ОДМ 218.2.096-2018. Методические рекомендации по учету влияния параметров транспортного потока на темпы развития повреждений покрытий дорожных одежд (на основе мониторинга федеральной автомобильной дороги М-6 «Каспий»). [Введен в действие 2018-07-25]. Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2017. 29 с.

51. Dorozhko E.V., Ryapuhin, V.M. Calculating the most risky cross sections in asphaltic layers. *Transbaltica 2011: Proceedings of the 7th International Scientific Conference*. Vilnius, Lithuania, 2011. С. 257–260.

52. Дорожко Є. В., Ряпухін В. М. Вплив жорсткості суміжних шарів дорожньої конструкції на еквівалентні напруження у асфальтобетонних шарах. *Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник*. 2011. №2 (40). С. 253–257.

53. Ryapuhin V., Nechytyaylo N., Burlachka V. Criteria for flexible pavement calculation. *Transbaltica 2011: Proceedings of the 7th International Scientific Conference*. Vilnius, Lithuania, 2011. С. 252–256.

54. Мерзликин А. Е., Капустников Н. В. Погрешности, возникающие при расчёте дорожных одежд с помощью метода конечных элементов. *Строительные материалы*, 2010. № 10, 26–29.

55. Лахно Р. П., Егоров Б. С., Радовский С. В. и др. О рациональном соотношении нагрузок сдвоенных осей автотранспортных средств. *Автомобильная промышленность*, 1976, №2, С. 24–26.

56. Железко Е. П. Оценка и повышение трещиностойкости дорожных асфальтобетонов. *Проблемы транспортного строительства и транспорта. Мат. междунар. науч.-техн. конф. Саратов*, 1997. Вып. 2. С. 34–36

57. Салль А. О. Измерение деформаций асфальтобетонного покрытия под колесами автомобиля. В кн.: Расчет и конструирование дорожной одежды. Москва : Союздорнии, 1971, С. 99–115.

58. Радовский Б. С., Сливинский В. И., Мозговой В. В., Супрун А. С., Сом М. И., Швец В. В. О нормировании осевых нагрузок автомобильного подвижного состава. *Промышленный транспорт*, 1980, № 10, С. 22–25.

59. Радовский Б. С., Супрун А. С. Конструирование дорожных одежд для многоосных транспортных средств большой грузоподъемности. *Обзорная информация ЦБНТИ Минавтодора РСФСР*. Москва, 1985. № 3, 60 с.

60. МВ 218-21476215-672:2010. Прогнозування утворення руйнувань та деформацій дорожніх конструкцій. [Чинний від 2010–01–01]. Київ : Укравтодор, 2010. 27 с.

61. Р В.3.2-218-21476215-478:2005. Рекомендації щодо запобігання колієутворення на дорожніх покриттях. [Чинний від 2006–01–01]. Київ : Укравтодор, 2006. 24 с.

62. Смирнов А. В., Александров А. С. Механика дорожных конструкций : учебное пособие. Омск : Изд-во СибАДИ, 2009. 212 с.

63. Смирнов А. В., Иллиополов С. К., Александров А. С. Динамическая устойчивость и расчет дорожных конструкций : учебное пособие. Омск : Изд-во СибАДИ, 2003. 188 с.

64. Александров А. С. Учет упруговязкопластических свойств связных грунтов при проектировании дорожных одежд: автореф. дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук. Омск : СибАДИ, 2001. 24 с.

65. Александров А. С., Сиротюк В. В. Обоснование величины допустимой необратимой деформации покрытий. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2002. №1. С. 7–8.

66. Александров А. С. Применение теории наследственной ползучести к расчету деформаций при воздействии повторных нагрузок : монография. Омск : СибАДИ, 2014. 150 с.

67. Кочетков А. В., Беляев Д. С., Шашков И. Г. Прямой метод оценки взаимодействия колеса транспортного средства и неровностей дорожного покрытия. *Интернет-журнал: «Науковедение»*. 2013. № 4 (17). С. 38–55.

68. Буртыль Ю. В., Леонович И. И. Взаимозависимости ровности покрытия и прочности дорожной одежды. *Труды БГТУ*. Минск : БГТУ. 2011. №2 (140). С. 86–92.

69. Леонович И. И., Буртыль Ю. В., Новгородский Я. Я. Транспортно-эксплуатационное состояние сети республиканских автомобильных дорог и основные направления повышения их качества. *Вестник БНТУ*. 2008. № 6. С. 57–63.

70. Семенова Т. В., Гордеева С. А., Герцог В. Н. Определение пластических деформаций материалов, используемых в дорожных конструкциях. *Вестник ТГАСУ*. 2012. №4. С. 249–257.

71. Семенова Т. В., Герцог В. Н. Пластическое деформирование материалов с дискретной структурой в условиях трехосного сжатия при воздействии циклических нагрузок. *Вестник СибАДИ*. 2013. №1. С. 68–73.

72. Говорущенко Н. Я. Исследование влияния высоты, формы неровностей и скорости движения автомобилей на относительные перемещения кузова и колес. *Автомобильный транспорт*. 1965. Вып. 1. С. 105–114.

73. Горячев М. Г. Обоснование суммарного размера движения для расчета нежестких дорожных одежд с учетом процесса накопления остаточных деформаций : дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук: 05.23.11. Москва: МАДИ (ТУ), 1999. 250 с.

74. Демишкан В. Ф. Совершенствование управления состоянием автомобильных дорог в условиях ограниченных ресурсов : дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.22.11 / Демишкан Владимир Федорович. Харьков: Харьковский государственный автомобильно-дорожный технический университет, 2000. 17 с.

75. Эдельман А. В. Оценка влияния неупругих свойств грунта земляного полотна на работоспособность дорожных одежд нежесткого типа : автореф. дисс...канд. техн. наук : 05.23.11. Москва : МАДИ (ТУ), 1993. 20 с.

76. Углова Е. В., Илиополов С. К., Селезнев М. Г. Усталостная долговечность эксплуатируемых асфальтобетонных покрытий : монография. Ростов-на-Дону : РГСУ, 2009. 244 с.

77. Жустарева Е. В. Влияние плотности связного грунта в рабочем слое земляного полотна на остаточные деформации нежестких дорожных одежд: автореф. дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.22.11. Москва : МАДИ (ТУ), 2000. 20 с.

78. Казарновский В. Д., Лейтланд И. В., Попов М. Л. К вопросу о методике расчета усиления дорожных одежд. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2004. № 1. С. 33–34.

79. Каныгина С. Ю. Прогнозирование остаточных деформаций дорожных одежд нежесткого типа на земляном полотне из глинистых грунтов : автореф. дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.11. Москва : Изд-во МАДИ (ТУ), 1999. 20 с.

80. Кизима С. С. Исследование изменение ровности нежестких дорожных одежд в условиях УССР как показателя их качества : дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.22.11 «Автомобильные дороги» / Кизима Станислав Степанович. Киев : Киевский национальный автомобильно-дорожный университет, 1975. 249 с.

81. Кизима С. С., Роман С. В. Дослідження процесу деградації стану міських вулиць та доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2009. Вип. 76. С. 84–90.

82. Коганзон М. С., Яковлев Ю. М. Оценка и обеспечение прочности дорожных одежд нежесткого типа : учебное пособие. Москва, 1990. 53 с.

83. Кузин Н. В. Учет упруговязкопластических свойств асфальтобетонных покрытий и оснований при проектировании дорожных одежд: дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.11. Омск : СибАДИ, 2008. 176 с.

84. Леонович И. И., Богданович С. В., Нестерович И. В. Диагностика автомобильных дорог. Минск : «Новое знание», 2011. с. 226.

85. Мавлетдинов З. А. Обоснование основных показателей, учитывающих влияние остаточных деформаций при расчёте дорожных одежд нежесткого типа : автореф. дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.22.11. Москва : МАДИ (ТУ), 1997. 17 с.

86. Матуа В. П. Исследование напряженно-деформированного состояния дорожных конструкций с учетом их неупругих свойств и пространственного нагружения : автореф. дисс. ... на соискание научн. степени доктора техн. наук : 05.23.11. Ростов-на-Дону : РГСУ, 2002. 40 с.

87. Пилипенко А. С. Сдвигоустойчивость глинистых грунтов в основании дорожных одежд под действием кратковременных многократных нагрузок: автореф. дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.11. Москва : СоюздорНИИ, 1990. 20 с.

88. Смирнов А.В. Теоретические и экспериментальные исследования работоспособности нежестких дорожных одежд : дисс. ... на соискание научн.

степени докт. техн. наук : 05.23.11. Москва : Моск. автомил.-дорож. ин-т., 1989. 376 с.

89. Углова Е. В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : дисс. ... на соискание научн. степени доктора техн. наук . Ростов-на-Дону, 2009. 372 с.

90. Фадеев В. Б. Влияние остаточных деформаций грунта земляного полотна на колееобразование на проезжей части дорог с нежесткими дорожными одеждами: автореф. дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.22.11. Москва : МАДИ (ТУ), 1999. 21 с.

91. Чирва Д. В. Влияние упруго-вязко-пластичных свойств асфальтобетона на накопление остаточных деформаций при пространственном динамическом нагружении дорожных конструкций : дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.11. Волгоград : ВолгГАСУ, 2010. 240 с.

92. Васильев А. П., Яковлев Ю. М., Коганзон М. С. Принципы прогнозирования транспортно-эксплуатационного состояния дорог. *Автомобильные дороги*, 1993. № 1. С. 8–10.

93. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. Москва : Транспорт. Минавтодор РСФСР, 1985. 157 с. (Ведомственные строительные нормы).

94. Paterson W. D. O., Atton-Okine B. Summary Models of Paved Road Deterioration Based on HDM-III : Transportation Research Record 1344. Washington : TRB, National Research Council, Washington, DC., 1992. P. 99–105.

95. Бусел А. В. Ремонт автомобильных дорог : учебное пособие. Минск : Арт. Дизайн, 2004. 208 с.

96. Демишкан В. Ф., Прусенко Е. Д., Филиппов В. В. Системный подход к определению ресурсов на ремонт и содержание автомобильных дорог. *Актуальные проблемы дорожно-транспортного комплекса России : Всероссийская научно-техническая конференция : материалы конференции*. Краснодар : Изд-во ТУ Куб ГТУ, 1999. С. 37–38.

97. Демишкан В. Ф., Прусенко Е. Д. Оценка экономической эффективности оптимального распределения финансовых ресурсов на эксплуатацию сети автомобильных дорог. *Проблеми теорії і практики становлення соціально орієнтованої ринкової економіки: міжнародна наукова конференція ХГАДТУ : матеріали конференції*. Харків : Изд-во ХГАДТУ, 1999. С. 73-74.

98. Золотарь И. А. К определению остаточных деформаций в дорожных конструкциях при многократных динамических воздействиях на них подвижных транспортных средств : монография. Санкт-Петербург : Изд-во ВАТТ, 1999. 31 с.

99. Кизима С. С., Андреев С. І. Оптимізація планування робіт по ремонту не жорстких дорожніх одягів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 1987. Вип. 46. С. 29–35.

100. Бируля А. К. Влияние степени ровности дорожного покрытия на сопротивление движению. *Исследования по механике дорожных одежд : Труды ХАДИ*. 1949. Вып. 8. С. 74–85.

101. Апестин В. К., Шак А. М., Яковлев Ю. М. Расчет снижения модулей упругости нежестких дорожных одежд в процессе эксплуатации автомобильных дорог. *Труды ГипродорНИИ*. 1974. Вып. 8. С. 120–135.

102. Кизима С. С. Исследование изменения ровности нежестких дорожных одежд в условиях УССР как показателя их качества: дис. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.11 / Кизима Станислав Степанович. Киев, 1975. 245 с.

103. Елгонов А. Н. Обоснование мероприятий по ремонту нежесткой дорожной одежды на основе оценки ее прочности и ровности: дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.11. Москва, 1991. 177 с.

104. Слободчиков Ю. В. Обоснование оценочных показателей выбора ремонтной стратегии автомобильных дорог с нежесткими дорожными одеждами в изменяющихся условиях эксплуатации : дис. ... на соискание научн. степени доктора техн. наук : 05.23.11. Москва, 1995. 333 с.

105. Жабин В. И., Мельницкий М. А., Герасимов О. В. Эмпирическая оценка прочностных характеристик нефтегравийных покрытий автодорог. *Лесной журнал*. 2013. №3. С. 79–85.

106. Бекбулатов Ш. Х., Красиков О. А. и др. Планирование дорожно-ремонтных работ на основе прогнозирования транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог : методические указания. Алма-Ата, Респ. Казахстан : Минстрой, 1993. 36 с.

107. Красиков О. А. Новые математические модели прогнозирования ровности дорожных покрытий. *Дороги и мосты*. Москва : Российский дорожный научно-исследовательский институт. 2016. Вып. 35 (1). С. 138–160.

108. Прогнозирование изменения транспортно-эксплуатационных показателей. ООО «Автотор Инжиниринг» : веб-сайт. URL: http://avtodor-eng.ru/cntnt/deyatelnost/diagnostika-avto/prognoz_TEP.html (дата звернения: 10.06.2019).

109. Скоробогатченко Д. А., Забазнов А. С. Прогнозирование ровности покрытия автомобильных дорог с учетом погодно-климатического воздействия и уровня работ по содержанию. *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*. 2018. Т. 9, № 2. С. 98–109.

110. Александров А. С. Критерии расчета дорожных конструкций по ровности, допускаемые и предельные неровности. *Вестник гражданских инженеров*. 2008. №4. С. 97–104.

111. Александров А. С. Пластическое деформирование гранодиоритового щебня и песчано-гравийной смеси при воздействии трехосной циклической нагрузки. *Инженерно-строительный журнал*. 2013. №4. С. 22–34.

112. Рзаев А. Р. Исследование движения автомобильного колеса по коротким неровностям дороги : автореф. дис. ... на соискание научн. степени канд. техн. Наук : 05.00.00 / Рзаев Аббас Риза оглы. Москва : Моск. автомобил.-дорож. ин-т, 1968. 196 с.

113. Bomhard F. I. Verfahren zur Messung der dynamischen Beim Kraftwagen. Munhen, 1959. P. 168.

114. Малофеев А.Г. Исследование динамического воздействия автомобиля на нежесткие дорожные одежды в процессе эксплуатации дорог : автореф. дис. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 12.08.78. Омск : Сиб. автодор. ин-т, 1978. 22 с.

115. Смирнов А.В. Прикладная механика дорожных и аэродромных конструкций : учеб. пособие. Омск : Изд. ОмГТУ, 1993. 128 с.

116. Рабинович И. М. Действие пехоты, кавалерии и артиллерии на мосту / Действие нагрузки на мосты под обыкновенную дорогу. *Институт инженерных исследований*. Выпуск № 1/91. Москва : СССР-ТРАНСПЕЧАТЬ-НКПС. № 23. 1929. С. 8–34.

117. Бируля А. К. Эксплуатация автомобильных дорог : учебное пособие. Москва : Транспорт, 1966. 324 с.

118. Шухман С. Б., Соловьев В. И., Малкин М. А. Расчетное исследование профильной проходимости полноприводного автомобиля. *Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ»*. Москва, 2009. С. 343–350.

119. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд. [Введен в действие 2003-12-03]. Москва : ФГУП "ИНФОРМАВТОДОР", 2004. 133 с.

120. Смирнов А. В. Колебания и волны в дорожных конструкциях : учебное пособие. Омск: СибАДИ, 2006. 107 с.

121. Радовский Б. С. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния покрытий автомобильных дорог как слоистого вязкоупругого основания при подвижной нагрузке. *Прикладная механика*. 1980. Т. 16, №4. С. 131–135.

122. Радовский Б. С., Супрун А. С., Козаков И. И. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей : учебное пособие. Киев : Будивельник, 1989. 168 с.

123. Иллиополов С. К., Селезнев М. Г. Уточненный расчет напряженно-деформированного состояния системы «дорожная одежда – грунт» : монография. Ростов-на-Дону : РГСУ, 1997. 142 с.

124. Аминов Ю. А. Дифференциальная геометрия и топология кривых : учебное пособие. Москва : Наука. 1987. 160 с.

125. Кухлинг Х. Справочник по физике : Пер. с нем. 2-е изд. Москва : Мир, 1985. 520 с.

126. Андреева Е. В., Смирнов А. В. Современные методы проектирования дорожных конструкций автомагистралей на воздействие транспортных потоков: монография. Омск : СибАДИ, 2014. 136 с.

127. Варданян Г. С., Андреев В. И., Атаров Н. М., Горшков А. А. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности : учебник для вузов. Москва : ИНФРА-М, 2011. 511 с.

128. Su K., Sun L. J., Hachiya Y. Rut Prediction for Semi-rigid Asphalt Pavements. *First International Symposium on Transportation and Development Innovative Best Practices*. Beijing, 2008. P. 486–491.

129. Пахомов А. А., Юмашев В. М., Кудрявцев С. А. О соотношении ровности покрытий автомобильных дорог по IRI и толчкомеру. *Наука и техника в дорожной отрасли*, 2009. № 4. С. 31–33.

130. Каленова Е. В. Совершенствование методики расчета при проектировании нежестких дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями: дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.11 / Каленова Екатерина Валерьевна. Москва : МАДИ, 2009. 281 с.

131. Красиков О. А. О требованиях к ровности дорожных оснований и покрытий в период строительства. *Дороги и мосты*. Москва, 2017. Вып. 2 (38). С. 96-111.

132. Любченко А. С. Оценка и прогнозирование надежности дорожных одежд нежесткого типа (на основе краткосрочных наблюдений): дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.11 / Любченко Анна

Степановна. Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. 146 с.

133. Краюшкина К. Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог : дисс. ... на соискание научн. степени докт. техн. наук: 03Т / Краюшкина Катерина. Вильнюс : Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, 2013. 220 с.

134. 133. Кусков В. Н. Прогноз сроков службы дорожных одежд на основе стендовых испытаний : дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.11. Москва : Моск. автомил.-дорож. ин-т., 1986. 179 с.

135. Буртыль Ю. В. Обоснование проведения ремонтов автомобильных дорог на основании динамики изменения их эксплуатационного состояния: дисс. ... на соискание научн. степени канд. техн. наук: 05.23.11 / Буртыль Юрий Валерьевич. Минск : Белорусский национальный технический университет, 2013. 138 с.

136. Звіт про науково-дослідну роботу «Провести дослідження та розробити методичні рекомендації з проектування нежорсткого дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи A_1 ». Етап 6. Встановлення розрахункових параметрів динамічного навантаження за результатами польових і лабораторних досліджень динаміки взаємодії колеса з покриттям дорожнього одягу при різних параметрах навантаження. Обґрунтування умов і вимог до застосування розрахункового навантаження групи A_1 (130 кН) за результатами чисельного моделювання та польових випробувань різних конструкцій дорожнього одягу». Київ : Державне агентство автомобільних доріг України, .2019. 50 с.

137. СОУ 45.2-00018112-078:2012. Автомобільні дороги. Оцінка рівності дорожніх покриттів за Міжнародним Індексом Рівності (IRI). [Чинний від 2012-02-20]. Київ : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2012. 28 с.

138. Соколов С. Л. Расчетно-экспериментальные методы исследования напряженно-деформированного состояния и циклической долговечности пневматических шин : дисс. ... на соискание научн. степени докт. техн. наук : 01.02.06. Москва : Учреждение Российской академии наук Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, 2011. 264 с.

139. АД А.2.4-37641918-004:2016. Альбом типових конструкцій нежорсткого дорожнього одягу для доріг I – II категорій на навантаження 130 кН. [Чинний від 2016-07-01]. Київ : Укравтодор, 2016. 78 с.

140. ДСТУ 3587–97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. [Чинний від 1998-01-01]. Київ : Держстандарт України, 1997. 24 с.

141. МР В.2.3-37641918-905:2019. Методичні рекомендації з проектування нежорсткого дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи А₁. [Чинний від 2019-12-18]. Київ : Укравтодор, 2019. 23 с.

ДОДАТОК А
РОЗРАХУНОК ПЕРСПЕКТИВНОГО ПОКАЗНИКА РІВНОСТІ ІRІ

Таблиця А.1 – Розрахунок перспективного показника рівності IRI за існуючими рішеннями

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспортів T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км			
											Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1,70	800	288	11	1,00	200	200	1,04	1,42	40	2,00	2,60	3,29	2,07
2	1,70	1600	576	11	1,00	200	200	1,04	2,84	40	2,10	2,60	3,29	2,38
3	1,70	800	288	5	1,00	200	200	1,04	0,57	40	1,94	2,04	2,44	1,87
4	1,70	1600	576	5	1,00	200	200	1,04	1,14	40	1,98	2,04	2,44	2,01
5	1,70	800	288	11	0,75	267	200	1,04	1,42	40	2,00	2,74	3,32	2,07
6	1,70	1600	576	11	0,75	267	200	1,04	2,84	40	2,10	2,74	3,32	2,38
7	1,70	800	288	5	0,75	267	200	1,04	0,57	40	1,94	2,14	2,46	1,87
8	1,70	1600	576	5	0,75	267	200	1,04	1,14	40	1,98	2,14	2,46	2,01
9	1,70	800	288	11	1,00	400	400	1,04	1,42	40	1,62	2,60	3,29	2,07
10	1,70	1600	576	11	1,00	400	400	1,04	2,84	40	1,55	2,60	3,29	2,38
11	1,70	800	288	5	1,00	400	400	1,04	0,57	40	1,66	2,04	2,44	1,87
12	1,70	1600	576	5	1,00	400	400	1,04	1,14	40	1,63	2,04	2,44	2,01
13	1,70	800	288	11	0,75	533	400	1,04	1,42	40	1,62	2,74	3,32	2,07
14	1,70	1600	576	11	0,75	533	400	1,04	2,84	40	1,55	2,74	3,32	2,38
15	1,70	800	288	5	0,75	533	400	1,04	0,57	40	1,66	2,14	2,46	1,87
16	1,70	1600	576	5	0,75	533	400	1,04	1,14	40	1,63	2,14	2,46	2,01
17	1,70	800	144	11	1,00	200	200	1,04	0,71	20	2,00	2,60	3,29	2,07

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
18	1,70	1600	288	11	1,00	200	200	1,04	1,42	20	2,10	2,60	3,29	2,38
19	1,70	800	144	5	1,00	200	200	1,04	0,28	20	1,94	2,04	2,44	1,87
20	1,70	1600	288	5	1,00	200	200	1,04	0,57	20	1,98	2,04	2,44	2,01
21	1,70	800	144	11	0,75	267	200	1,04	0,71	20	2,00	2,74	3,32	2,07
22	1,70	1600	288	11	0,75	267	200	1,04	1,42	20	2,10	2,74	3,32	2,38
23	1,70	800	144	5	0,75	267	200	1,04	0,28	20	1,94	2,14	2,46	1,87
24	1,70	1600	288	5	0,75	267	200	1,04	0,57	20	1,98	2,14	2,46	2,01
25	1,70	800	144	11	1,00	400	400	1,04	0,71	20	1,62	2,60	3,29	2,07
26	1,70	1600	288	11	1,00	400	400	1,04	1,42	20	1,55	2,60	3,29	2,38
27	1,70	800	144	5	1,00	400	400	1,04	0,28	20	1,66	2,04	2,44	1,87
28	1,70	1600	288	5	1,00	400	400	1,04	0,57	20	1,63	2,04	2,44	2,01
29	1,70	800	144	11	0,75	533	400	1,04	0,71	20	1,62	2,74	3,32	2,07
30	1,70	1600	288	11	0,75	533	400	1,04	1,42	20	1,55	2,74	3,32	2,38
31	1,70	800	144	5	0,75	533	400	1,04	0,28	20	1,66	2,14	2,46	1,87
32	1,70	1600	288	5	0,75	533	400	1,04	0,57	20	1,63	2,14	2,46	2,01
33	1,70	800	288	11	1,00	200	200	1,04	1,42	40	2,00	2,60	3,29	2,07
34	1,70	1600	576	11	1,00	200	200	1,04	2,84	40	2,10	2,60	3,29	2,38
35	1,70	800	288	5	1,00	200	200	1,04	0,57	40	1,94	2,04	2,44	1,87
36	1,70	1600	576	5	1,00	200	200	1,04	1,14	40	1,98	2,04	2,44	2,01
37	1,70	800	288	11	0,75	267	200	1,04	1,42	40	2,00	2,74	3,32	2,07
38	1,70	1600	576	11	0,75	267	200	1,04	2,84	40	2,10	2,74	3,32	2,38
39	1,70	800	288	5	0,75	267	200	1,04	0,57	40	1,94	2,14	2,46	1,87
40	1,70	1600	576	5	0,75	267	200	1,04	1,14	40	1,98	2,14	2,46	2,01
41	1,70	800	288	11	1,00	400	400	1,04	1,42	40	1,62	2,60	3,29	2,07
42	1,70	1600	576	11	1,00	400	400	1,04	2,84	40	1,55	2,60	3,29	2,38
43	1,70	800	288	5	1,00	400	400	1,04	0,57	40	1,66	2,04	2,44	1,87

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
44	1,70	1600	576	5	1,00	400	400	1,04	1,14	40	1,63	2,04	2,44	2,01
45	1,70	800	288	11	0,75	533	400	1,04	1,42	40	1,62	2,74	3,32	2,07
46	1,70	1600	576	11	0,75	533	400	1,04	2,84	40	1,55	2,74	3,32	2,38
47	1,70	800	288	5	0,75	533	400	1,04	0,57	40	1,66	2,14	2,46	1,87
48	1,70	1600	576	5	0,75	533	400	1,04	1,14	40	1,63	2,14	2,46	2,01
49	1,70	800	144	11	1,00	200	200	1,04	0,71	20	2,00	2,60	3,29	2,07
50	1,70	1600	288	11	1,00	200	200	1,04	1,42	20	2,10	2,60	3,29	2,38
51	1,70	800	144	5	1,00	200	200	1,04	0,28	20	1,94	2,04	2,44	1,87
52	1,70	1600	288	5	1,00	200	200	1,04	0,57	20	1,98	2,04	2,44	2,01
53	1,70	800	144	11	0,75	267	200	1,04	0,71	20	2,00	2,74	3,32	2,07
54	1,70	1600	288	11	0,75	267	200	1,04	1,42	20	2,10	2,74	3,32	2,38
55	1,70	800	144	5	0,75	267	200	1,04	0,28	20	1,94	2,14	2,46	1,87
56	1,70	1600	288	5	0,75	267	200	1,04	0,57	20	1,98	2,14	2,46	2,01
57	1,70	800	144	11	1,00	400	400	1,04	0,71	20	1,62	2,60	3,29	2,07
58	1,70	1600	288	11	1,00	400	400	1,04	1,42	20	1,55	2,60	3,29	2,38
59	1,70	800	144	5	1,00	400	400	1,04	0,28	20	1,66	2,04	2,44	1,87
60	1,70	1600	288	5	1,00	400	400	1,04	0,57	20	1,63	2,04	2,44	2,01
61	1,70	800	144	11	0,75	533	400	1,04	0,71	20	1,62	2,74	3,32	2,07
62	1,70	1600	288	11	0,75	533	400	1,04	1,42	20	1,55	2,74	3,32	2,38
63	1,70	800	144	5	0,75	533	400	1,04	0,28	20	1,66	2,14	2,46	1,87
64	1,70	1600	288	5	0,75	533	400	1,04	0,57	20	1,63	2,14	2,46	2,01
65	5,00	800	288	11	1,00	200	200	1,04	1,42	40	5,88	9,31	9,69	5,37
66	5,00	1600	576	11	1,00	200	200	1,04	2,84	40	6,18	9,31	9,69	5,68
67	5,00	800	288	5	1,00	200	200	1,04	0,57	40	5,71	6,62	6,63	5,17
68	5,00	1600	576	5	1,00	200	200	1,04	1,14	40	5,83	6,62	6,63	5,31
69	5,00	800	288	11	0,75	267	200	1,04	1,42	40	5,88	9,98	9,80	5,37

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
70	5,00	1600	576	11	0,75	267	200	1,04	2,84	40	6,18	9,98	9,80	5,68
71	5,00	800	288	5	0,75	267	200	1,04	0,57	40	5,71	7,08	6,70	5,17
72	5,00	1600	576	5	0,75	267	200	1,04	1,14	40	5,83	7,08	6,70	5,31
73	5,00	800	288	11	1,00	400	400	1,04	1,42	40	4,75	9,31	9,69	5,37
74	5,00	1600	576	11	1,00	400	400	1,04	2,84	40	4,56	9,31	9,69	5,68
75	5,00	800	288	5	1,00	400	400	1,04	0,57	40	4,87	6,62	6,63	5,17
76	5,00	1600	576	5	1,00	400	400	1,04	1,14	40	4,79	6,62	6,63	5,31
77	5,00	800	288	11	0,75	533	400	1,04	1,42	40	4,75	9,98	9,80	5,37
78	5,00	1600	576	11	0,75	533	400	1,04	2,84	40	4,56	9,98	9,80	5,68
79	5,00	800	288	5	0,75	533	400	1,04	0,57	40	4,87	7,08	6,70	5,17
80	5,00	1600	576	5	0,75	533	400	1,04	1,14	40	4,79	7,08	6,70	5,31
81	5,00	800	144	11	1,00	200	200	1,04	0,71	20	5,88	9,31	9,69	5,37
82	5,00	1600	288	11	1,00	200	200	1,04	1,42	20	6,18	9,31	9,69	5,68
83	5,00	800	144	5	1,00	200	200	1,04	0,28	20	5,71	6,62	6,63	5,17
84	5,00	1600	288	5	1,00	200	200	1,04	0,57	20	5,83	6,62	6,63	5,31
85	5,00	800	144	11	0,75	267	200	1,04	0,71	20	5,88	9,98	9,80	5,37
86	5,00	1600	288	11	0,75	267	200	1,04	1,42	20	6,18	9,98	9,80	5,68
87	5,00	800	144	5	0,75	267	200	1,04	0,28	20	5,71	7,08	6,70	5,17
88	5,00	1600	288	5	0,75	267	200	1,04	0,57	20	5,83	7,08	6,70	5,31
89	5,00	800	144	11	1,00	400	400	1,04	0,71	20	4,75	9,31	9,69	5,37
90	5,00	1600	288	11	1,00	400	400	1,04	1,42	20	4,56	9,31	9,69	5,68
91	5,00	800	144	5	1,00	400	400	1,04	0,28	20	4,87	6,62	6,63	5,17
92	5,00	1600	288	5	1,00	400	400	1,04	0,57	20	4,79	6,62	6,63	5,31
93	5,00	800	144	11	0,75	533	400	1,04	0,71	20	4,75	9,98	9,80	5,37
94	5,00	1600	288	11	0,75	533	400	1,04	1,42	20	4,56	9,98	9,80	5,68
95	5,00	800	144	5	0,75	533	400	1,04	0,28	20	4,87	7,08	6,70	5,17

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
96	5,00	1600	288	5	0,75	533	400	1,04	0,57	20	4,79	7,08	6,70	5,31
97	5,00	800	288	11	1,00	200	200	1,04	1,42	40	5,88	9,31	9,69	5,37
98	5,00	1600	576	11	1,00	200	200	1,04	2,84	40	6,18	9,31	9,69	5,68
99	5,00	800	288	5	1,00	200	200	1,04	0,57	40	5,71	6,62	6,63	5,17
100	5,00	1600	576	5	1,00	200	200	1,04	1,14	40	5,83	6,62	6,63	5,31
101	5,00	800	288	11	0,75	267	200	1,04	1,42	40	5,88	9,98	9,80	5,37
102	5,00	1600	576	11	0,75	267	200	1,04	2,84	40	6,18	9,98	9,80	5,68
103	5,00	800	288	5	0,75	267	200	1,04	0,57	40	5,71	7,08	6,70	5,17
104	5,00	1600	576	5	0,75	267	200	1,04	1,14	40	5,83	7,08	6,70	5,31
105	5,00	800	288	11	1,00	400	400	1,04	1,42	40	4,75	9,31	9,69	5,37
106	5,00	1600	576	11	1,00	400	400	1,04	2,84	40	4,56	9,31	9,69	5,68
107	5,00	800	288	5	1,00	400	400	1,04	0,57	40	4,87	6,62	6,63	5,17
108	5,00	1600	576	5	1,00	400	400	1,04	1,14	40	4,79	6,62	6,63	5,31
109	5,00	800	288	11	0,75	533	400	1,04	1,42	40	4,75	9,98	9,80	5,37
110	5,00	1600	576	11	0,75	533	400	1,04	2,84	40	4,56	9,98	9,80	5,68
111	5,00	800	288	5	0,75	533	400	1,04	0,57	40	4,87	7,08	6,70	5,17
112	5,00	1600	576	5	0,75	533	400	1,04	1,14	40	4,79	7,08	6,70	5,31
113	5,00	800	144	11	1,00	200	200	1,04	0,71	20	5,88	9,31	9,69	5,37
114	5,00	1600	288	11	1,00	200	200	1,04	1,42	20	6,18	9,31	9,69	5,68
115	5,00	800	144	5	1,00	200	200	1,04	0,28	20	5,71	6,62	6,63	5,17
116	5,00	1600	288	5	1,00	200	200	1,04	0,57	20	5,83	6,62	6,63	5,31
117	5,00	800	144	11	0,75	267	200	1,04	0,71	20	5,88	9,98	9,80	5,37
118	5,00	1600	288	11	0,75	267	200	1,04	1,42	20	6,18	9,98	9,80	5,68
119	5,00	800	144	5	0,75	267	200	1,04	0,28	20	5,71	7,08	6,70	5,17
120	5,00	1600	288	5	0,75	267	200	1,04	0,57	20	5,83	7,08	6,70	5,31
121	5,00	800	144	11	1,00	400	400	1,04	0,71	20	4,75	9,31	9,69	5,37

Кінець таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
122	5,00	1600	288	11	1,00	400	400	1,04	1,42	20	4,56	9,31	9,69	5,68
123	5,00	800	144	5	1,00	400	400	1,04	0,28	20	4,87	6,62	6,63	5,17
124	5,00	1600	288	5	1,00	400	400	1,04	0,57	20	4,79	6,62	6,63	5,31
125	5,00	800	144	11	0,75	533	400	1,04	0,71	20	4,75	9,98	9,80	5,37
126	5,00	1600	288	11	0,75	533	400	1,04	1,42	20	4,56	9,98	9,80	5,68
127	5,00	800	144	5	0,75	533	400	1,04	0,28	20	4,87	7,08	6,70	5,17
128	5,00	1600	288	5	0,75	533	400	1,04	0,57	20	4,79	7,08	6,70	5,31

Таблиця А.2 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані відповідають ділянці № 1 згідно з [131])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{ср.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними А. С. Любченко (ділянка №1), м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Запропоноване рішення	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	0	0,85	259	220	1,1	0,00	20	3,28	3,16	3,27	3,04	2,96	3,04

Кінець таблиці А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
2	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	1	0,85	259	220	1,1	0,30	20	3,35	3,32	3,44	3,23	3,11	2,94
3	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	2	0,85	259	220	1,1	0,62	20	3,43	3,48	3,64	3,41	3,31	3,22
4	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	3	0,85	259	220	1,1	0,98	20	3,51	3,65	3,84	3,59	3,56	3,62
5	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	4	0,85	259	220	1,1	1,38	20	3,61	3,84	4,06	3,77	3,85	3,88
6	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	5	0,85	259	220	1,1	1,81	20	3,71	4,04	4,30	3,97	4,20	4,20
7	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	6	0,85	259	220	1,1	2,29	20	3,82	4,25	4,55	4,18	4,60	4,35
8	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	7	0,85	259	220	1,1	2,81	20	3,94	4,47	4,83	4,41	5,06	5,00
9	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	8	0,85	259	220	1,1	3,39	20	4,08	4,71	5,12	4,65	5,58	5,37
10	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	9	0,85	259	220	1,1	4,02	20	4,23	4,96	5,43	4,92	6,18	6,59
11	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	10	0,85	259	220	1,1	4,72	20	4,39	5,24	5,77	5,20	6,85	7,58
12	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	11	0,85	259	220	1,1	5,49	20	4,57	5,52	6,13	5,50	7,61	-
13	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	12	0,85	259	220	1,1	6,34	20	4,77	5,83	6,52	5,83	8,46	-
14	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	13	0,85	259	220	1,1	7,27	20	4,99	6,16	6,94	6,19	9,41	-
15	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	14	0,85	259	220	1,1	8,29	20	5,23	6,51	7,38	6,57	10,47	-

Таблиця А.3 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані відповідають ділянці № 2 згідно з [131])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{сер.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними А. С. Любченко (ділянка №2), м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В., Мельницький М.А., Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Запропоноване рішення	
1	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	0	1,00	290	290	1,1	0,00	20	3,43	3,49	3,62	3,46	3,18	3,46
2	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	1	1,00	290	290	1,1	0,59	20	3,47	3,66	3,82	3,81	3,41	3,86
3	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	2	1,00	290	290	1,1	1,24	20	3,53	3,85	4,04	4,13	3,70	4,09
4	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	3	1,00	290	290	1,1	1,96	20	3,58	4,05	4,28	4,46	4,05	4,44
5	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	4	1,00	290	290	1,1	2,75	20	3,65	4,26	4,53	4,80	4,47	4,56
6	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	5	1,00	290	290	1,1	3,62	20	3,72	4,48	4,80	5,17	4,97	4,90
7	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	6	1,00	290	290	1,1	4,57	20	3,79	4,72	5,09	5,56	5,54	5,26
8	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	7	1,00	290	290	1,1	5,62	20	3,88	4,98	5,41	5,97	6,21	5,52
9	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	8	1,00	290	290	1,1	6,77	20	3,97	5,25	5,74	6,42	6,97	-
10	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	9	1,00	290	290	1,1	8,04	20	4,07	5,54	6,10	6,90	7,85	-
11	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	10	1,00	290	290	1,1	9,44	20	4,19	5,85	6,49	7,41	8,86	-
12	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	11	1,00	290	290	1,1	10,98	20	4,31	6,18	6,90	7,97	10,02	-
13	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	12	1,00	290	290	1,1	12,67	20	4,45	6,53	7,35	8,57	11,33	-
14	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	13	1,00	290	290	1,1	14,53	20	4,60	6,91	7,82	9,22	12,83	-
15	3,46	115	1,00	0,80	0,65	10144	1623	14	1,00	290	290	1,1	16,57	20	4,76	7,30	8,34	9,92	14,54	-

Таблиця А.4 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані відповідають ділянці № 3 згідно з [131])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{сер.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними А. С. Любченко (ділянка №3), м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжинірінг»	Запропоноване рішення	
1	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	0	0,85	259	220	1,1	0,00	20	3,89	3,75	3,76	3,60	3,50	3,60
2	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	1	0,85	259	220	1,1	0,30	20	3,97	3,95	3,98	3,79	3,68	3,81
3	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	2	0,85	259	220	1,1	0,62	20	4,06	4,15	4,21	3,97	3,91	3,91
4	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	3	0,85	259	220	1,1	0,98	20	4,16	4,37	4,45	4,15	4,19	4,29
5	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	4	0,85	259	220	1,1	1,38	20	4,27	4,60	4,72	4,33	4,53	4,49
6	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	5	0,85	259	220	1,1	1,81	20	4,39	4,85	5,00	4,53	4,94	-
7	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	6	0,85	259	220	1,1	2,29	20	4,52	5,11	5,31	4,74	5,40	-
8	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	7	0,85	259	220	1,1	2,81	20	4,67	5,39	5,64	4,97	5,94	-
9	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	8	0,85	259	220	1,1	3,39	20	4,83	5,69	5,99	5,21	6,55	-
10	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	9	0,85	259	220	1,1	4,02	20	5,01	6,01	6,37	5,48	7,24	-
11	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	10	0,85	259	220	1,1	4,72	20	5,20	6,35	6,77	5,76	8,02	-
12	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	11	0,85	259	220	1,1	5,49	20	5,41	6,71	7,21	6,06	8,90	-
13	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	12	0,85	259	220	1,1	6,34	20	5,65	7,10	7,68	6,39	9,89	-
14	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	13	0,85	259	220	1,1	7,27	20	5,91	7,51	8,18	6,75	11,00	-
15	3,60	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	14	0,85	259	220	1,1	8,29	20	6,19	7,95	8,72	7,13	12,25	-

Таблиця А.5 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані відповідають ділянці № 4 згідно з [131])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{сер.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними А. С. Любченко (ділянка №4), м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Запропоноване рішення	
1	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	0	0,65	225	146	1,1	0,00	20	5,02	4,43	4,15	4,01	4,44	4,01
2	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	1	0,65	225	146	1,1	0,10	20	5,07	4,67	4,39	4,08	4,60	4,81
3	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	2	0,65	225	146	1,1	0,21	20	5,13	4,92	4,65	4,15	4,82	5,07
4	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	3	0,65	225	146	1,1	0,32	20	5,19	5,19	4,93	4,22	5,10	5,26
5	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	4	0,65	225	146	1,1	0,46	20	5,26	5,48	5,23	4,29	5,43	5,81
6	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	5	0,65	225	146	1,1	0,60	20	5,34	5,78	5,56	4,37	5,82	6,48
7	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	6	0,65	225	146	1,1	0,76	20	5,42	6,11	5,90	4,45	6,27	7,16
8	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	7	0,65	225	146	1,1	0,93	20	5,52	6,45	6,27	4,53	6,79	-
9	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	8	0,65	225	146	1,1	1,12	20	5,62	6,82	6,67	4,62	7,37	-
10	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	9	0,65	225	146	1,1	1,33	20	5,73	7,21	7,10	4,72	8,01	-
11	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	10	0,65	225	146	1,1	1,56	20	5,86	7,63	7,56	4,83	8,73	-
12	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	11	0,65	225	146	1,1	1,82	20	5,99	8,08	8,05	4,95	9,52	-
13	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	12	0,65	225	146	1,1	2,10	20	6,14	8,56	8,58	5,07	10,39	-
14	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	13	0,65	225	146	1,1	2,41	20	6,31	9,06	9,15	5,21	11,34	-
15	4,01	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	14	0,65	225	146	1,1	2,75	20	6,49	9,60	9,76	5,35	12,37	-

Таблиця А.6 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані відповідають ділянці № 5 згідно з [131])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{сер.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними А. С. Любченко (ділянка №5), м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Запропоноване рішення	
1	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	0	0,80	225	180	1,03	0,00	20	3,93	3,56	3,58	3,38	3,41	3,38
2	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	1	0,80	225	180	1,03	0,10	20	3,97	3,74	3,78	3,45	3,54	3,65
3	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	2	0,80	225	180	1,03	0,20	20	4,00	3,94	3,99	3,52	3,71	3,88
4	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	3	0,80	225	180	1,03	0,30	20	4,04	4,14	4,22	3,58	3,92	4,14
5	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	4	0,80	225	180	1,03	0,41	20	4,08	4,36	4,47	3,64	4,18	4,32
6	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	5	0,80	225	180	1,03	0,52	20	4,12	4,59	4,74	3,69	4,47	4,44
7	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	6	0,80	225	180	1,03	0,64	20	4,16	4,84	5,03	3,75	4,81	4,69
8	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	7	0,80	225	180	1,03	0,75	20	4,20	5,10	5,33	3,81	5,19	5,14
9	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	8	0,80	225	180	1,03	0,87	20	4,25	5,38	5,66	3,87	5,62	5,16
10	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	9	0,80	225	180	1,03	1,00	20	4,29	5,68	6,02	3,93	6,09	-
11	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	10	0,80	225	180	1,03	1,13	20	4,34	5,99	6,40	4,00	6,61	-
12	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	11	0,80	225	180	1,03	1,26	20	4,39	6,33	6,81	4,06	7,18	-
13	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	12	0,80	225	180	1,03	1,39	20	4,44	6,69	7,24	4,12	7,79	-
14	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	13	0,80	225	180	1,03	1,53	20	4,49	7,08	7,71	4,19	8,45	-
15	3,38	115	1,00	0,80	0,65	1681	269	14	0,80	225	180	1,03	1,68	20	4,54	7,49	8,22	4,25	9,16	-

Таблиця А.7 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані відповідають ділянці № 6 згідно з [131])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{сер.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними А. С. Любченко (ділянка №6), м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Запропоноване рішення	
1	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	0	0,85	259	220	1,1	0,00	20	3,28	3,16	3,27	3,04	2,96	3,05
2	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	1	0,85	259	220	1,1	0,30	20	3,35	3,32	3,44	3,23	3,11	2,94
3	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	2	0,85	259	220	1,1	0,62	20	3,43	3,48	3,64	3,41	3,31	3,22
4	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	3	0,85	259	220	1,1	0,98	20	3,51	3,65	3,84	3,59	3,56	3,49
5	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	4	0,85	259	220	1,1	1,38	20	3,61	3,84	4,06	3,77	3,85	3,73
6	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	5	0,85	259	220	1,1	1,81	20	3,71	4,04	4,30	3,97	4,20	4,12
7	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	6	0,85	259	220	1,1	2,29	20	3,82	4,25	4,55	4,18	4,60	4,54
8	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	7	0,85	259	220	1,1	2,81	20	3,94	4,47	4,83	4,41	5,06	5,00
9	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	8	0,85	259	220	1,1	3,39	20	4,08	4,71	5,12	4,65	5,58	-
10	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	9	0,85	259	220	1,1	4,02	20	4,23	4,96	5,43	4,92	6,18	-
11	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	10	0,85	259	220	1,1	4,72	20	4,39	5,24	5,77	5,20	6,85	-
12	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	11	0,85	259	220	1,1	5,49	20	4,57	5,52	6,13	5,50	7,61	-
13	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	12	0,85	259	220	1,1	6,34	20	4,77	5,83	6,52	5,83	8,46	-
14	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	13	0,85	259	220	1,1	7,27	20	4,99	6,16	6,94	6,19	9,41	-
15	3,04	115	1,00	0,80	0,65	5075	812	14	0,85	259	220	1,1	8,29	20	5,23	6,51	7,38	6,57	10,47	-

Таблиця А.8 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані відповідають ділянці № 7 згідно з [131])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{сер.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними А. С. Любченко (ділянка №7), м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Запропоноване рішення	
1	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	0	1,00	250	250	1,1	0,00	20	3,07	2,99	3,19	2,97	2,74	2,97
2	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	1	1,00	250	250	1,1	0,37	20	3,13	3,14	3,36	3,20	2,91	3,25
3	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	2	1,00	250	250	1,1	0,77	20	3,19	3,29	3,54	3,41	3,11	3,52
4	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	3	1,00	250	250	1,1	1,21	20	3,26	3,45	3,74	3,63	3,36	3,81
5	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	4	1,00	250	250	1,1	1,70	20	3,34	3,62	3,96	3,85	3,66	4,09
6	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	5	1,00	250	250	1,1	2,24	20	3,43	3,80	4,19	4,09	4,01	4,19
7	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	6	1,00	250	250	1,1	2,82	20	3,52	4,00	4,43	4,35	4,42	4,42
8	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	7	1,00	250	250	1,1	3,47	20	3,63	4,21	4,70	4,62	4,89	4,86
9	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	8	1,00	250	250	1,1	4,19	20	3,74	4,43	4,98	4,91	5,43	-
10	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	9	1,00	250	250	1,1	4,97	20	3,87	4,66	5,28	5,23	6,04	-
11	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	10	1,00	250	250	1,1	5,83	20	4,00	4,92	5,61	5,57	6,73	-
12	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	11	1,00	250	250	1,1	6,78	20	4,16	5,18	5,96	5,93	7,51	-
13	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	12	1,00	250	250	1,1	7,83	20	4,33	5,47	6,33	6,33	8,39	-
14	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	13	1,00	250	250	1,1	8,98	20	4,51	5,77	6,74	6,75	9,38	-
15	2,97	115	1,00	0,80	0,65	6269	1003	14	1,00	250	250	1,1	10,24	20	4,71	6,10	7,17	7,22	10,50	-

Таблиця А.9 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані відповідають ділянці № 8 згідно з [131])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{сер.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними А. С. Любченко (ділянка №8), м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Запропоноване рішення	
1	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	0	0,65	229	149	1,1	0,00	20	4,63	4,12	3,91	3,73	4,11	3,73
2	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	1	0,65	229	149	1,1	0,11	20	4,69	4,33	4,13	3,81	4,27	4,24
3	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	2	0,65	229	149	1,1	0,24	20	4,75	4,56	4,37	3,89	4,47	4,59
4	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	3	0,65	229	149	1,1	0,37	20	4,82	4,81	4,63	3,96	4,74	5,19
5	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	4	0,65	229	149	1,1	0,52	20	4,89	5,07	4,91	4,04	5,05	5,49
6	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	5	0,65	229	149	1,1	0,68	20	4,97	5,35	5,21	4,13	5,42	5,84
7	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	6	0,65	229	149	1,1	0,86	20	5,06	5,64	5,53	4,22	5,85	-
8	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	7	0,65	229	149	1,1	1,06	20	5,16	5,96	5,88	4,32	6,33	-
9	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	8	0,65	229	149	1,1	1,28	20	5,26	6,29	6,25	4,42	6,88	-
10	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	9	0,65	229	149	1,1	1,52	20	5,38	6,65	6,65	4,53	7,50	-
11	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	10	0,65	229	149	1,1	1,79	20	5,51	7,03	7,07	4,65	8,18	-
12	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	11	0,65	229	149	1,1	2,08	20	5,65	7,44	7,53	4,78	8,93	-
13	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	12	0,65	229	149	1,1	2,40	20	5,81	7,88	8,02	4,92	9,76	-
14	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	13	0,65	229	149	1,1	2,75	20	5,98	8,34	8,55	5,07	10,67	-
15	3,73	115	1,00	0,80	0,65	1918	307	14	0,65	229	149	1,1	3,13	20	6,17	8,83	9,11	5,24	11,67	-

Таблиця А.10 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані відповідають ділянці № 1 згідно з [132])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{сер.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними К. Краюшкіної (ділянка №1), м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Запропоноване рішення	
1	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	0	0,90	233	210	1,03	0,00	20	2,60	2,43	2,64	2,37	2,28	2,37
2	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	1	0,90	233	210	1,03	0,10	20	2,62	2,54	2,77	2,44	2,37	2,44
3	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	2	0,90	233	210	1,03	0,20	20	2,64	2,65	2,91	2,51	2,49	2,51
4	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	3	0,90	233	210	1,03	0,30	20	2,66	2,77	3,06	2,57	2,63	2,51
5	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	4	0,90	233	210	1,03	0,41	20	2,69	2,90	3,23	2,63	2,80	2,54
6	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	5	0,90	233	210	1,03	0,52	20	2,71	3,03	3,40	2,69	3,01	-
7	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	6	0,90	233	210	1,03	0,64	20	2,73	3,18	3,59	2,74	3,24	-
8	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	7	0,90	233	210	1,03	0,75	20	2,76	3,33	3,80	2,80	3,50	-
9	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	8	0,90	233	210	1,03	0,88	20	2,78	3,49	4,01	2,86	3,79	-
10	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	9	0,90	233	210	1,03	1,00	20	2,80	3,67	4,25	2,93	4,11	-
11	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	10	0,90	233	210	1,03	1,13	20	2,83	3,86	4,50	2,99	4,46	-
12	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	11	0,90	233	210	1,03	1,26	20	2,86	4,05	4,76	3,05	4,84	-
13	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	12	0,90	233	210	1,03	1,40	20	2,88	4,27	5,05	3,11	5,26	-
14	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	13	0,90	233	210	1,03	1,54	20	2,91	4,49	5,36	3,18	5,70	-
15	2,37	115	1,00	0,80	0,65	1685	270	14	0,90	233	210	1,03	1,68	20	2,94	4,73	5,69	3,25	6,18	-

Таблиця А.11 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані відповідають ділянці № 2 згідно з [132])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{сер.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними К. Краюшкіної (ділянка №2), м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Запропоноване рішення	
1	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	0	0,90	222	200	1,03	0,00	20	2,76	2,53	2,73	2,47	2,39	2,47
2	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	1	0,90	222	200	1,03	0,09	20	2,78	2,65	2,87	2,54	2,48	2,65
3	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	2	0,90	222	200	1,03	0,18	20	2,80	2,77	3,02	2,59	2,60	2,85
4	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	3	0,90	222	200	1,03	0,27	20	2,82	2,89	3,18	2,65	2,75	2,96
5	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	4	0,90	222	200	1,03	0,37	20	2,85	3,03	3,35	2,70	2,93	3,04
6	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	5	0,90	222	200	1,03	0,47	20	2,87	3,17	3,54	2,75	3,13	-
7	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	6	0,90	222	200	1,03	0,57	20	2,89	3,33	3,74	2,81	3,37	-
8	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	7	0,90	222	200	1,03	0,67	20	2,92	3,49	3,95	2,86	3,64	-
9	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	8	0,90	222	200	1,03	0,78	20	2,94	3,67	4,18	2,92	3,94	-
10	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	9	0,90	222	200	1,03	0,89	20	2,97	3,85	4,43	2,97	4,27	-
11	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	10	0,90	222	200	1,03	1,00	20	2,99	4,05	4,69	3,03	4,63	-
12	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	11	0,90	222	200	1,03	1,12	20	3,02	4,26	4,97	3,08	5,02	-
13	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	12	0,90	222	200	1,03	1,24	20	3,05	4,49	5,28	3,14	5,45	-
14	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	13	0,90	222	200	1,03	1,37	20	3,08	4,73	5,60	3,20	5,91	-
15	2,47	115	1,00	0,80	0,65	1500	240	14	0,90	222	200	1,03	1,50	20	3,10	4,98	5,95	3,26	6,41	-

Таблиця А.12 – Результати математичного моделювання зміни рівності покриття за існуючими моделями і запропонованим рішенням (вихідні дані прийняти згідно з [134])

Ч. ч.	Початкова рівність IRI_0 , м/км	Розрахункове навантаження на вісь, Q , кН	Коефіцієнт впливу типу навантаження, A_Q	Середньозважений коефіцієнт приведення транспортного потоку, $S_{сер.-зв.}$	Коефіцієнт типу навантаження, c	Інтенсивність N , авт/добу	Приведена інтенсивність N_1 , авт/добу	Кількість років після ремонту t , років	Коефіцієнт міцності $K_{мц}$	Потрібний модуль пружності E , МПа	Мінімальний модуль пружності E , МПа	Коефіцієнт зміни інтенсивності q	ΣN , млн. од.	Частка вантажного транспорту T_r , %	Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, розрахований за рішенням, м/км					Показник рівності IRI на t -ий рік експлуатації, за експериментальними даними Ю.В. Буртиль, м/км
															Красіков О.А.	Демішкан В.Ф.	Жабін І.В. Мельницький М.А. Герасимов О.В.	ТОВ «Автодор Інжиніринг»	Запропоноване рішення	
1	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	0	0,90	250	225	1,04	0,00	20	4,50	4,33	4,26	4,20	4,02	4,20
2	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	1	0,90	250	225	1,04	0,20	20	4,56	4,56	4,51	4,34	4,19	4,30
3	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	2	0,90	250	225	1,04	0,42	20	4,63	4,81	4,78	4,46	4,42	4,50
4	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	3	0,90	250	225	1,04	0,64	20	4,70	5,07	5,07	4,58	4,70	4,70
5	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	4	0,90	250	225	1,04	0,87	20	4,77	5,35	5,39	4,69	5,04	5,20
6	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	5	0,90	250	225	1,04	1,11	20	4,84	5,64	5,72	4,81	5,43	5,70
7	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	6	0,90	250	225	1,04	1,36	20	4,92	5,96	6,08	4,93	5,88	-
8	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	7	0,90	250	225	1,04	1,61	20	5,00	6,30	6,46	5,04	6,38	-
9	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	8	0,90	250	225	1,04	1,88	20	5,08	6,65	6,87	5,17	6,95	-
10	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	9	0,90	250	225	1,04	2,16	20	5,17	7,04	7,32	5,29	7,58	-
11	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	10	0,90	250	225	1,04	2,45	20	5,25	7,44	7,79	5,42	8,27	-
12	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	11	0,90	250	225	1,04	2,76	20	5,35	7,88	8,30	5,55	9,03	-
13	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	12	0,90	250	225	1,04	3,07	20	5,44	8,34	8,85	5,68	9,86	-
14	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	13	0,90	250	225	1,04	3,40	20	5,55	8,83	9,44	5,82	10,77	-
15	4,20	115	1,00	0,80	0,65	3500	560	14	0,90	250	225	1,04	3,74	20	5,65	9,36	10,07	5,96	11,75	-

ДОДАТОК Б

РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ РІВНОСТІ ПОКРИТТЯ

Таблиця Б.1 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від км 17+000 до км 17+200 (рік знімання – 2018, $IRI_{200} = 6,30$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
17	120	17	130	10	13,98	2,32	36,69
17	110	17	120	10	11,90		
17	130	17	140	10	11,50		
17	080	17	090	10	8,42		
17	050	17	060	10	7,94		
17	020	17	030	10	7,62		
17	060	17	070	10	7,25		
17	140	17	150	10	6,09		
17	200	17	205	5	5,75		
17	160	17	170	10	5,56		
17	190	17	200	10	5,38	2,32	36,69
17	010	17	020	10	5,06		
17	150	17	160	10	5,00		
17	040	17	050	10	4,79		
17	180	17	190	10	4,50		
17	030	17	040	10	3,96		
17	070	17	080	10	3,90		
17	090	17	100	10	3,89		
17	000	17	010	10	3,59		
17	170	17	180	10	3,46		
17	100	17	110	10	3,22		

Таблиця Б.2 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від км 18+000 до км 18+150 (рік знімання – 2018, $IRI_{200} = 9,80$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
1	2	3	4	5	6	7	8
18	070	18	080	10	24,38	4,13	42,31
18	060	18	070	10	17,02		

Кінець таблиці Б.2

1	2	3	4	5	6	7	8
18	020	18	030	10	13,54	4,13	42,31
18	050	18	060	10	13,07		
18	010	18	020	10	10,70		
18	030	18	040	10	10,33		
18	140	18	150	10	10,28		
18	090	18	100	10	8,21		
18	040	18	050	10	7,54		
18	000	18	010	10	6,25		
18	100	18	110	10	5,65		
18	080	18	090	10	5,58		
18	130	18	140	10	4,91		
18	120	18	130	10	4,77		
18	110	18	120	10	4,21		

Таблиця Б.3 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від км 18+000 до км 18+150 (рік знімання – 2017, $IRI_{200} = 8,60$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
18	010	18	020	10	18,29	3,97	46,94
18	030	18	040	10	15,94		
18	040	18	050	10	13,03		
18	020	18	030	10	12,33		
18	050	18	060	10	11,92		
18	070	18	080	10	8,91		
18	060	18	070	10	8,61		
18	090	18	100	10	8,30		
18	080	18	090	10	7,49		
18	100	18	110	10	5,65		
18	000	18	010	10	4,92		
18	110	18	120	10	3,15		
18	130	18	140	10	2,94		
18	120	18	130	10	2,87		
18	140	18	150	10	2,59		

Таблиця Б.4 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від км 21+000 до км 21+200 (рік знімання – 2017, $IRI_{200} = 4,01$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
21	150	21	160	10	7,56	1,35	33,93
21	000	21	010	10	6,64		
21	160	21	170	10	5,67		
21	170	21	180	10	5,64		
21	020	21	030	10	5,26		
21	030	21	040	10	5,25		
21	180	21	190	10	5,02		
21	060	21	070	10	4,38		
21	010	21	020	10	4,07		
21	110	21	120	10	3,89		
21	040	21	050	10	3,72		
21	050	21	060	10	3,62		
21	190	21	200	10	3,47		
21	090	21	100	10	2,94		
21	070	21	080	10	2,58		
21	080	21	090	10	2,54		
21	140	21	150	10	2,43		
21	120	21	130	10	2,02		
21	130	21	140	10	1,85		
21	100	21	110	10	1,32		

Таблиця Б.5 – Оцінка рівності покриття з кроком 10 м за показником IRI на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від км 29+000 до км 29+200 (рік знімання – 2017, $IRI_{200} = 2,73$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Довжина ділянки, м	IRI, м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , м/км	Середнє квадратичне відхилення, σ , %
км	м	км	м				
1	2	3	4	5	6	7	8
29	080	29	090	10	5,02	0,81	29,97
29	130	29	140	10	3,86		
29	110	29	120	10	3,81		
29	180	29	190	10	3,76		
29	010	29	020	10	3,61		

Кінець таблиці Б.5

1	2	3	4	5	6	7	8
29	020	29	030	10	3,21		
29	070	29	080	10	3,13		
29	100	29	110	10	3,04		
29	090	29	100	10	2,97		
29	120	29	130	10	2,83		
29	000	29	010	10	2,74		
29	170	29	180	10	2,46	0,81	29,97
29	190	29	200	10	2,15		
29	160	29	170	10	2,04		
29	140	29	150	10	1,90		
29	040	29	050	10	1,88		
29	060	29	070	10	1,61		
29	030	29	040	10	1,59		
29	050	29	060	10	1,39		
29	150	29	160	10	1,26		

Таблиця Б.6 – Розподіл ділянок довжиною 10 м на 1 км за показниками рівності IRI на ділянці дороги Н-07 Київ – Суми – Юнаківка від км 208+000 до км 325+000

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		IRI, м/км	Відсоток ділянок довжиною 10 м із показником рівності IRI (м/км) в діапазоні:														
км	м	км	м		< 2	від 2 до 3	від 3 до 4	від 4 до 5	від 5 до 6	від 6 до 7	від 7 до 8	від 8 до 9	від 9 до 10	від 10 до 11	від 11 до 12	від 12 до 13	від 13 до 14	від 14 до 15	> 15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
208	0	209	0	6,37	1	3	13	19	21	9	17	6	2	5	1	0	0	1	2
209	0	210	0	6,33	0	5	11	18	18	19	11	4	6	1	3	1	1	1	1
210	0	211	0	5,79	0	5	23	21	14	9	8	8	4	4	2	2	0	0	0
211	0	212	0	7,24	0	0	8	12	19	16	11	13	8	6	1	1	2	0	3
212	0	213	0	10,13	0	0	3	10	6	12	8	8	11	6	9	3	2	3	19
213	0	214	0	9,54	0	0	2	10	9	15	9	8	9	11	7	3	3	2	12
214	0	215	0	7,87	0	3	6	14	16	9	13	9	5	8	5	3	1	2	6
215	0	216	0	8,22	0	1	5	12	15	13	15	6	8	2	7	4	4	1	7
216	0	217	0	10,19	0	0	2	4	9	6	8	15	14	10	9	7	3	2	11

Продовження таблиці Б.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
217	0	218	0	11,08	0	0	2	5	8	8	8	7	10	8	10	6	5	3	20
218	0	219	0	10,53	0	0	2	4	12	11	4	11	13	7	5	9	2	6	14
219	0	220	0	7,34	1	4	12	16	15	9	10	5	6	6	6	1	2	2	5
220	0	221	0	5,29	3	23	14	11	18	9	5	6	2	3	3	1	1	0	1
221	0	222	0	7,83	0	3	0	15	8	16	17	10	8	10	6	4	1	0	2
222	0	223	0	8,34	0	2	0	6	10	13	18	20	9	6	6	3	4	2	1
223	0	224	0	8,56	0	2	5	13	8	14	8	12	4	9	9	1	3	6	6
224	0	225	0	5,45	1	11	13	33	13	13	4	5	2	2	0	0	1	0	2
225	0	226	0	12,19	0	7	8	14	11	5	10	3	3	4	3	3	1	0	28
226	0	227	0	15,38	0	0	2	4	2	6	4	3	3	7	8	4	4	5	48
227	0	228	0	9,78	0	6	4	5	14	13	8	6	7	6	3	4	4	2	18
228	0	229	0	9,66	0	6	8	10	13	9	11	12	7	3	5	3	0	1	12
229	0	230	0	6,84	1	8	20	19	13	11	9	3	1	4	1	0	1	0	9
230	0	231	0	8,22	0	2	5	15	21	9	9	7	9	3	3	3	0	5	9
231	0	232	0	6,09	0	9	17	12	15	16	12	7	6	2	1	1	1	0	1
232	0	233	0	5,90	3	13	12	18	9	10	11	7	9	3	1	2	1	1	0
233	0	234	0	3,96	13	29	19	11	14	7	2	3	0	1	0	0	0	0	1
234	0	235	0	2,88	44	26	10	8	5	2	3	0	1	0	1	0	0	0	0
235	0	236	0	3,95	6	27	33	13	6	7	2	3	2	1	0	0	0	0	0
236	0	237	0	4,62	25	20	15	8	3	4	8	6	3	2	3	1	1	0	1
237	0	238	0	6,06	0	1	14	25	14	17	15	5	4	2	1	0	0	1	1
238	0	239	0	7,51	0	0	8	11	15	16	14	10	13	3	4	2	2	1	1
239	0	240	0	6,47	0	5	12	17	21	13	13	4	5	2	1	3	1	0	3
240	0	241	0	6,08	1	8	10	17	19	21	6	6	5	2	0	0	3	2	0
241	0	242	0	7,19	0	4	12	14	11	12	10	11	5	7	7	1	3	2	1
242	0	243	0	7,12	0	6	6	11	16	16	12	12	5	7	6	0	1	2	0
243	0	244	0	7,23	0	2	8	10	16	18	12	7	8	8	2	7	1	1	0
244	0	245	0	6,09	0	11	22	14	14	12	9	5	2	1	0	3	2	0	5
245	0	246	0	4,25	5	28	22	16	12	9	3	1	3	0	1	0	0	0	0
246	0	247	0	4,68	2	22	15	25	12	12	8	2	1	0	1	0	0	0	0
247	0	248	0	5,27	2	15	22	22	14	8	1	3	8	0	1	1	0	0	3
248	0	249	0	5,41	0	6	27	20	19	9	5	10	3	0	0	1	0	0	0
249	0	250	0	5,64	1	11	18	23	16	10	6	2	5	3	1	2	0	0	2
250	0	251	0	5,56	0	5	16	29	17	12	5	8	3	2	2	1	0	0	0
251	0	252	0	6,39	0	3	13	20	20	17	7	4	4	4	1	1	1	4	1
252	0	253	0	7,37	0	1	6	15	11	21	17	11	7	4	1	3	1	0	2
253	0	254	0	6,69	0	0	9	18	12	17	12	11	8	9	3	0	0	0	1
254	0	255	0	6,03	0	8	22	22	13	7	4	7	7	3	2	1	1	2	1
255	0	256	0	6,40	0	4	15	14	16	20	10	9	3	3	1	3	0	1	1
256	0	257	0	6,76	0	7	9	22	12	14	10	5	8	3	2	2	2	1	3
257	0	258	0	8,06	0	0	8	15	16	16	13	6	3	6	5	0	2	3	7

Продовження таблиці Б.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
258	0	259	0	9,26	0	1	3	8	8	16	10	9	12	9	7	2	3	0	12
259	0	260	0	10,29	0	4	9	8	7	9	5	8	6	6	1	8	4	7	18
260	0	261	0	9,24	0	0	5	9	14	12	12	6	12	3	7	4	4	2	10
261	0	262	0	9,87	0	0	2	4	4	6	9	19	11	13	10	7	2	6	7
262	0	263	0	8,07	0	0	1	5	18	16	15	16	12	6	3	3	1	2	2
263	0	264	0	10,21	0	0	1	4	7	11	10	9	13	9	8	9	3	4	12
264	0	265	0	7,42	0	2	6	8	16	20	11	16	6	7	1	2	3	1	1
265	0	266	0	8,92	0	1	3	2	14	11	14	14	7	11	7	6	1	2	7
266	0	267	0	6,38	0	1	9	25	14	17	11	14	3	4	1	0	1	0	0
267	0	268	0	6,71	0	1	6	16	19	23	14	11	3	3	1	1	1	1	0
268	0	269	0	6,75	0	4	15	10	19	12	9	7	7	5	5	2	1	1	3
269	0	270	0	6,42	2	12	17	19	10	8	10	2	6	5	2	1	3	1	2
270	0	271	0	10,25	0	0	3	4	12	12	7	15	11	5	4	5	5	2	15
271	0	272	0	7,62	0	0	7	8	14	18	15	12	11	6	3	3	1	1	1
272	0	273	0	7,92	0	0	1	12	13	12	21	15	10	4	2	2	3	1	4
273	0	274	0	7,70	0	0	4	13	18	12	10	16	11	5	4	2	3	2	0
274	0	275	0	7,15	0	1	13	13	20	9	11	12	6	6	2	1	1	1	4
275	0	276	0	4,51	3	17	23	24	11	8	7	2	2	1	1	0	1	0	0
276	0	277	0	4,20	6	18	34	18	8	10	2	1	1	1	1	0	0	0	0
277	0	278	0	3,85	5	32	25	20	6	8	3	0	1	0	0	0	0	0	0
278	0	279	0	4,37	0	23	31	19	12	4	3	5	1	1	0	1	0	0	0
279	0	280	0	4,79	1	13	23	24	21	5	9	2	1	1	0	0	0	0	0
280	0	281	0	8,07	1	2	6	19	11	10	11	13	5	8	2	4	2	2	4
281	0	282	0	8,08	0	2	7	12	12	9	17	14	5	6	3	2	2	1	8
282	0	283	0	7,23	0	1	8	10	22	17	10	9	9	5	1	2	2	1	3
283	0	284	0	6,94	0	7	12	12	8	13	14	11	7	6	6	2	1	1	0
284	0	285	0	7,38	0	1	3	11	20	20	13	3	10	6	8	2	1	1	1
285	0	286	0	6,61	1	0	6	11	21	21	16	14	3	1	2	2	1	0	1
286	0	287	0	7,62	0	0	6	8	20	18	9	10	13	6	3	5	0	1	1
287	0	288	0	6,42	0	0	12	16	25	19	7	9	4	3	2	2	0	0	1
288	0	289	0	7,49	0	2	5	14	15	21	9	7	4	12	2	1	3	1	4
289	0	290	0	6,07	0	4	12	20	19	17	10	8	3	3	1	1	1	0	1
290	0	291	0	8,49	1	4	8	14	10	11	12	4	6	6	7	3	6	1	7
291	0	292	0	10,19	0	1	1	3	11	15	12	9	7	5	7	10	4	3	12
292	0	293	0	8,50	0	1	3	9	11	14	14	8	9	8	8	5	5	2	3
293	0	294	0	9,91	0	0	0	5	6	10	7	14	12	10	11	9	2	5	9
294	0	295	0	6,63	0	3	6	13	19	22	15	10	7	2	0	2	0	1	0
295	0	296	0	6,95	0	1	7	12	17	18	17	12	7	2	1	4	0	1	1
296	0	297	0	6,90	0	5	9	14	13	18	9	7	6	9	3	4	2	1	0
297	0	298	0	6,10	0	4	11	26	13	16	8	10	5	5	2	0	0	0	0
298	0	299	0	5,61	0	8	15	24	12	17	10	7	3	0	1	1	1	0	1

Продовження таблиці Б.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
187	0	188	0	3,06	8	43	32	15	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
188	0	189	0	2,85	12	44	41	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
189	0	190	0	3,08	1	51	36	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190	0	191	0	2,97	7	48	38	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
191	0	192	0	2,94	7	53	31	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
192	0	193	0	3,61	1	31	43	18	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
193	0	194	0	3,89	0	19	43	21	10	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0
194	0	195	0	3,80	3	27	43	15	5	3	3	0	1	0	0	0	0	0	0
195	0	196	0	3,07	4	46	37	9	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
196	0	197	0	3,32	1	36	47	11	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
197	0	198	0	3,20	1	41	44	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
198	0	199	0	2,80	9	58	30	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
199	0	200	0	2,89	13	52	26	4	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
200	0	201	0	2,55	15	67	16	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
201	0	202	0	2,51	20	61	17	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
202	0	203	0	2,82	8	60	28	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
203	0	204	0	2,73	9	58	32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
204	0	205	0	2,74	10	53	34	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
205	0	206	0	2,79	9	61	25	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
206	0	207	0	2,60	16	61	21	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
207	0	208	0	4,20	6	39	23	16	6	3	2	0	0	0	0	1	1	0	3
208	0	209	0	3,13	2	49	34	9	3	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
209	0	210	0	2,65	17	53	22	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	0	211	0	2,88	12	57	26	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
211	0	212	0	2,80	12	56	21	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	0	213	0	2,84	14	57	26	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
213	0	214	0	2,99	8	51	27	9	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
214	0	215	0	2,66	13	58	24	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
215	0	216	0	2,94	9	50	32	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
216	0	217	0	3,22	5	46	31	13	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
217	0	218	0	3,06	7	45	33	13	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
218	0	219	0	2,97	8	50	31	8	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
219	0	220	0	2,75	6	63	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	0	221	0	2,95	13	60	21	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
221	0	222	0	3,27	3	42	37	6	8	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
222	0	223	0	3,11	4	45	44	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
223	0	224	0	3,12	4	39	38	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
224	0	225	0	2,95	7	52	30	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
225	0	226	0	3,08	4	45	46	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
226	0	227	0	2,91	6	57	33	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
227	0	228	0	3,20	1	37	48	12	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
163	600	163	800	2,90	10	30	50	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
163	800	164	0	2,35	30	40	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164	0	164	200	2,37	35	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164	200	164	400	3,29	5	40	40	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164	400	164	600	3,59	0	50	35	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164	600	164	800	3,92	5	20	35	5	30	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164	800	165	0	2,61	20	55	10	10	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
165	0	165	200	2,76	10	60	25	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	200	165	400	2,31	15	65	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	400	165	600	1,99	60	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	600	165	800	2,32	40	50	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165	800	166	0	2,79	10	60	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	0	166	200	2,93	5	60	25	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	200	166	400	2,24	30	65	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	400	166	600	2,80	10	55	20	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	600	166	800	2,03	55	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	800	167	0	2,37	45	50	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167	0	167	200	2,55	5	60	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167	200	167	400	2,41	30	65	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167	400	167	600	2,49	20	45	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167	600	167	800	2,17	65	30	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167	800	168	0	2,87	20	50	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	0	168	200	3,02	0	45	45	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	200	168	400	3,13	5	40	40	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	400	168	600	3,47	5	55	25	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	600	168	800	3,64	5	25	40	20	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0
168	800	169	0	3,46	0	20	55	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169	0	169	200	2,64	10	55	30	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169	200	169	400	3,63	5	60	30	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169	400	169	600	4,87	0	5	30	10	40	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
169	600	169	800	3,74	0	15	35	15	30	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169	800	170	0	3,64	0	30	40	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	0	170	200	2,59	5	55	35	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	200	170	400	3,09	5	50	40	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	400	170	600	2,85	20	50	20	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	600	170	800	4,60	5	15	35	20	15	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0
170	800	171	0	3,60	5	45	25	15	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171	0	171	200	3,17	5	25	35	15	15	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
171	200	171	400	3,16	0	30	45	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171	400	171	600	3,60	0	50	45	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171	600	171	800	3,15	5	40	30	10	5	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0

Кінець таблиці Б.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
237	400	237	600	3,11	5	30	55	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
237	600	237	800	2,73	10	45	25	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
237	800	238	0	3,02	0	80	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
238	0	238	200	3,29	0	50	40	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
238	200	238	400	3,36	10	45	25	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
238	400	238	600	2,78	5	35	45	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
238	600	238	800	3,28	5	75	10	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
238	800	239	0	3,07	0	50	30	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
239	0	239	200	2,70	15	40	30	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
239	200	239	400	2,44	20	50	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
239	400	239	600	2,25	25	55	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
239	600	239	800	3,27	35	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
239	800	240	0	3,09	10	35	40	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	0	240	200	3,17	0	70	15	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	200	240	400	2,86	5	50	30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	400	240	600	3,01	10	50	35	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	600	240	800	3,35	10	35	50	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	800	241	0	3,20	0	25	60	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
241	0	241	200	3,36	5	40	30	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
241	200	241	400	3,00	0	55	25	10	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
241	400	241	600	2,87	5	50	35	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
241	600	241	800	3,63	10	55	30	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
241	800	242	0	4,86	5	30	30	20	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
242	0	242	200	6,08	0	10	40	25	10	5	0	5	0	0	0	0	0	0	5

Таблиця Б.9 – Розподіл ділянок довжиною 10 м на 200 м за показниками рівності IRI на ділянці дороги Н-07 Київ – Суми – Юнаківка від км 208+000 до км 325+000

ПК начала участка		ПК конца участка		IRI, м/км	Відсоток ділянок довжиною 10 м із показником рівності IRI (м/км) в діапазоні:														
км	м	км	м		< 2	від 2 до 3	від 3 до 4	від 4 до 5	від 5 до 6	від 6 до 7	від 7 до 8	від 8 до 9	від 9 до 10	від 10 до 11	від 11 до 12	від 12 до 13	від 13 до 14	від 14 до 15	> 15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
208	0	208	200	7,36	0	10	15	20	20	0	10	5	0	5	0	0	0	5	10
208	200	208	400	6,92	0	0	15	10	20	0	30	5	10	5	5	0	0	0	0
208	400	208	600	6,70	0	0	5	15	25	15	20	10	0	10	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
208	600	208	800	5,84	5	5	5	15	15	20	20	10	0	5	0	0	0	0	0
208	800	209	0	5,00	0	0	25	35	25	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0
209	0	209	200	5,38	0	15	20	5	20	20	15	5	0	0	0	0	0	0	0
209	200	209	400	6,44	0	0	5	25	15	15	15	15	5	0	5	0	0	0	0
209	400	209	600	7,56	0	0	10	15	20	20	5	0	10	0	5	5	5	0	5
209	600	209	800	5,11	0	10	15	25	25	15	5	0	5	0	0	0	0	0	0
209	800	210	0	7,16	0	0	5	20	10	25	15	0	10	5	5	0	0	5	0
210	0	210	200	6,15	0	5	15	20	20	10	5	15	5	0	5	0	0	0	0
210	200	210	400	4,18	0	15	35	30	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	400	210	600	4,42	0	5	40	30	15	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0
210	600	210	800	6,08	0	0	25	10	25	10	10	5	5	5	5	0	0	0	0
210	800	211	0	8,14	0	0	0	15	5	5	25	20	5	15	0	10	0	0	0
211	0	211	200	6,06	0	0	10	5	35	25	15	5	5	0	0	0	0	0	0
211	200	211	400	4,91	0	0	20	30	30	15	0	5	0	0	0	0	0	0	0
211	400	211	600	7,94	0	0	0	0	10	15	30	30	10	5	0	0	0	0	0
211	600	211	800	8,87	0	0	0	5	10	15	0	20	20	20	5	0	0	0	5
211	800	212	0	8,40	0	0	10	20	10	10	10	5	5	5	0	5	10	0	10
212	0	212	200	8,56	0	0	0	30	5	10	10	5	10	5	5	5	0	5	10
212	200	212	400	10,19	0	0	5	5	0	10	10	5	20	10	10	5	0	0	20
212	400	212	600	13,05	0	0	0	0	0	5	0	20	10	0	10	0	5	10	40
212	600	212	800	8,58	0	0	10	15	15	15	5	0	5	10	10	0	0	0	15
212	800	213	0	10,29	0	0	0	0	10	20	15	10	10	5	10	5	5	0	10
213	0	213	200	9,35	0	0	0	5	10	30	0	10	0	15	10	0	5	5	10
213	200	213	400	6,93	0	0	0	25	15	15	15	10	5	10	5	0	0	0	0
213	400	213	600	11,99	0	0	0	0	5	10	10	0	5	10	10	15	10	0	25
213	600	213	800	9,84	0	0	0	10	10	10	5	20	20	5	5	0	0	5	10
213	800	214	0	9,56	0	0	10	10	5	10	15	0	15	15	5	0	0	0	15
214	0	214	200	6,59	0	0	5	20	25	15	10	5	10	10	0	0	0	0	0
214	200	214	400	9,76	0	0	0	5	10	15	15	15	15	0	5	0	0	5	15
214	400	214	600	11,15	0	0	0	0	10	0	10	10	0	25	15	10	5	5	10
214	600	214	800	6,15	0	5	20	20	10	10	10	10	0	5	5	0	0	0	5
214	800	215	0	5,60	0	10	5	25	25	5	20	5	0	0	0	5	0	0	0
215	0	215	200	7,24	0	0	5	5	25	15	20	5	15	0	5	0	0	0	5
215	200	215	400	6,19	0	5	10	25	5	20	25	0	5	0	5	0	0	0	0
215	400	215	600	7,43	0	0	10	10	20	10	10	10	10	0	5	15	0	0	0
215	600	215	800	9,85	0	0	0	15	10	5	10	10	10	10	5	0	10	0	15
215	800	216	0	10,41	0	0	0	5	15	15	10	5	0	0	15	5	10	5	15
216	0	216	200	9,56	0	0	5	0	10	0	5	25	15	25	5	5	0	0	5
216	200	216	400	8,35	0	0	5	5	10	20	10	20	15	0	5	5	5	0	0
216	400	216	600	9,52	0	0	0	10	15	0	5	15	15	0	10	5	5	10	10
216	600	216	800	11,00	0	0	0	5	5	10	20	10	10	10	0	5	5	0	20

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
216	800	217	0	12,73	0	0	0	0	5	0	0	5	15	15	25	15	0	0	20
217	0	217	200	13,08	0	0	0	5	0	0	0	5	15	10	10	10	5	5	35
217	200	217	400	12,88	0	0	5	0	0	5	15	10	0	0	20	10	10	0	25
217	400	217	600	10,40	0	0	0	0	10	10	10	5	15	15	5	5	10	5	10
217	600	217	800	10,20	0	0	5	10	20	15	10	5	10	0	0	0	0	5	20
217	800	218	0	8,53	0	0	0	10	10	10	5	10	10	15	15	5	0	0	10
218	0	218	200	9,12	0	0	5	10	25	10	5	10	10	5	5	5	0	0	10
218	200	218	400	9,39	0	0	5	5	10	20	5	10	5	0	0	5	0	15	20
218	400	218	600	12,79	0	0	0	0	5	15	0	15	15	10	5	5	0	15	15
218	600	218	800	12,56	0	0	0	0	5	5	0	5	20	5	10	20	5	0	25
218	800	219	0	9,12	0	0	0	5	15	5	10	15	15	15	5	10	5	0	0
219	0	219	200	10,92	0	0	0	0	5	10	10	10	20	5	15	5	0	5	15
219	200	219	400	4,67	0	10	30	15	20	15	5	0	0	5	0	0	0	0	0
219	400	219	600	5,91	0	10	25	15	20	0	15	5	0	5	0	0	5	0	0
219	600	219	800	7,37	0	0	0	30	10	15	20	0	5	5	10	0	0	5	0
219	800	220	0	7,70	5	0	5	20	20	5	0	10	5	10	5	0	5	0	10
220	0	220	200	5,17	0	25	5	25	15	10	0	5	0	10	0	0	5	0	0
220	200	220	400	3,30	0	50	35	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
220	400	220	600	4,24	15	35	20	0	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
220	600	220	800	6,70	0	5	10	15	10	15	15	5	10	5	10	0	0	0	0
220	800	221	0	7,17	0	0	0	15	30	15	10	20	0	0	5	5	0	0	0
221	0	221	200	9,04	0	0	0	5	0	15	20	15	15	10	20	0	0	0	0
221	200	221	400	7,57	0	10	0	25	0	10	10	10	5	15	0	5	5	0	5
221	400	221	600	6,85	0	5	0	25	25	5	20	0	5	5	5	5	0	0	0
221	600	221	800	8,21	0	0	0	10	0	25	20	15	5	5	5	10	0	0	5
221	800	222	0	7,41	0	0	0	10	15	25	15	10	10	15	0	0	0	0	0
222	0	222	200	8,95	0	5	0	0	5	15	5	25	20	10	0	5	5	0	5
222	200	222	400	9,41	0	0	0	5	5	5	20	30	5	0	15	10	5	0	0
222	400	222	600	7,57	0	0	0	5	15	25	20	5	10	10	10	0	0	0	0
222	600	222	800	9,00	0	0	0	5	15	5	25	15	5	5	5	0	10	10	0
222	800	223	0	6,78	0	5	0	15	10	15	20	25	5	5	0	0	0	0	0
223	0	223	200	9,00	0	0	0	10	10	10	10	20	5	10	20	0	0	0	5
223	200	223	400	12,23	0	0	0	5	0	0	5	5	5	20	20	0	5	25	10
223	400	223	600	7,78	0	0	10	15	10	25	5	10	0	5	0	5	10	0	5
223	600	223	800	7,55	0	10	10	10	5	15	5	10	10	10	0	0	0	5	10
223	800	224	0	6,14	0	0	5	25	15	20	15	15	0	0	5	0	0	0	0
224	0	224	200	5,40	0	5	15	30	20	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0
224	200	224	400	6,48	0	5	5	30	20	10	10	5	0	5	0	0	5	0	5
224	400	224	600	4,27	0	20	20	40	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
224	600	224	800	5,40	0	15	15	40	5	15	0	0	5	0	0	0	0	0	5
224	800	225	0	5,65	5	10	10	25	15	10	5	15	0	5	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
225	0	225	200	10,90	0	5	10	10	5	10	25	0	5	5	0	5	0	0	20
225	200	225	400	7,71	0	0	5	10	20	10	10	15	10	0	10	5	0	0	5
225	400	225	600	5,16	0	20	20	20	20	5	5	0	0	5	0	5	0	0	0
225	600	225	800	13,04	0	10	5	30	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	35
225	800	226	0	25,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	5	0	5	0	80
226	0	226	200	19,45	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	5	0	5	80
226	200	226	400	14,84	0	0	5	10	0	0	15	5	0	5	5	0	5	5	45
226	400	226	600	13,91	0	0	5	5	5	10	0	0	0	10	0	15	5	5	40
226	600	226	800	13,14	0	0	0	5	5	15	5	5	5	5	15	0	0	10	30
226	800	227	0	14,48	0	0	0	0	0	0	0	5	10	15	15	0	10	0	45
227	0	227	200	9,30	0	10	0	10	5	20	5	10	5	10	0	5	10	5	5
227	200	227	400	9,72	0	0	0	0	25	15	15	0	10	5	5	0	0	0	25
227	400	227	600	12,29	0	0	5	0	0	5	15	5	10	10	0	10	5	5	30
227	600	227	800	6,96	0	15	10	10	20	10	5	15	0	0	0	5	0	0	10
227	800	228	0	10,67	0	5	5	5	20	15	0	0	10	5	10	0	5	0	20
228	0	228	200	6,86	0	10	5	5	25	10	10	10	5	0	10	5	0	5	0
228	200	228	400	8,99	0	10	15	15	5	10	0	15	5	0	0	5	0	0	20
228	400	228	600	8,48	0	0	5	0	15	5	10	25	10	10	10	0	0	0	10
228	600	228	800	10,87	0	0	10	20	10	5	25	10	5	5	0	5	0	0	5
228	800	229	0	13,11	0	10	5	10	10	15	10	0	10	0	5	0	0	0	25
229	0	229	200	7,77	0	0	5	15	25	15	15	10	0	5	0	0	0	0	10
229	200	229	400	11,42	0	0	10	20	0	15	10	0	0	10	5	0	0	0	30
229	400	229	600	4,60	0	10	35	30	10	0	5	0	5	5	0	0	0	0	0
229	600	229	800	4,47	5	15	30	25	15	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
229	800	230	0	5,72	0	15	20	5	15	20	10	5	0	0	0	0	5	0	5
230	0	230	200	6,18	0	5	10	30	20	10	10	10	0	0	0	0	0	5	0
230	200	230	400	5,68	0	5	10	20	35	15	5	5	0	5	0	0	0	0	0
230	400	230	600	11,37	0	0	0	10	20	0	15	5	10	10	5	0	0	10	15
230	600	230	800	9,16	0	0	5	10	10	0	10	5	25	0	10	10	0	5	10
230	800	231	0	8,97	0	0	0	5	20	20	5	10	10	0	0	5	0	5	20
231	0	231	200	7,67	0	0	5	10	5	25	20	10	20	0	0	5	0	0	0
231	200	231	400	4,90	0	25	15	10	15	15	0	10	0	5	5	0	0	0	0
231	400	231	600	5,20	0	5	30	15	25	10	10	0	5	0	0	0	0	0	0
231	600	231	800	7,62	0	0	10	0	20	20	20	15	5	5	0	0	0	0	5
231	800	232	0	4,91	0	15	25	25	10	10	10	0	0	0	0	0	5	0	0
232	0	232	200	7,06	0	0	5	10	15	35	0	20	10	5	0	0	0	0	0
232	200	232	400	7,24	0	0	5	15	15	0	25	5	15	10	5	0	0	5	0
232	400	232	600	7,40	0	0	5	25	15	10	20	5	10	0	0	5	5	0	0
232	600	232	800	4,80	5	10	20	30	0	5	10	5	10	0	0	5	0	0	0
232	800	233	0	2,83	10	55	25	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
233	0	233	200	5,40	0	15	20	15	25	15	0	5	0	5	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
233	200	233	400	5,83	0	5	15	5	30	20	10	10	0	0	0	0	0	0	5
233	400	233	600	2,55	25	50	15	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
233	600	233	800	2,54	35	40	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
233	800	234	0	3,49	5	35	25	20	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
234	0	234	200	1,83	75	10	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
234	200	234	400	2,05	60	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
234	400	234	600	3,63	30	35	10	0	5	5	10	0	5	0	0	0	0	0	0
234	600	234	800	3,36	35	35	20	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
234	800	235	0	3,37	20	20	5	25	20	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0
235	0	235	200	3,32	20	40	25	0	10	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
235	200	235	400	4,86	0	20	35	10	5	20	0	5	0	5	0	0	0	0	0
235	400	235	600	4,46	0	10	30	30	10	15	0	0	5	0	0	0	0	0	0
235	600	235	800	4,43	0	25	35	20	5	0	10	0	5	0	0	0	0	0	0
235	800	236	0	2,68	10	40	40	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
236	0	236	200	2,46	50	30	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
236	200	236	400	2,93	45	15	25	10	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
236	400	236	600	2,64	25	45	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
236	600	236	800	6,97	5	10	20	10	10	5	15	5	5	5	5	0	0	0	5
236	800	237	0	8,51	0	0	0	0	5	15	20	25	10	5	10	5	5	0	0
237	0	237	200	7,65	0	0	0	15	10	10	25	10	15	5	5	0	0	5	0
237	200	237	400	5,26	0	0	20	25	25	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0
237	400	237	600	4,96	0	5	20	15	30	15	10	5	0	0	0	0	0	0	0
237	600	237	800	5,16	0	0	25	55	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
237	800	238	0	7,48	0	0	5	15	0	25	30	10	5	5	0	0	0	0	5
238	0	238	200	7,20	0	0	5	10	15	20	20	15	10	0	5	0	0	0	0
238	200	238	400	7,63	0	0	0	15	15	10	20	10	25	0	5	0	0	0	0
238	400	238	600	8,16	0	0	10	10	10	5	5	15	15	10	5	10	5	0	0
238	600	238	800	8,84	0	0	0	5	25	20	15	5	5	5	5	0	5	5	5
238	800	239	0	5,90	0	0	25	15	10	25	10	5	10	0	0	0	0	0	0
239	0	239	200	7,52	0	5	0	15	20	25	10	5	0	5	0	5	5	0	5
239	200	239	400	5,78	0	10	10	10	30	10	5	10	5	0	5	0	0	0	5
239	400	239	600	6,53	0	5	15	15	25	0	15	5	10	5	0	5	0	0	0
239	600	239	800	4,85	0	5	15	30	20	10	20	0	0	0	0	0	0	0	0
239	800	240	0	7,36	0	0	20	15	10	20	15	0	10	0	0	5	0	0	5
240	0	240	200	7,12	0	0	0	15	25	20	5	10	15	5	0	0	5	0	0
240	200	240	400	5,79	0	20	25	10	10	30	0	0	5	0	0	0	0	0	0
240	400	240	600	5,97	0	5	0	30	10	15	10	10	0	5	0	0	5	10	0
240	600	240	800	5,46	5	15	20	20	20	10	5	0	0	0	0	0	5	0	0
240	800	241	0	5,90	0	0	5	10	30	30	10	10	5	0	0	0	0	0	0
241	0	241	200	7,56	0	0	10	10	10	10	10	20	5	5	10	0	10	0	0
241	200	241	400	7,35	0	5	10	15	25	15	15	5	5	0	5	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
241	400	241	600	7,46	0	0	0	5	15	20	10	15	5	10	15	0	5	0	0
241	600	241	800	9,42	0	0	5	20	0	5	10	15	10	15	5	5	0	10	0
241	800	242	0	4,00	0	15	35	20	5	10	5	0	0	5	0	0	0	0	5
242	0	242	200	5,39	0	10	20	25	5	15	15	5	0	5	0	0	0	0	0
242	200	242	400	6,41	0	20	0	10	20	15	5	10	10	5	5	0	0	0	0
242	400	242	600	8,86	0	0	5	5	15	20	10	15	0	15	10	0	5	0	0
242	600	242	800	7,38	0	0	5	5	35	5	15	10	5	10	5	0	0	5	0
242	800	243	0	7,96	0	0	0	10	5	25	15	20	10	0	10	0	0	5	0
243	0	243	200	7,39	0	0	0	10	20	20	15	0	15	5	0	15	0	0	0
243	200	243	400	7,41	0	0	10	10	10	15	20	10	0	10	5	10	0	0	0
243	400	243	600	7,24	0	5	5	15	15	15	15	10	0	10	5	5	0	0	0
243	600	243	800	8,24	0	0	0	5	0	25	10	15	20	10	0	5	5	5	0
243	800	244	0	5,96	0	5	25	10	35	15	0	0	5	5	0	0	0	0	0
244	0	244	200	10,25	0	0	10	5	5	10	5	10	5	5	0	15	10	0	20
244	200	244	400	4,79	0	15	25	20	20	5	10	5	0	0	0	0	0	0	0
244	400	244	600	5,19	0	10	25	5	15	15	20	5	5	0	0	0	0	0	0
244	600	244	800	5,59	0	10	15	20	15	25	10	0	0	0	0	0	0	0	5
244	800	245	0	4,08	0	20	35	20	15	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
245	0	245	200	3,62	10	45	30	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
245	200	245	400	5,88	0	5	10	30	25	10	10	0	10	0	0	0	0	0	0
245	400	245	600	4,06	10	20	20	20	10	10	5	0	5	0	0	0	0	0	0
245	600	245	800	4,20	5	20	30	10	15	10	0	5	0	0	5	0	0	0	0
245	800	246	0	3,38	0	50	20	15	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
246	0	246	200	6,62	5	10	10	15	15	30	10	0	0	0	5	0	0	0	0
246	200	246	400	5,00	0	0	5	20	30	20	15	5	5	0	0	0	0	0	0
246	400	246	600	3,32	0	55	20	15	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
246	600	246	800	4,25	5	35	20	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
246	800	247	0	4,36	0	10	20	45	0	5	15	5	0	0	0	0	0	0	0
247	0	247	200	4,70	0	10	25	30	15	15	0	5	0	0	0	0	0	0	0
247	200	247	400	6,72	10	30	15	20	0	5	0	0	5	0	5	0	0	0	10
247	400	247	600	4,90	0	20	10	15	15	0	0	10	25	0	0	0	0	0	5
247	600	247	800	4,39	0	15	40	35	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
247	800	248	0	5,78	0	0	20	10	35	20	0	0	10	0	0	5	0	0	0
248	0	248	200	4,11	0	5	40	25	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
248	200	248	400	5,37	0	10	40	25	10	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0
248	400	248	600	5,56	0	0	20	5	15	25	10	15	5	0	0	5	0	0	0
248	600	248	800	5,39	0	15	25	25	20	0	5	10	0	0	0	0	0	0	0
248	800	249	0	6,67	0	0	10	20	30	5	5	20	10	0	0	0	0	0	0
249	0	249	200	5,47	0	10	15	15	10	10	15	5	10	5	0	5	0	0	0
249	200	249	400	8,84	0	5	15	25	10	10	10	0	10	5	5	0	0	0	5
249	400	249	600	5,15	0	0	15	15	25	20	0	5	5	5	0	5	0	0	5

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
249	600	249	800	4,27	0	5	35	35	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
249	800	250	0	4,38	5	35	10	25	15	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0	250	200	4,92	0	10	15	40	15	5	5	10	0	0	0	0	0	0	0
250	200	250	400	5,80	0	0	15	45	25	0	10	0	0	0	5	0	0	0	0
250	400	250	600	4,93	0	5	20	20	25	15	0	5	10	0	0	0	0	0	0
250	600	250	800	5,56	0	10	30	30	15	10	0	0	0	0	5	0	0	0	0
250	800	251	0	7,57	0	0	0	10	5	30	10	25	5	10	0	5	0	0	0
251	0	251	200	7,46	0	0	0	30	25	5	10	0	0	5	0	0	5	15	5
251	200	251	400	7,40	0	0	10	15	15	30	5	0	10	5	5	5	0	0	0
251	400	251	600	5,66	0	0	5	20	30	15	5	10	5	10	0	0	0	0	0
251	600	251	800	5,65	0	5	15	25	15	30	5	0	5	0	0	0	0	0	0
251	800	252	0	5,57	0	10	35	10	15	5	10	10	0	0	0	0	0	5	0
252	0	252	200	8,06	0	5	5	15	15	25	15	15	0	0	0	5	0	0	0
252	200	252	400	6,77	0	0	0	10	15	20	25	0	10	5	0	0	5	0	10
252	400	252	600	6,29	0	0	10	15	10	20	25	5	10	5	0	0	0	0	0
252	600	252	800	7,14	0	0	15	35	5	15	10	10	0	5	0	5	0	0	0
252	800	253	0	8,12	0	0	0	0	10	25	10	25	15	5	5	5	0	0	0
253	0	253	200	8,26	0	0	5	5	0	25	15	10	15	15	10	0	0	0	0
253	200	253	400	7,88	0	0	5	0	5	25	25	15	5	15	0	0	0	0	5
253	400	253	600	6,18	0	0	5	20	10	10	10	15	15	10	5	0	0	0	0
253	600	253	800	6,04	0	0	20	25	25	10	0	15	0	5	0	0	0	0	0
253	800	254	0	4,75	0	0	10	40	20	15	10	0	5	0	0	0	0	0	0
254	0	254	200	3,89	0	30	50	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
254	200	254	400	6,03	0	0	15	45	15	10	5	5	0	0	5	0	0	0	0
254	400	254	600	6,80	0	0	5	20	15	15	5	0	25	5	0	0	5	5	0
254	600	254	800	6,40	0	5	30	20	15	0	0	10	10	5	5	0	0	0	0
254	800	255	0	7,22	0	5	10	10	15	10	10	20	0	5	0	5	0	5	5
255	0	255	200	5,08	0	15	10	20	25	20	5	5	0	0	0	0	0	0	0
255	200	255	400	6,49	0	0	25	20	25	5	5	10	5	5	0	0	0	0	0
255	400	255	600	6,96	0	5	15	10	0	25	15	0	10	5	0	10	0	0	5
255	600	255	800	7,31	0	0	10	10	10	30	10	15	0	5	0	5	0	5	0
255	800	256	0	6,00	0	0	15	10	20	20	15	15	0	0	5	0	0	0	0
256	0	256	200	7,63	0	0	15	20	10	10	20	0	10	0	5	0	5	0	5
256	200	256	400	5,51	0	15	15	20	5	15	5	15	0	5	0	0	0	0	5
256	400	256	600	6,32	0	5	10	45	5	10	10	10	0	0	5	0	0	0	0
256	600	256	800	7,05	0	0	0	5	35	20	15	0	10	10	0	0	5	0	0
256	800	257	0	7,77	0	15	5	20	5	15	0	0	20	0	0	10	0	5	5
257	0	257	200	6,68	0	0	25	5	15	10	15	10	5	5	5	0	0	5	0
257	200	257	400	7,02	0	0	0	20	20	20	10	0	5	10	10	0	5	0	0
257	400	257	600	5,75	0	0	15	25	25	15	10	5	5	0	0	0	0	0	0
257	600	257	800	9,04	0	0	0	20	15	20	25	0	0	10	5	0	0	0	5

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
257	800	258	0	11,69	0	0	0	5	5	15	5	15	0	5	5	0	5	10	30
258	0	258	200	8,29	0	0	5	5	10	10	10	20	15	15	5	5	0	0	0
258	200	258	400	11,49	0	0	0	0	0	5	25	5	15	15	0	0	10	0	25
258	400	258	600	10,49	0	0	0	5	10	20	15	5	0	5	15	5	5	0	15
258	600	258	800	6,63	0	5	5	25	15	35	0	5	5	0	5	0	0	0	0
258	800	259	0	8,93	0	0	5	5	5	10	0	10	25	10	10	0	0	0	20
259	0	259	200	4,60	0	15	20	20	20	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0
259	200	259	400	11,29	0	5	15	10	5	5	5	10	15	5	0	5	0	5	15
259	400	259	600	15,47	0	0	0	0	0	0	5	10	5	10	0	20	10	20	20
259	600	259	800	11,27	0	0	0	0	0	10	5	10	0	10	5	5	10	0	45
259	800	260	0	10,49	0	0	10	10	10	10	5	10	10	5	0	10	0	10	10
260	0	260	200	11,35	0	0	0	5	5	5	20	10	20	10	0	0	0	5	20
260	200	260	400	11,09	0	0	5	0	0	15	5	5	5	0	15	15	10	5	20
260	400	260	600	9,03	0	0	0	0	20	15	10	10	15	5	10	0	10	0	5
260	600	260	800	5,59	0	0	10	25	20	15	10	0	15	0	5	0	0	0	0
260	800	261	0	8,81	0	0	10	15	25	10	15	5	5	0	5	5	0	0	5
261	0	261	200	8,17	0	0	5	0	5	15	10	30	10	5	5	10	0	0	5
261	200	261	400	10,07	0	0	5	15	0	5	10	10	10	30	0	0	5	0	10
261	400	261	600	10,91	0	0	0	0	5	5	10	10	5	15	10	10	5	10	15
261	600	261	800	10,14	0	0	0	5	10	0	10	25	5	5	25	5	0	5	5
261	800	262	0	9,36	0	0	0	0	0	5	5	20	25	10	10	10	0	15	0
262	0	262	200	7,62	0	0	0	0	25	30	10	15	10	5	5	0	0	0	0
262	200	262	400	7,57	0	0	0	0	10	5	30	30	25	0	0	0	0	0	0
262	400	262	600	8,54	0	0	0	10	20	20	15	0	5	0	10	5	0	5	10
262	600	262	800	8,75	0	0	5	0	5	10	20	20	15	10	0	5	5	5	0
262	800	263	0	8,30	0	0	0	15	30	15	0	15	5	15	0	5	0	0	0
263	0	263	200	11,67	0	0	0	0	5	5	10	5	20	20	5	10	0	5	15
263	200	263	400	11,34	0	0	0	0	10	5	15	5	10	0	10	0	10	10	25
263	400	263	600	9,35	0	0	0	0	0	10	5	25	15	0	20	15	5	0	5
263	600	263	800	10,23	0	0	5	10	5	20	10	10	10	10	0	15	0	0	5
263	800	264	0	8,24	0	0	0	10	15	15	10	0	10	15	5	5	0	5	10
264	0	264	200	8,40	0	0	5	0	10	20	15	20	10	15	0	0	5	0	0
264	200	264	400	6,79	0	5	5	0	20	10	10	20	15	5	5	5	0	0	0
264	400	264	600	7,60	0	0	10	5	15	25	5	15	0	10	0	0	10	0	5
264	600	264	800	7,12	0	5	5	15	20	25	20	10	0	0	0	0	0	0	0
264	800	265	0	6,66	0	0	5	20	15	20	5	15	5	5	0	5	0	5	0
265	0	265	200	9,03	0	0	0	5	15	10	35	10	10	0	10	5	0	0	0
265	200	265	400	8,73	0	5	0	0	10	15	0	5	15	20	15	0	0	5	10
265	400	265	600	10,19	0	0	0	0	20	10	20	10	5	0	0	15	5	5	10
265	600	265	800	9,52	0	0	10	0	10	10	10	5	0	25	5	10	0	0	15
265	800	266	0	7,29	0	0	5	5	15	10	5	40	5	10	5	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
266	0	266	200	6,80	0	0	10	35	10	5	10	20	5	0	0	0	5	0	0
266	200	266	400	6,80	0	0	0	25	15	20	0	25	0	10	5	0	0	0	0
266	400	266	600	5,30	0	0	15	30	20	20	10	0	5	0	0	0	0	0	0
266	600	266	800	5,50	0	5	10	25	20	15	5	20	0	0	0	0	0	0	0
266	800	267	0	7,31	0	0	10	10	5	25	30	5	5	10	0	0	0	0	0
267	0	267	200	6,05	0	0	5	15	15	35	15	10	0	5	0	0	0	0	0
267	200	267	400	6,98	0	0	15	30	10	20	15	10	0	0	0	0	0	0	0
267	400	267	600	6,50	0	0	5	5	25	30	20	5	0	0	5	0	0	5	0
267	600	267	800	6,94	0	5	0	10	25	20	20	15	0	0	0	5	0	0	0
267	800	268	0	7,74	0	0	5	20	20	10	0	15	15	10	0	0	5	0	0
268	0	268	200	8,52	0	0	0	5	15	5	15	15	5	20	10	0	5	5	0
268	200	268	400	6,67	0	0	20	10	10	20	10	5	5	0	5	5	0	0	10
268	400	268	600	7,98	0	0	0	15	20	10	10	10	20	5	5	5	0	0	0
268	600	268	800	5,41	0	0	20	10	30	15	10	0	5	0	5	0	0	0	5
268	800	269	0	4,23	0	20	35	10	20	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0
269	0	269	200	4,83	0	30	40	15	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
269	200	269	400	5,86	0	10	5	10	15	20	15	0	15	0	5	0	5	0	0
269	400	269	600	6,46	5	10	15	30	0	5	25	0	10	0	0	0	0	0	0
269	600	269	800	6,98	0	10	15	25	10	10	5	5	0	10	5	5	0	0	0
269	800	270	0	9,97	5	0	10	15	15	5	0	5	5	15	0	0	10	5	10
270	0	270	200	12,26	0	0	0	0	5	5	10	5	15	0	5	15	0	5	35
270	200	270	400	9,50	0	0	5	0	5	10	10	15	10	10	5	5	10	5	10
270	400	270	600	13,27	0	0	0	0	15	5	10	5	20	10	0	0	10	0	25
270	600	270	800	7,79	0	0	10	15	15	15	0	20	5	0	10	5	5	0	0
270	800	271	0	6,85	0	0	0	5	20	25	5	30	5	5	0	0	0	0	5
271	0	271	200	7,67	0	0	10	10	10	25	5	10	15	5	5	0	5	0	0
271	200	271	400	8,31	0	0	5	10	5	15	35	10	5	5	0	10	0	0	0
271	400	271	600	7,47	0	0	5	5	5	25	15	15	15	10	0	0	0	0	5
271	600	271	800	7,71	0	0	0	10	20	10	10	15	15	10	5	0	0	5	0
271	800	272	0	6,95	0	0	15	5	30	15	10	10	5	0	5	5	0	0	0
272	0	272	200	6,73	0	0	5	30	10	5	10	20	10	0	0	0	5	5	0
272	200	272	400	8,00	0	0	0	25	20	5	30	10	10	0	0	0	0	0	0
272	400	272	600	9,12	0	0	0	0	0	20	15	15	15	5	10	0	5	0	15
272	600	272	800	8,30	0	0	0	0	25	25	15	15	5	10	0	0	0	0	5
272	800	273	0	7,46	0	0	0	5	10	5	35	15	10	5	0	10	5	0	0
273	0	273	200	6,64	0	0	0	20	25	20	10	15	5	0	0	0	5	0	0
273	200	273	400	6,75	0	0	15	30	30	10	0	10	0	0	5	0	0	0	0
273	400	273	600	9,90	0	0	0	0	10	5	5	25	20	10	10	0	10	5	0
273	600	273	800	8,16	0	0	0	0	15	10	15	15	20	15	0	10	0	0	0
273	800	274	0	7,09	0	0	5	15	10	15	20	15	10	0	5	0	0	5	0
274	0	274	200	9,23	0	0	5	5	25	5	5	20	5	0	0	5	5	5	15

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
274	200	274	400	6,38	0	0	0	15	25	15	10	20	10	0	0	0	0	0	5
274	400	274	600	7,46	0	0	30	15	15	0	5	0	0	25	10	0	0	0	0
274	600	274	800	5,84	0	0	5	10	25	20	20	15	5	0	0	0	0	0	0
274	800	275	0	7,34	0	5	25	20	10	5	15	5	10	5	0	0	0	0	0
275	0	275	200	4,52	0	15	10	15	20	0	20	0	5	5	5	0	5	0	0
275	200	275	400	5,28	0	10	15	20	10	25	10	5	5	0	0	0	0	0	0
275	400	275	600	3,76	5	25	35	30	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
275	600	275	800	4,44	5	5	35	30	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
275	800	276	0	3,43	5	30	20	25	10	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
276	0	276	200	5,08	15	20	40	10	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
276	200	276	400	4,43	0	10	25	15	5	30	0	5	0	5	5	0	0	0	0
276	400	276	600	3,15	5	30	30	20	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
276	600	276	800	4,79	10	15	30	15	10	10	5	0	5	0	0	0	0	0	0
276	800	277	0	3,63	0	15	45	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
277	0	277	200	3,22	10	30	25	20	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
277	200	277	400	3,49	5	55	30	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
277	400	277	600	4,93	5	35	15	20	5	5	10	0	5	0	0	0	0	0	0
277	600	277	800	3,55	5	10	25	30	5	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0
277	800	278	0	4,40	0	30	30	25	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
278	0	278	200	4,86	0	30	35	15	10	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
278	200	278	400	3,98	0	15	15	15	20	15	5	10	0	0	0	5	0	0	0
278	400	278	600	4,11	0	25	45	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
278	600	278	800	3,71	0	15	35	30	15	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
278	800	279	0	4,86	0	30	25	10	10	5	0	10	5	5	0	0	0	0	0
279	0	279	200	5,18	0	20	30	35	5	0	5	0	0	5	0	0	0	0	0
279	200	279	400	5,60	0	0	20	10	55	5	0	5	5	0	0	0	0	0	0
279	400	279	600	4,26	0	15	0	20	25	10	30	0	0	0	0	0	0	0	0
279	600	279	800	4,54	5	25	45	15	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
279	800	280	0	4,71	0	5	20	40	20	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0
280	0	280	200	4,90	0	5	15	45	20	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0
280	200	280	400	6,57	5	5	10	25	15	10	15	5	5	5	0	0	0	0	0
280	400	280	600	9,74	0	0	5	15	15	10	0	20	5	5	0	0	10	0	15
280	600	280	800	9,17	0	0	0	5	0	15	15	25	5	10	5	15	0	5	0
280	800	281	0	12,06	0	0	0	5	5	10	15	15	10	20	5	5	0	5	5
281	0	281	200	9,38	0	0	0	5	10	10	10	15	5	10	0	5	5	0	25
281	200	281	400	6,96	0	5	0	15	15	10	20	5	5	10	5	0	5	0	5
281	400	281	600	6,11	0	0	15	30	10	5	15	20	5	0	0	0	0	0	0
281	600	281	800	7,52	0	0	15	5	15	10	20	5	5	5	5	5	0	5	5
281	800	282	0	8,98	0	5	5	5	10	10	20	25	5	5	5	0	0	0	5
282	0	282	200	6,67	0	0	10	5	10	10	20	10	10	5	0	10	5	5	0
282	200	282	400	7,49	0	5	10	20	20	15	5	5	10	5	0	0	0	0	5

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
282	400	282	600	6,38	0	0	15	20	25	10	0	10	5	5	0	0	5	0	5
282	600	282	800	7,92	0	0	5	0	30	25	15	15	5	0	0	0	0	0	5
282	800	283	0	6,89	0	0	0	5	25	25	10	5	15	10	5	0	0	0	0
283	0	283	200	4,46	0	5	20	15	10	20	15	5	0	10	0	0	0	0	0
283	200	283	400	6,84	0	20	20	10	10	20	15	0	5	0	0	0	0	0	0
283	400	283	600	9,12	0	0	5	5	10	15	5	25	5	15	5	0	5	5	0
283	600	283	800	6,67	0	5	10	0	10	10	25	10	10	0	10	10	0	0	0
283	800	284	0	7,82	0	5	5	30	0	0	10	15	15	5	15	0	0	0	0
284	0	284	200	6,98	0	0	5	10	25	10	30	5	5	5	5	0	0	0	0
284	200	284	400	6,92	0	0	5	15	20	35	5	0	15	0	5	0	0	0	0
284	400	284	600	7,32	0	0	0	10	15	20	10	0	15	10	10	0	5	5	0
284	600	284	800	6,76	0	5	0	15	30	20	10	5	10	0	5	0	0	0	0
284	800	285	0	9,12	0	0	5	5	10	15	10	5	5	15	15	10	0	0	5
285	0	285	200	7,70	0	0	0	5	35	25	5	15	5	0	0	5	5	0	0
285	200	285	400	6,31	0	0	5	5	10	20	20	25	5	5	0	0	0	0	5
285	400	285	600	7,14	0	0	0	25	25	25	10	10	0	0	5	0	0	0	0
285	600	285	800	6,05	0	0	5	5	20	20	30	10	5	0	0	5	0	0	0
285	800	286	0	5,34	5	0	20	15	15	15	15	10	0	0	5	0	0	0	0
286	0	286	200	7,68	0	0	15	20	30	15	0	15	5	0	0	0	0	0	0
286	200	286	400	8,80	0	0	0	0	15	5	10	10	20	25	10	5	0	0	0
286	400	286	600	7,52	0	0	5	5	0	30	15	10	15	0	5	10	0	5	0
286	600	286	800	7,30	0	0	5	15	40	10	5	5	20	0	0	0	0	0	0
286	800	287	0	7,11	0	0	5	0	15	30	15	10	5	5	0	10	0	0	5
287	0	287	200	7,88	0	0	10	5	20	15	5	10	5	10	10	5	0	0	5
287	200	287	400	5,85	0	0	5	10	15	35	10	10	10	5	0	0	0	0	0
287	400	287	600	5,85	0	0	10	20	40	15	5	5	5	0	0	0	0	0	0
287	600	287	800	5,33	0	0	25	35	20	5	10	5	0	0	0	0	0	0	0
287	800	288	0	8,15	0	0	10	10	30	25	5	15	0	0	0	5	0	0	0
288	0	288	200	6,12	0	0	5	25	20	15	10	0	0	10	5	0	0	0	10
288	200	288	400	7,94	0	5	0	15	15	20	20	10	5	0	5	0	5	0	0
288	400	288	600	7,50	0	0	0	5	20	25	10	5	10	15	0	0	5	5	0
288	600	288	800	6,10	0	0	20	5	15	40	5	10	5	0	0	0	0	0	0
288	800	289	0	8,96	0	5	0	20	5	5	0	10	0	35	0	5	5	0	10
289	0	289	200	5,41	0	0	0	20	30	40	0	10	0	0	0	0	0	0	0
289	200	289	400	6,74	0	0	15	30	25	10	5	5	5	0	0	5	0	0	0
289	400	289	600	8,86	0	0	5	5	10	10	35	10	0	15	5	0	5	0	0
289	600	289	800	4,73	0	0	20	20	5	20	5	15	10	0	0	0	0	0	5
289	800	290	0	4,09	0	20	20	25	25	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
290	0	290	200	4,77	0	10	30	45	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
290	200	290	400	8,62	5	10	10	20	10	10	5	0	5	10	0	0	10	0	5
290	400	290	600	10,42	0	0	0	0	5	15	35	5	15	0	15	0	5	0	5

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
290	600	290	800	9,05	0	0	0	0	20	15	15	5	5	10	0	0	10	5	15
290	800	291	0	12,23	0	0	0	5	5	10	5	10	5	10	20	15	5	0	10
291	0	291	200	9,12	0	0	0	0	15	10	10	0	10	5	10	10	0	5	25
291	200	291	400	12,40	0	0	0	5	5	10	20	10	5	5	15	0	5	0	20
291	400	291	600	11,04	0	0	0	0	15	0	10	15	5	0	5	25	15	10	0
291	600	291	800	7,08	0	5	5	5	15	10	10	15	15	5	0	0	0	0	15
291	800	292	0	9,97	0	0	0	5	5	45	10	5	0	10	5	15	0	0	0
292	0	292	200	10,18	0	0	0	10	0	20	10	0	5	20	20	0	10	0	5
292	200	292	400	7,00	0	0	0	10	15	0	10	15	0	15	5	20	5	5	0
292	400	292	600	7,10	0	5	5	15	20	25	20	5	0	0	0	0	0	0	5
292	600	292	800	8,87	0	0	10	5	10	15	15	5	25	0	10	5	0	0	0
292	800	293	0	8,65	0	0	0	5	10	10	15	15	15	5	5	0	10	5	5
293	0	293	200	10,57	0	0	0	0	10	20	5	15	5	10	5	15	5	0	10
293	200	293	400	11,10	0	0	0	0	0	0	5	20	20	15	15	5	0	10	10
293	400	293	600	12,82	0	0	0	0	0	0	0	5	25	15	15	15	0	10	15
293	600	293	800	7,38	0	0	0	10	15	5	15	5	5	5	15	10	0	5	10
293	800	294	0	6,99	0	0	0	15	5	25	10	25	5	5	5	0	5	0	0
294	0	294	200	6,70	0	0	10	15	30	15	5	20	5	0	0	0	0	0	0
294	200	294	400	6,89	0	0	0	0	10	30	30	10	20	0	0	0	0	0	0
294	400	294	600	7,11	0	0	10	25	20	15	5	15	0	5	0	5	0	0	0
294	600	294	800	5,51	0	0	5	15	10	40	10	0	5	5	0	5	0	5	0
294	800	295	0	7,95	0	15	5	10	25	10	25	5	5	0	0	0	0	0	0
295	0	295	200	6,42	0	5	0	25	10	15	25	0	5	5	0	5	0	0	5
295	200	295	400	6,79	0	0	5	0	25	15	10	30	5	0	5	5	0	0	0
295	400	295	600	6,70	0	0	15	10	5	15	25	20	10	0	0	0	0	0	0
295	600	295	800	7,42	0	0	15	15	40	15	5	0	10	0	0	0	0	0	0
295	800	296	0	7,51	0	0	0	10	5	30	20	10	5	5	0	10	0	5	0
296	0	296	200	8,29	0	0	0	5	15	10	15	5	20	15	5	5	5	0	0
296	200	296	400	4,96	0	0	10	10	15	25	15	15	0	10	0	0	0	0	0
296	400	296	600	6,86	0	25	15	35	15	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
296	600	296	800	7,50	0	0	10	0	5	15	5	10	10	10	10	15	5	5	0
296	800	297	0	5,91	0	0	10	20	15	30	10	5	0	10	0	0	0	0	0
297	0	297	200	5,82	0	0	5	45	15	10	5	20	0	0	0	0	0	0	0
297	200	297	400	7,40	0	5	15	5	5	25	30	10	5	0	0	0	0	0	0
297	400	297	600	4,48	0	0	15	25	10	20	5	10	0	10	5	0	0	0	0
297	600	297	800	7,33	0	15	10	30	10	5	0	0	20	5	5	0	0	0	0
297	800	298	0	5,43	0	0	10	25	25	20	0	10	0	10	0	0	0	0	0
298	0	298	200	7,85	0	5	5	20	10	25	5	10	10	0	0	0	5	0	5
298	200	298	400	5,54	0	5	25	15	5	10	10	15	5	0	5	5	0	0	0
298	400	298	600	5,36	0	0	20	15	15	20	25	5	0	0	0	0	0	0	0
298	600	298	800	4,90	0	0	10	55	15	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
298	800	299	0	4,07	0	30	15	15	15	20	0	5	0	0	0	0	0	0	0
299	0	299	200	4,19	0	10	60	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
299	200	299	400	6,63	5	5	35	5	15	10	20	5	0	0	0	0	0	0	0
299	400	299	600	7,33	0	0	0	10	25	15	25	10	0	5	0	10	0	0	0
299	600	299	800	5,29	0	0	10	10	15	30	20	5	5	0	0	0	5	0	0
299	800	300	0	4,85	0	10	15	40	5	15	10	0	5	0	0	0	0	0	0
300	0	300	200	7,26	0	5	30	15	15	20	10	0	0	5	0	0	0	0	0
300	200	300	400	5,60	0	5	5	20	15	20	5	10	0	10	0	0	5	5	0
300	400	300	600	6,02	0	0	10	10	20	30	5	10	5	10	0	0	0	0	0
300	600	300	800	3,72	5	35	20	20	5	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0
300	800	301	0	5,60	0	20	30	35	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
301	0	301	200	6,25	0	0	5	20	30	5	20	10	10	0	0	0	0	0	0
301	200	301	400	6,42	0	0	10	20	30	15	20	5	0	0	0	0	0	0	0
301	400	301	600	6,98	0	0	0	10	20	5	5	10	20	10	15	5	0	0	0
301	600	301	800	5,93	0	0	20	30	20	15	10	0	0	5	0	0	0	0	0
301	800	302	0	7,02	0	0	15	30	15	10	5	5	10	5	0	0	0	0	5
302	0	302	200	6,29	0	0	5	0	25	25	20	10	5	5	5	0	0	0	0
302	200	302	400	5,73	0	0	0	40	15	35	5	0	0	0	0	5	0	0	0
302	400	302	600	6,24	0	10	10	20	20	15	10	15	0	0	0	0	0	0	0
302	600	302	800	9,55	0	0	0	25	15	20	15	5	10	5	0	5	0	0	0
302	800	303	0	7,90	0	0	5	5	10	0	10	15	20	5	5	10	0	0	15
303	0	303	200	6,37	0	0	5	20	0	15	20	20	15	0	0	5	0	0	0
303	200	303	400	8,20	0	0	15	15	5	25	20	0	10	0	0	5	5	0	0
303	400	303	600	5,94	0	0	5	20	20	5	10	15	0	5	0	15	0	5	0
303	600	303	800	5,84	0	15	5	30	20	20	0	0	0	0	5	5	0	0	0
303	800	304	0	4,29	0	0	15	20	20	30	5	5	5	0	0	0	0	0	0
304	0	304	200	3,55	5	35	25	15	15	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
304	200	304	400	5,03	0	20	25	25	15	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0
304	400	304	600	4,25	5	0	40	20	20	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0
304	600	304	800	6,45	0	15	20	25	20	5	0	5	0	5	5	0	0	0	0
304	800	305	0	9,00	0	0	0	0	35	25	25	10	0	5	0	0	0	0	0
305	0	305	200	6,68	0	0	0	10	10	5	15	10	10	10	15	10	5	0	0
305	200	305	400	6,92	0	0	5	5	20	20	15	25	10	0	0	0	0	0	0
305	400	305	600	7,05	0	0	0	20	30	25	10	5	10	0	0	0	0	0	0
305	600	305	800	5,95	0	0	5	0	15	25	10	25	0	10	5	5	0	0	0
305	800	306	0	5,01	0	5	15	30	35	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0
306	0	306	200	5,63	0	5	5	25	15	20	30	0	0	0	0	0	0	0	0
306	200	306	400	5,41	0	0	25	10	35	15	5	10	0	0	0	0	0	0	0
306	400	306	600	5,64	0	0	25	35	10	25	5	0	0	0	0	0	0	0	0
306	600	306	800	6,39	0	0	25	30	15	5	5	10	10	0	0	0	0	0	0
306	800	307	0	5,08	0	10	20	5	20	0	5	30	5	5	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
307	0	307	200	5,22	0	10	15	20	10	20	15	0	5	5	0	0	0	0	0
307	200	307	400	5,56	0	10	15	15	20	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0
307	400	307	600	6,27	5	5	0	35	15	15	5	10	0	10	0	0	0	0	0
307	600	307	800	6,24	0	0	25	15	10	15	10	5	0	10	5	5	0	0	0
307	800	308	0	5,51	0	5	20	0	45	20	5	0	5	0	0	0	0	0	0
308	0	308	200	6,52	0	0	15	20	10	20	5	15	5	5	5	0	0	0	0
308	200	308	400	7,91	0	10	10	10	30	15	0	10	5	0	0	5	5	0	0
308	400	308	600	5,47	0	0	5	5	15	25	15	10	15	0	0	0	0	5	5
308	600	308	800	4,08	0	10	20	50	5	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0
308	800	309	0	5,05	0	15	40	20	10	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0
309	0	309	200	6,91	0	0	20	10	30	25	10	5	0	0	0	0	0	0	0
309	200	309	400	7,27	0	0	10	15	5	30	0	10	15	10	0	5	0	0	0
309	400	309	600	5,93	0	0	10	15	20	10	10	10	10	0	0	0	15	0	0
309	600	309	800	6,10	0	5	10	40	5	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0
309	800	310	0	6,02	0	0	10	20	20	15	30	0	0	0	5	0	0	0	0
310	0	310	200	5,80	0	5	5	15	15	25	5	10	10	5	0	5	0	0	0
310	200	310	400	5,55	0	15	20	15	20	20	0	0	5	5	0	0	0	0	0
310	400	310	600	5,50	0	5	30	25	10	15	10	0	5	0	0	0	0	0	0
310	600	310	800	5,29	0	0	35	20	10	20	5	0	5	0	0	5	0	0	0
310	800	311	0	5,56	0	10	15	35	10	5	5	10	0	5	0	0	0	5	0
311	0	311	200	5,29	0	5	10	20	10	20	15	10	0	10	0	0	0	0	0
311	200	311	400	7,52	0	25	10	20	10	20	0	5	5	0	0	0	0	0	5
311	400	311	600	5,22	0	15	10	20	10	15	15	0	0	5	0	0	5	0	5
311	600	311	800	5,65	0	5	5	25	20	15	5	20	0	5	0	0	0	0	0
311	800	312	0	6,63	5	10	10	20	15	15	10	5	10	0	0	0	0	0	0
312	0	312	200	7,29	0	0	0	20	5	5	25	5	5	5	20	0	0	0	10
312	200	312	400	7,15	0	5	20	25	5	35	0	5	5	0	0	0	0	0	0
312	400	312	600	5,49	0	15	5	10	5	25	10	10	5	0	5	0	5	5	0
312	600	312	800	4,20	5	0	25	25	20	10	10	5	0	0	0	0	0	0	0
312	800	313	0	6,74	0	15	30	25	10	5	5	10	0	0	0	0	0	0	0
313	0	313	200	6,44	0	0	0	15	25	15	10	10	10	0	15	0	0	0	0
313	200	313	400	5,43	0	0	25	15	15	20	15	0	5	5	0	0	0	0	0
313	400	313	600	4,92	0	0	10	45	10	5	10	10	0	5	0	5	0	0	0
313	600	313	800	5,25	0	35	45	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
313	800	314	0	5,72	0	5	10	25	20	20	0	0	5	10	5	0	0	0	0
314	0	314	200	4,86	0	5	15	15	20	20	10	5	5	5	0	0	0	0	0
314	200	314	400	4,17	0	10	55	15	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
314	400	314	600	5,03	0	20	30	5	25	10	5	0	0	5	0	0	0	0	0
314	600	314	800	4,10	0	20	35	20	0	5	10	10	0	0	0	0	0	0	0
314	800	315	0	4,73	0	10	25	25	30	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
315	0	315	200	4,56	0	20	20	15	10	25	0	10	0	0	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
315	200	315	400	5,85	0	0	35	40	10	0	5	10	0	0	0	0	0	0	0
315	400	315	600	4,33	0	5	15	25	15	30	0	5	0	0	5	0	0	0	0
315	600	315	800	4,66	0	25	30	25	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
315	800	316	0	4,61	0	0	5	30	40	5	15	5	0	0	0	0	0	0	0
316	0	316	200	4,81	0	20	45	15	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
316	200	316	400	4,30	0	10	30	35	5	10	5	0	0	5	0	0	0	0	0
316	400	316	600	4,77	0	0	35	35	10	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0
316	600	316	800	3,96	0	5	40	30	15	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
316	800	317	0	5,16	0	20	45	25	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
317	0	317	200	7,67	0	0	5	20	20	30	5	15	0	0	0	0	5	0	0
317	200	317	400	8,28	0	0	0	10	15	0	30	15	10	0	5	10	5	0	0
317	400	317	600	6,39	0	0	5	5	20	10	20	10	10	5	10	0	0	0	5
317	600	317	800	5,36	0	5	20	50	5	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0
317	800	318	0	6,06	0	5	0	25	20	5	15	20	0	10	0	0	0	0	0
318	0	318	200	6,09	0	5	5	25	35	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0
318	200	318	400	5,48	0	0	10	30	25	30	0	0	0	0	0	0	0	5	0
318	400	318	600	5,60	0	0	5	30	15	20	10	15	5	0	0	0	0	0	0
318	600	318	800	6,23	0	10	5	20	30	15	5	0	10	0	5	0	0	0	0
318	800	319	0	5,06	0	0	10	25	35	20	5	0	5	0	0	0	0	0	0
319	0	319	200	5,81	0	5	10	25	35	20	0	5	0	0	0	0	0	0	0
319	200	319	400	5,51	0	0	10	35	15	10	20	10	0	0	0	0	0	0	0
319	400	319	600	4,72	0	10	15	25	20	20	5	0	0	5	0	0	0	0	0
319	600	319	800	5,08	0	20	5	35	15	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
319	800	320	0	4,22	0	0	40	30	5	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0
320	0	320	200	5,44	5	10	20	15	25	10	5	10	0	0	0	0	0	0	0
320	200	320	400	4,41	0	5	15	15	45	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0
320	400	320	600	4,83	0	5	40	30	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
320	600	320	800	5,75	0	10	30	20	15	10	5	10	0	0	0	0	0	0	0
320	800	321	0	5,40	0	5	10	10	30	5	25	5	5	0	0	5	0	0	0
321	0	321	200	5,54	0	15	35	0	25	10	5	5	5	0	0	0	0	0	0
321	200	321	400	4,36	0	5	10	20	35	15	10	0	5	0	0	0	0	0	0
321	400	321	600	6,67	0	15	25	15	35	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
321	600	321	800	9,06	0	0	5	20	15	5	30	15	0	5	0	0	0	0	5
321	800	322	0	6,86	0	0	15	5	10	15	10	10	0	5	10	0	5	5	10
322	0	322	200	5,22	0	10	10	10	10	20	10	5	10	10	0	0	0	0	5
322	200	322	400	4,81	5	15	20	20	25	5	0	10	0	0	0	0	0	0	0
322	400	322	600	4,86	0	0	15	35	25	5	15	5	0	0	0	0	0	0	0
322	600	322	800	4,05	0	25	15	20	30	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0
322	800	323	0	6,27	10	45	20	5	5	0	10	5	0	0	0	0	0	0	0
323	0	323	200	5,61	0	0	10	5	10	15	20	10	5	20	0	5	0	0	0
323	200	323	400	4,74	0	15	10	50	15	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
208	60	208	70	5,06	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	70	208	80	2,99	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	80	208	90	2,81	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	90	208	100	3,18	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	100	208	110	5,33	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	110	208	120	7,93	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
208	120	208	130	10,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
208	130	208	140	4,11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	140	208	150	4,01	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	150	208	160	5,25	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	160	208	170	3,27	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	170	208	180	5,09	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	180	208	190	4,27	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	190	208	200	7,05	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
208	200	208	210	8,19	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
208	210	208	220	4,93	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	220	208	230	9,66	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
208	230	208	240	5,87	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	240	208	250	3,01	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	250	208	260	3,99	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	260	208	270	7,47	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
208	270	208	280	9,42	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
208	280	208	290	3,98	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	290	208	300	5,11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	300	208	310	10,93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
208	310	208	320	5,78	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	320	208	330	11,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
208	330	208	340	7,01	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
208	340	208	350	4,52	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	350	208	360	7,28	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
208	360	208	370	7,69	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
208	370	208	380	5,72	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	380	208	390	7,82	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
208	390	208	400	7,76	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
208	400	208	410	8,32	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
208	410	208	420	5,78	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	420	208	430	5,40	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	430	208	440	6,99	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	440	208	450	7,36	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
208	450	208	460	7,87	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
208	460	208	470	7,91	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
209	290	209	300	5,71	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	300	209	310	6,08	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	310	209	320	6,14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	320	209	330	8,54	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
209	330	209	340	4,94	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	340	209	350	4,74	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	350	209	360	5,39	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	360	209	370	8,60	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
209	370	209	380	7,46	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
209	380	209	390	8,31	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
209	390	209	400	4,35	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	400	209	410	7,76	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
209	410	209	420	5,00	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	420	209	430	6,99	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	430	209	440	6,87	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	440	209	450	5,80	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	450	209	460	5,17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	460	209	470	3,16	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	470	209	480	6,29	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	480	209	490	5,89	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	490	209	500	4,95	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	500	209	510	6,88	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	510	209	520	9,95	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
209	520	209	530	4,99	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	530	209	540	5,67	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	540	209	550	13,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
209	550	209	560	17,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
209	560	209	570	12,37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
209	570	209	580	9,31	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
209	580	209	590	11,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
209	590	209	600	3,26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	600	209	610	2,34	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	610	209	620	3,18	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	620	209	630	6,93	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	630	209	640	9,14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
209	640	209	650	6,29	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	650	209	660	3,94	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	660	209	670	4,24	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	670	209	680	4,53	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	680	209	690	3,35	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
209	690	209	700	7,02	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
210	520	210	530	2,65	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	530	210	540	5,61	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	540	210	550	9,14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
210	550	210	560	4,86	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	560	210	570	5,54	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	570	210	580	3,45	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	580	210	590	6,31	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	590	210	600	3,28	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	600	210	610	5,21	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	610	210	620	3,73	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	620	210	630	4,84	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	630	210	640	5,10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	640	210	650	6,73	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	650	210	660	10,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
210	660	210	670	11,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
210	670	210	680	7,62	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
210	680	210	690	9,27	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
210	690	210	700	3,86	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	700	210	710	4,72	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	710	210	720	3,94	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	720	210	730	7,96	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
210	730	210	740	5,43	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	740	210	750	3,05	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	750	210	760	3,94	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	760	210	770	5,62	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	770	210	780	8,55	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
210	780	210	790	6,13	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	790	210	800	5,19	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	800	210	810	10,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
210	810	210	820	8,61	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
210	820	210	830	4,52	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	830	210	840	7,05	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
210	840	210	850	4,91	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	850	210	860	10,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
210	860	210	870	8,82	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
210	870	210	880	7,98	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
210	880	210	890	5,09	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	890	210	900	8,30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
210	900	210	910	7,56	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
210	910	210	920	4,95	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	920	210	930	7,49	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Продовження таблиці Б.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
211	750	211	760	11,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
211	760	211	770	9,18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
211	770	211	780	8,48	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
211	780	211	790	9,83	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
211	790	211	800	8,94	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
211	800	211	810	4,23	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	810	211	820	5,93	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	820	211	830	3,94	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	830	211	840	4,78	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	840	211	850	5,29	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	850	211	860	3,81	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	860	211	870	13,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
211	870	211	880	10,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
211	880	211	890	17,09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
211	890	211	900	13,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
211	900	211	910	12,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
211	910	211	920	9,30	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
211	920	211	930	19,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
211	930	211	940	7,52	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
211	940	211	950	7,77	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
211	950	211	960	6,22	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	960	211	970	4,77	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	970	211	980	8,30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
211	980	211	990	4,40	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	990	212	0	6,88	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	0	212	10	8,61	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
212	10	212	20	12,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
212	20	212	30	17,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
212	30	212	40	14,56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
212	40	212	50	9,12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
212	50	212	60	10,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
212	60	212	70	4,19	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	70	212	80	6,97	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	80	212	90	4,01	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	90	212	100	6,72	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	100	212	110	5,87	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	110	212	120	4,89	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	120	212	130	4,16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
212	130	212	140	9,34	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
212	140	212	150	16,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
212	150	212	160	11,27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

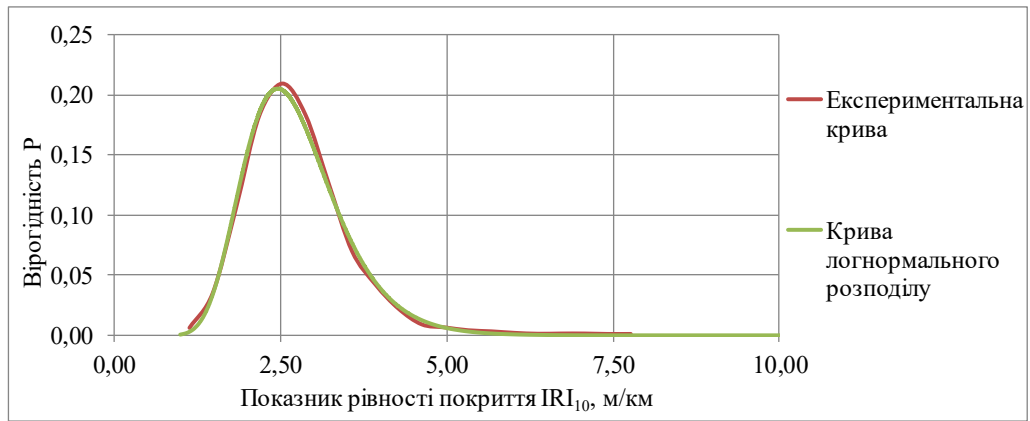


Рисунок Б.1 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 2 м/км до 3 м/км на ділянці автомобільної дороги М-02 (145 км – 252 км)

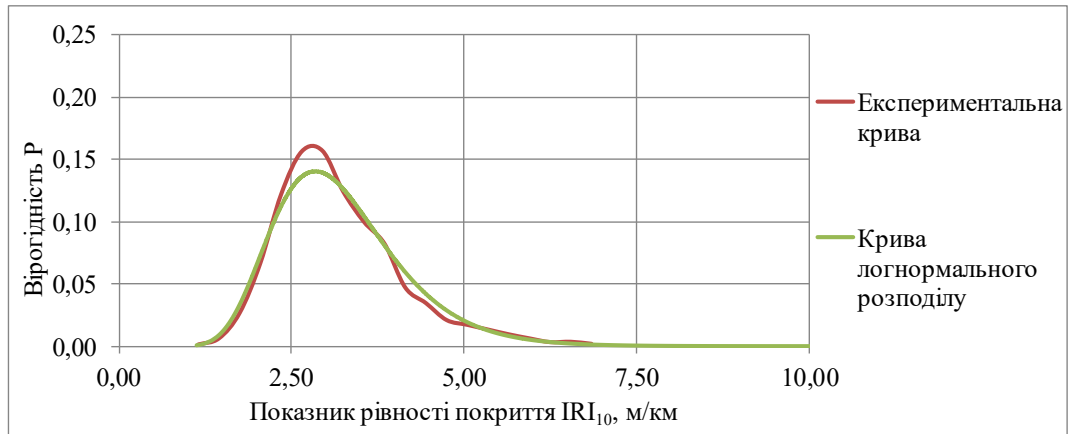


Рисунок Б.2 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 3 м/км до 4 м/км на ділянці автомобільної дороги М-02 (145 км – 252 км)

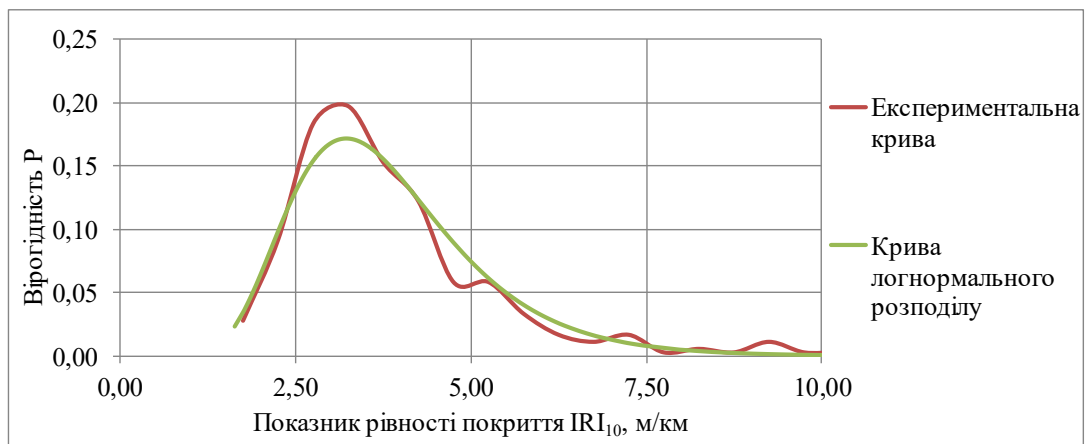


Рисунок Б.3 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 4 м/км до 5 м/км на ділянці автомобільної дороги М-02 (145 км – 252 км)

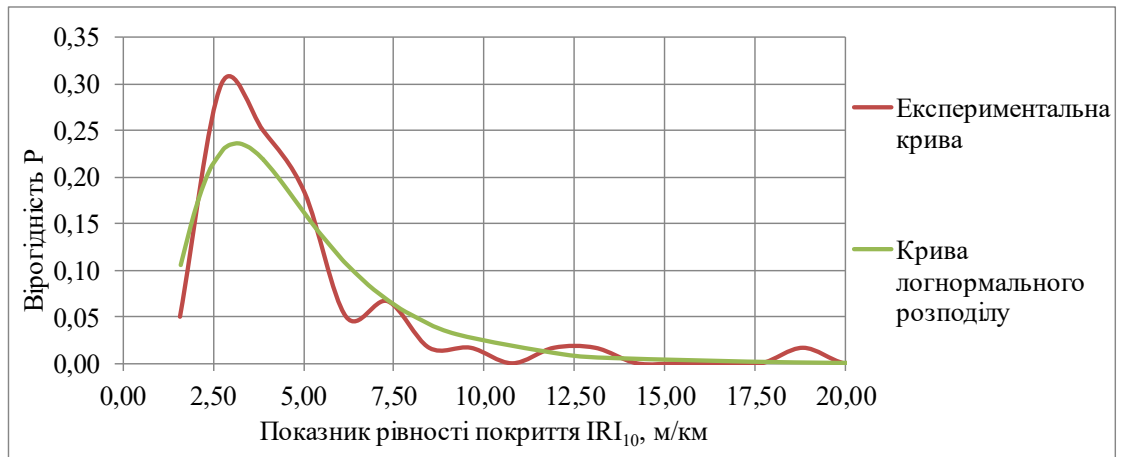


Рисунок Б.4 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 5 м/км до 6 м/км на ділянці автомобільної дороги М-02 (145 км – 252 км)

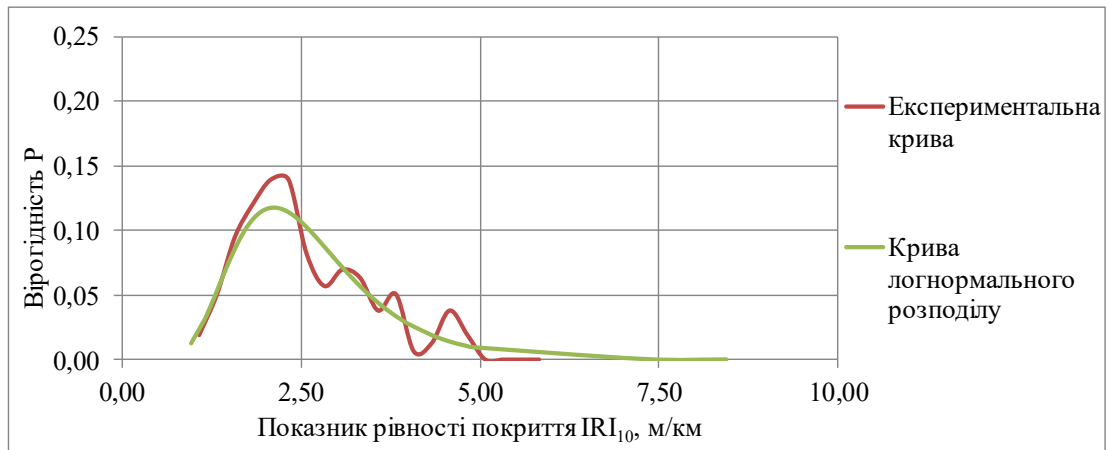


Рисунок Б.5 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 2 м/км до 3 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (208 км – 325 км)

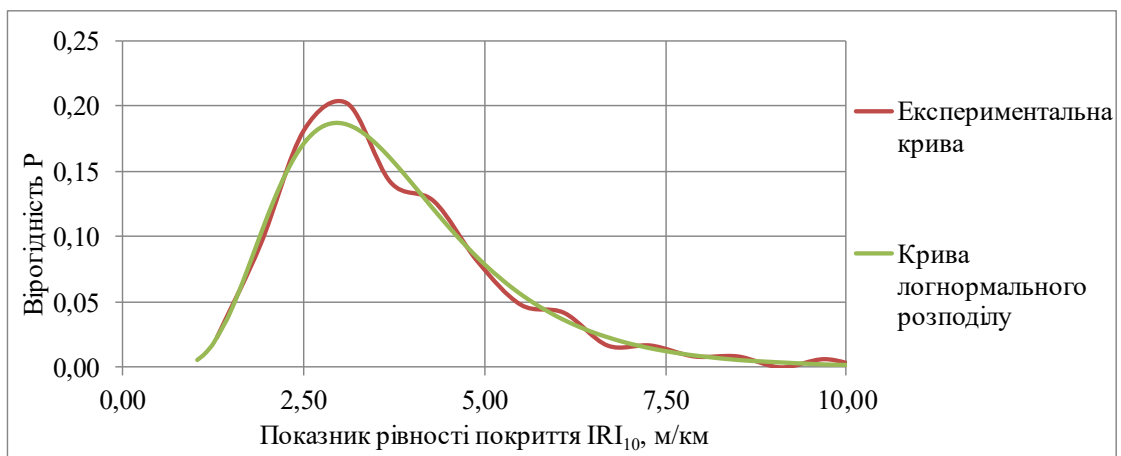


Рисунок Б.6 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 3 м/км до 4 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (208 км – 325 км)

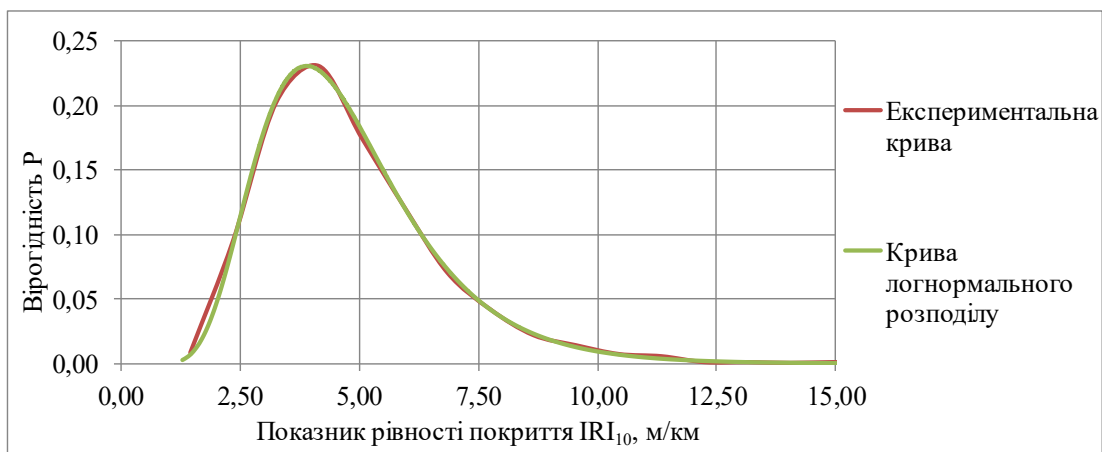


Рисунок Б.7 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 4 м/км до 5 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (208 км – 325 км)

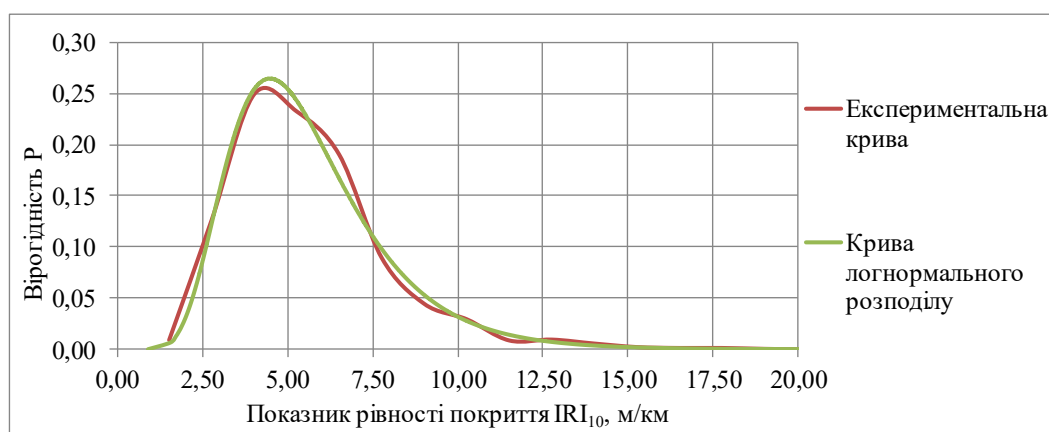


Рисунок Б.8 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 5 м/км до 6 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (208 км – 325 км)

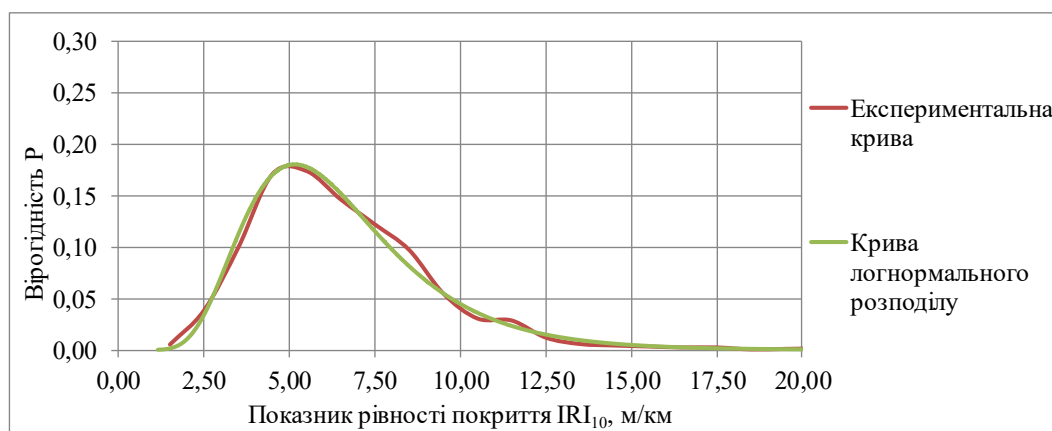


Рисунок Б.9 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 6 м/км до 7 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (145 км – 252 км)

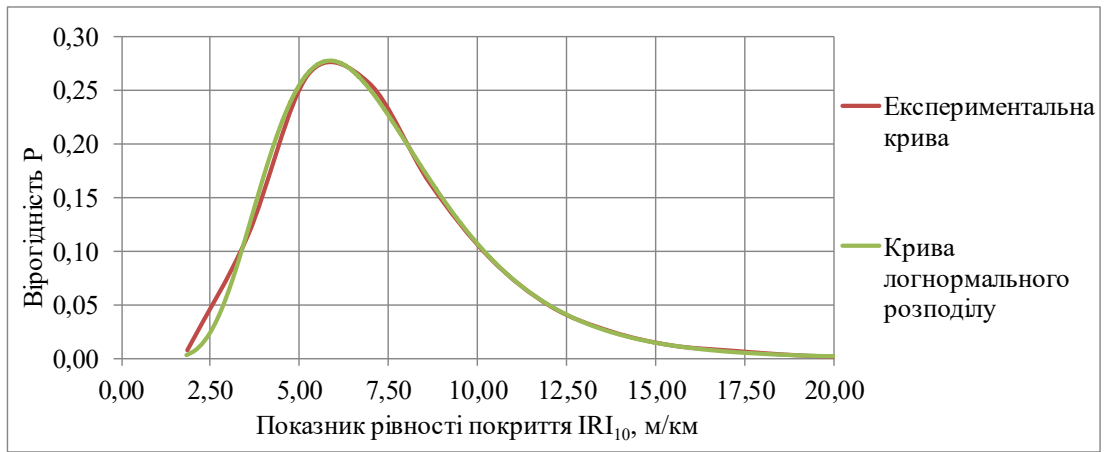


Рисунок Б.10 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 7 м/км до 8 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (208 км – 325 км)

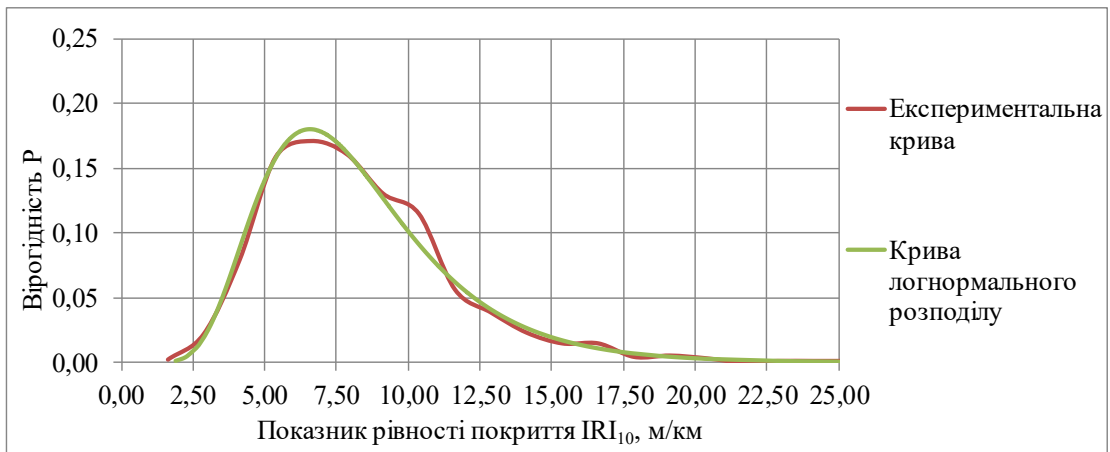


Рисунок Б.11 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 8 м/км до 9 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (208 км – 325 км)

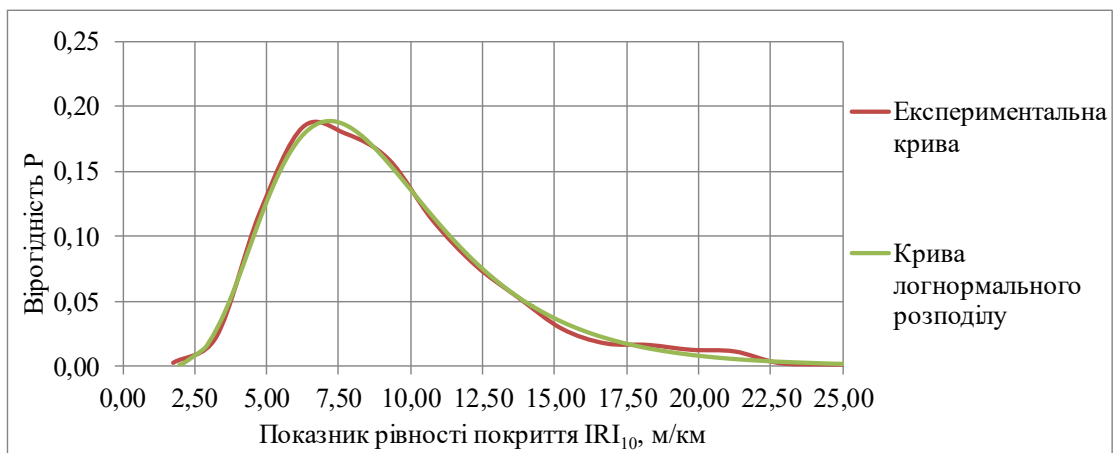


Рисунок Б.12 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 9 м/км до 10 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (208 км – 325 км)

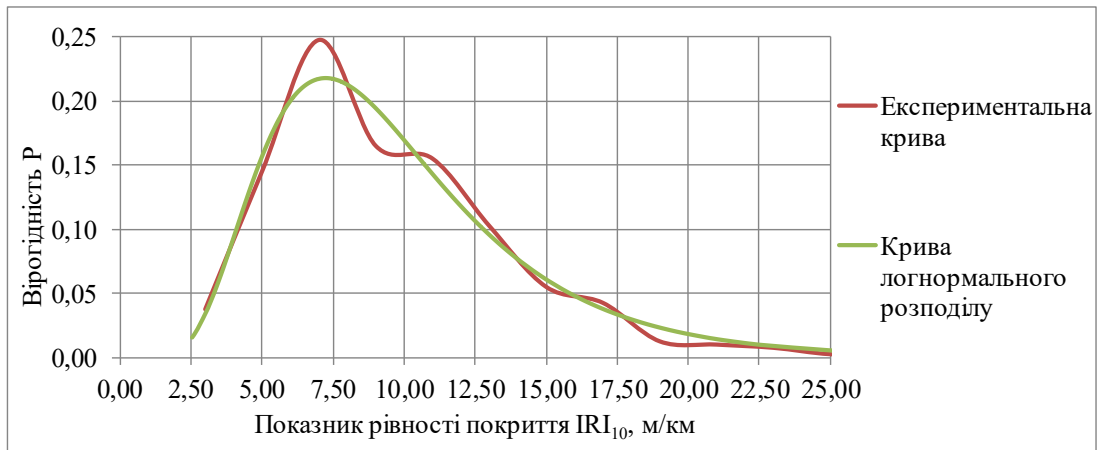


Рисунок Б.13 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 10 м/км до 11 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (208 км – 325 км)

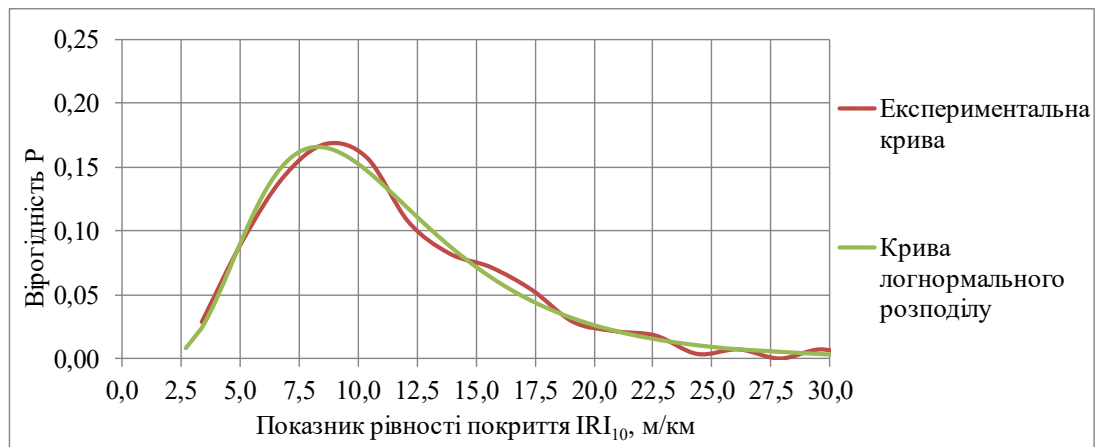


Рисунок Б.14 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 11 м/км до 12 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (145 км – 252 км)

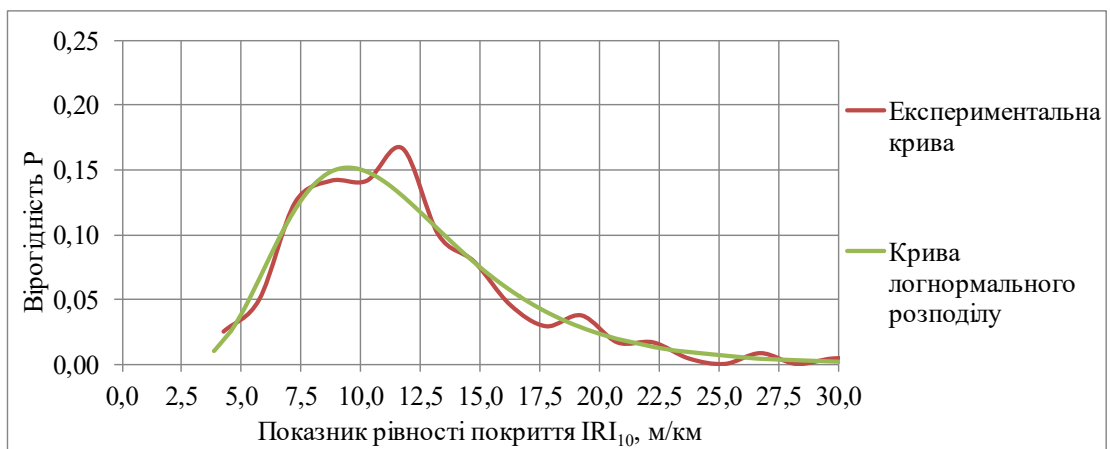


Рисунок Б.15 – Розподіл IRI_{10} на ділянках з IRI_{200} в межах від 12 м/км до 13 м/км на ділянці автомобільної дороги Н-07 (208 км – 325 км)

Таблиця Б.11 – Перелік нерівностей і відповідних коефіцієнтів динамічності на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від км 17+000 до км 17+200 (рік знімання – 2018, $IRI_{200} = 6,30$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
км	м	км	м		Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	000	17	010	3,59	6	2,06	95	1,66
					3	1,42	350	1,18
					2	1,20	-	-
17	010	17	020	5,06	8	3,01	133	1,47
					6	2,04	109	1,57
17	020	17	030	7,62	5	1,31	36	2,75
					2	2,23	-	-
					10	3,05	-	-
					8	3,53	-	-
					6	2,42	-	-
17	030	17	040	3,96	7	1,54	165	1,40
					6	1,64	50	2,25
17	040	17	050	4,79	5	3,52	-	-
					12	3,86	-	-
					4	1,38	-	-
					6	2,99	-	-
17	050	17	060	7,94	2	1,75	125	1,50
					3	2,08	53	3,05
					16	3,73	83	1,75
17	060	17	070	7,25	6	2,87	21	3,96
					-	-	28	3,25
17	070	17	080	3,90	3	1,20	66	1,94
					16	3,02	125	1,50
17	080	17	090	8,42	7	2,42	40	2,57
					-	-	54	2,16
					-	-	50	2,25
17	090	17	100	3,89	2	1,12	55	2,14
					4	1,44	23	3,75
17	100	17	110	3,22	4	1,44	-	-
					3	2,06	-	-
					5	1,77	-	-
					6	3,80	-	-

Кінець таблиці Б.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	110	17	120	11,90	19	4,82	50	2,25
					6	2,04	-	-
					6	3,04	-	-
					3	1,57	-	-
17	120	17	130	13,98	14	4,38	31	3,02
					10	3,52		
					8	3,63	-	-
					11	3,16	-	-
					27	7,62	-	-
17	130	17	140	11,50	5	2,07	80	1,80
					15	3,56	43	2,46
					-	-	28	3,25
17	140	17	150	6,09	5	1,75	34	2,85
					3	1,48	28	3,25
17	150	17	160	5,00	4	5,50	83	1,75
					7	2,50	31	3,00
					8	1,50	60	2,00
17	160	17	170	5,56	8	1,61	103	1,60
					4	1,83	73	1,86
					5	2,06	31	3,00
17	170	17	180	3,46	4	1,30	120	1,50
					3	1,30	42	2,50
					5	2,64	60	2,00
17	180	17	190	4,50	5	2,68	36	2,75
					-	-	150	1,42
17	190	17	200	5,38	9	2,06	63	2,00
					-	-	23	3,69
17	200	17	205	5,75	3	1,25	36	2,75
					3	1,38	36	2,75

Таблиця Б.12 – Перелік нерівностей і відповідних коефіцієнтів динамічності на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від км 18+000 до км 18+150 км (рік знімання – 2017, $IRI_{200} = 8,60$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
км	м	км	м		Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	000	18	010	4,51	4	1,44	140	1,45
					1	1,83	-	-
					5	4,32	-	-
18	010	18	020	5,42	3	1,31	110	1,56
					5	2,18	16	5,00
					5	2,00	-	-
					18	3,96	-	-
18	020	18	030	20,01	22	8,42	46	2,35
					6	3,95	52	2,20
18	030	18	040	9,96	3	1,21	113	1,55
					4	3,02	130	1,47
					12	6,99	20	4,14
					7	2,56	-	-
					7	2,83	-	-
18	040	18	050	17,97	11	2,36	70	1,87
					18	3,92	28	3,19
					9	2,85	-	-
18	050	18	060	14,01	14	2,77	44	2,42
					10	3,44	10	7,61
					4	1,42	13	5,67
18	060	18	070	9,44	6	2,08	41	2,53
					-	-	76	1,82
18	070	18	080	9,36	11	3,67	95	1,66
					6	4,15	8	8,70
					8	2,30	-	-
					1	1,72	-	-
					2	2,58	-	-
18	080	18	090	7,61	10	5,97	17	4,50
					8	2,30	-	-
					1	1,62	-	-
					2	2,72	-	-
18	090	18	100	8,86	1	1,11	138	1,45
					6	3,25	31	2,98
					1	1,18	15	5,33

Кінець таблиці Б.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	090	18	100	8,86	4	2,40	-	-
					4	2,66	-	-
					1	1,83	-	-
					2	3,11	-	-
18	100	18	110	8,17	3	2,05	52	2,20
					4	1,97	27	3,35
					3	1,85	17	4,72
18	110	18	120	4,42	5	2,85	56	2,10
					1	1,53	113	1,55
					2	1,82	-	-
18	120	18	130	3,63	1	1,15	42	2,50
18	130	18	140	2,43	-	-	121	1,51
18	140	18	150	3,15	-	-	540	1,12

Таблиця Б.13 – Перелік нерівностей і відповідних коефіцієнтів динамічності на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від км 15+000 до км 15+200 (рік знімання – 2018, $IRI_{200} = 6,06$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
км	м	км	м		Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	000	15	010	7,14	7	2,30	42	2,50
					-	-	36	2,75
15	010	15	020	5,7	4	1,86	53	2,18
					10	2,45	-	-
					11	2,90	-	-
15	020	15	030	8,27	4	1,61	58	2,07
					8	3,06	37	2,70
15	030	15	040	5,1	3	1,42	69	1,90
					4	1,59	-	-
					4	1,99	-	-
					9	2,76	-	-
15	040	15	050	6,05	7	1,53	125	1,50
					5	1,76	28	3,25
					3	1,83	-	-
15	050	15	060	7,75	4	1,71	52	2,30
					8	2,13	104	1,60
					7	1,90	63	2,00

Кінець таблиці Б.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	060	15	070	6,66	3	1,48	20	4,12
					6	2,60	83	1,75
					-	-	78	1,80
15	070	15	080	4,83	7	2,31	73	1,86
					-	-	28	3,25
15	080	15	090	5,61	13	7,47	57	2,10
					4	1,52	84	1,75
15	090	15	100	5,2	4	1,48	90	1,70
					3	1,45	103	1,61
					7	2,44	53	2,18
15	100	15	110	7,36	4	1,97	59	2,25
					2	1,40	83	1,75
15	110	15	120	4,2	11	2,77	36	2,75
					-	-	69	1,91
15	120	15	130	5,84	11	3,24	97	1,64
					4	1,94	83	1,75
					5	1,74	50	2,25
15	130	15	140	3,58	3	1,99	120	1,50
					5	3,36	36	2,75
15	140	15	150	4,85	3	1,29	90	1,77
					3	1,41	110	1,55
					4	2,06	-	-
15	150	15	160	7,68	4	1,70	36	2,75
					3	1,39	63	2,00
					-	-	23	3,75
15	160	15	170	7,33	18	2,66	81	1,77
					5	1,43	78	1,80
15	170	15	180	4,09	8	2,55	132	1,48
					6	1,80	191	1,33
15	180	15	190	8,45	7	1,37	25	3,50
					11	4,50	42	2,50
					5	2,17	-	-
					3	1,76	-	-
15	190	15	200	5,8	6	2,90	110	1,57
					5	2,53	-	-
					6	4,16	-	-
					9	1,78	-	-

Таблиця Б.14 – Перелік нерівностей і відповідних коефіцієнтів динамічності на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від км 21+000 до км 21+200 (рік знімання – 2017, $IRI_{200} = 4,01$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
км	м	км	м		Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	0	21	10	6,64	6	1,62	65	1,96
					4	1,83	15	5,28
					5	1,65	47	2,33
21	10	21	20	4,07	2	1,49	37	2,70
21	20	21	30	5,26	8	1,46	320	1,20
					9	2,32	-	-
21	30	21	40	5,25	20	4,14	35	2,78
					-	-	70	1,86
21	40	21	50	3,72	10	1,50	38	2,66
21	50	21	60	3,62	5	1,32	160	1,39
							51	2,22
21	60	21	70	4,38	6	1,30	185	1,34
21	70	21	80	2,58	4	1,26	150	1,42
21	80	21	90	2,54			190	1,33
21	90	21	100	2,94	3	1,16	23	3,70
21	110	21	120	3,89	3	1,64	23	3,70
					-	-	32	2,90
21	140	21	150	2,43	6	1,13	54	2,15
21	150	21	160	7,56	26	2,38	124	1,50
					-	-	17	4,70
21	160	21	170	5,67	-	-	120	1,53
					-	-	90	1,70
21	170	21	180	5,64	12	1,92	115	1,54
					-	-	125	1,50
21	180	21	190	5,02	15	2,51	230	1,27
					3	1,25	-	-
21	190	21	200	3,47	12	2,04	310	1,20

Таблиця Б.15 – Перелік нерівностей і відповідних коефіцієнтів динамічності на ділянці дороги Т-21-04 Харків – Вовчанськ – Чугунівка від км 29+000 до км 29+200 км (рік знімання – 2017, $IRI_{200} = 2,73$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
					Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
км	м	км	м					
29	0	29	10	2,74			569	1,11
29	10	29	20	3,61	6	1,30	380	1,16
29	20	29	30	3,21	6	1,27	71	1,88
					3	1,32	170	1,40
29	70	29	80	3,13	5	1,25	82	1,75
29	80	29	90	5,02	7	2,79	62	2,01
					-	-	170	1,37
					-	-	46	2,35
29	90	29	100	2,97	-	-	280	1,22
29	100	29	110	3,04	3	1,31	52	2,20
					-	-	63	1,99
29	110	29	120	3,81	-	-	181	1,35
29	120	29	130	2,83	2	1,18	-	-
29	130	29	140	3,86	4	2,49	261	1,24
29	170	29	180	2,46	5	1,26	430	1,14
29	180	29	190	3,76	9	2,86	225	1,28

Таблиця Б.16 – Перелік нерівностей і відповідних коефіцієнтів динамічності на ділянці дороги М-20 Харків – Щербаківка від км 20+000 до км 20+200 (рік знімання – 2018, $IRI_{200} = 3,41$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
					Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
км	м	км	м					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	30	20	40	2,74	4	1,21	-	-
20	40	20	50	2,80	-	-	58	2,07
20	50	20	60	4,2	3	1,25	128	1,50
					3	1,58	105	1,61
					3	1,8	103	1,60
20	60	20	70	2,89	3	1,85	130	1,48
					-	-	85	1,73
20	70	20	80	2,89	-	-	65	1,96

Кінець таблиці Б.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	80	20	90	3,32	3	1,19	57	2,10
					-	-	87	1,72
20	90	20	100	3,14	-	-	61	2,02
20	100	20	110	5	4	1,19	57	2,1
					3	1,24	37	2,67
					5	1,56	-	-
20	110	20	120	4,38	5	1,37	85	1,74
					5	1,75	69	1,9
20	120	20	130	3,65	4	2,1	95	1,78
					3	1,5	200	1,3
20	140	20	150	6,06	4	1,62	130	1,48
					5	2,28	48	2,3
					4	1,38	26	3,44
20	150	20	160	3,56	4	1,38	26	3,44
20	160	20	170	2,27	-	-	142	1,44
20	170	20	180	3,49	6	2,21	87	1,72
					-	-	130	1,48
20	180	20	190	4,1	-	-	87	1,72
					-	-	87	1,72
					-	-	86	1,73
20	190	20	200	7,87	3	1,8	65	1,96
					6	1,96	33	2,9
					8	2,87	70	1,9
					7	2,79	-	-

Таблиця Б.17 – Перелік нерівностей і відповідних коефіцієнтів динамічності на ділянці дороги М-20 Харків – Щербаківка від км 15+000 до км 15+200 (рік знімання – 2017, $IRI_{200} = 1,85$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
км	м	км	м		Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
15	10	15	20	2,64	-	-	350	1,18
15	20	15	30	2,57	-	-	166	1,38
15	30	15	40	2,06	-	-	320	1,19
15	40	15	50	2,35	-	-	620	1,10
15	90	15	100	2,47	3	1,28	173	1,36
15	90	15	100	2,47	-	-	159	1,39
15	150	15	160	2,45	-	-	202	1,31

Таблиця Б.18 – Перелік нерівностей і відповідних коефіцієнтів динамічності на ділянці дороги Т-21-03 Харків – Золочів – Олександрівка від км 11+000 до км 11+200 (рік знімання – 2017, $IRI_{200} = 2,86$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
					Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
км	м	км	м					
11	40	11	50	2,24	3	1,15	-	-
11	50	11	60	2,92	2	1,10	-	-
11	60	11	70	6,70	10	1,51	10	7,03
11	70	11	80	2,33	3	1,23	260	1,24
11	80	11	90	5,18	15	1,68	652	1,10
11	90	11	100	6,26	5	1,60	76	1,82
11	100	11	110	2,58	3	1,12	310	1,2
11	150	11	160	9,37	15	2,62	75	1,83
					5	1,65	-	-

Таблиця Б.19 – Перелік нерівностей і відповідних коефіцієнтів динамічності на ділянці дороги Р-46 Харків – Охтирка від км 24+000 до км 24+200 (рік знімання – 2018, $IRI_{200} = 2,15$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
					Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
км	м	км	м					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
24	60	24	70	3,78	5	1,26	43	2,46
					8	2,91	-	-
24	70	24	80	2,87	6	2,15	113	1,55
					-	-	156	1,40
24	80	24	90	2,13	5	3,25	63	2,00
					-	-	50	2,25
24	90	24	100	2,58	10	2,95	125	1,5
24	100	24	110	3,89	-	-	20	4,15
24	130	24	140	2,61	2	1,49	83	1,75
					7	2,83	-	-
24	140	24	150	2,43	4	1,59	63	2
					3	1,64	-	-
24	160	24	170	2,64	6	1,24	125	1,5
24	170	24	180	2,64	-	-	323	1,19
24	180	24	190	2,1	-	-	125	1,5

Кінець таблиці Б.19

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24	190	24	200	2,81	3	1,19	-	-
					4	1,83	-	-
					8	4,9	-	-
					4	1,93	-	-

Таблиця Б.20 – Перелік нерівностей і відповідних коефіцієнтів динамічності на ділянці дороги М-29 Харків – Красноград – Перещепине від км 2+000 до км 2+400 (рік знімання – 2018, $IRI_{400} = 2,69$ м/км)

Пікет початку ділянки		Пікет кінця ділянки		Показник рівності IRI_{10} , м/км	Нерівності на ділянці			
					«Падіння»		Увігнуті криві	
км	м	км	м		Висота «падіння», h , мм	Коефіцієнт динамічності, K_d	Середній радіус кривої, R , м	Коефіцієнт динамічності, K_d
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	10	2	20	2,47	-	-	152	1,41
					-	-	125	1,50
2	20	2	30	3,64	3	1,40	50	2,25
					2	1,61	-	-
2	30	2	40	3,63	3	2,27	50	2,25
					4	1,31	63	2,00
2	40	2	50	4,75	2	1,61	-	-
					4	2,42	-	-
					3	1,41	-	-
					2	2,22	-	-
2	50	2	60	3,15	-	-	36	2,75
					-	-	579	1,11
2	60	2	70	2,54	-	-	210	1,30
2	70	2	80	3,44	5	1,59	36	2,75
2	80	2	90	2,69	3	1,23	210	1,30
2	110	2	120	2,64	-	-	55	2,14
2	120	2	130	2,94	2	1,17	244	1,26
2	130	2	140	3,25	5	1,47	50	2,25
2	140	2	150	2,43	5	1,39	125	1,50
					4	1,35	-	-
2	150	2	160	2,61	4	1,41	-	-
2	160	2	170	2,49	4	1,23	-	-
2	170	2	180	2,4	4	1,19	125	1,50
					-	-	50	2,25
2	190	2	200	3,72	6	1,59	-	-
					7	2,32	-	-
					3	2,00	-	-

Продовження таблиці Б.20

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	200	2	210	2,53	3	2,00	-	-
					4	1,30	-	-
					4	2,04	-	-
2	210	2	220	2,39	6	1,38	-	-
					6	2,97	-	-
2	220	2	230	2,11	5	2,31	-	-
					5	1,31	-	-
2	240	2	250	3,47	-	-	80	1,79
					-	-	67	1,93
					-	-	80	1,79
					-	-	67	1,93
2	250	2	260	4,55	-	-	31	3,00
					-	-	83	1,75
					-	-	63	2,00
					-	-	31	3,00
					-	-	83	1,75
					-	-	63	2,00
2	260	2	270	3,75	2	1,81	50	2,25
					5	1,60	50	2,25
					11	6,70	-	-
					2	1,81	-	-
					5	1,60	-	-
					11	6,70	-	-
2	270	2	280	3,93	8	2,62	-	-
					10	2,12	-	-
					10	4,37	-	-
					8	3,07	-	-
					8	2,62	-	-
					10	2,12	-	-
					10	4,37	-	-
					8	3,07	-	-
2	280	2	290	2,63	11	2,33	-	-
					4	1,42	-	-
2	290	2	300	2,56	6	1,67	-	-
					6	2,92	-	-
2	300	2	310	2,16	-	-	55	2,14
2	310	2	320	2,56	5	1,89	-	-
					5	2,34	-	-
2	330	2	340	2,28	4	1,27	63	2,00
					5	1,77	-	-
					4	1,53	-	-

Кінець таблиці Б.20

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	340	2	350	2,5	-	-	117	1,54
					-	-	215	1,29
2	350	2	360	2,78	3	1,51	88	1,71
2	360	2	370	2,95	5	1,33	-	-
					4	1,35	-	-
					3	2,03	-	-
2	370	2	380	2,10	-	-	462	1,14
2	380	2	390	2,22	4	1,26	-	-
					5	1,62	-	-
					4	1,60	-	-
2	390	2	400	2,04	4	1,45	125	1,50

ДОДАТОК В
ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ



Д О В І Д К А

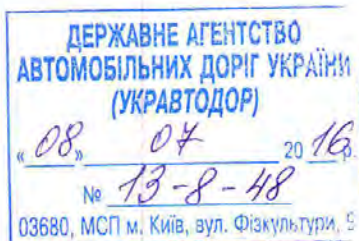
про впровадження результатів дисертаційного дослідження асистента
кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківського
національного автомобільно-дорожнього університету
Саркісяна Гора Саркісовича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційного дослідження асистента кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою ХНАДУ Саркісяна Г.С. були впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України при виконанні науково-дослідної роботи за темою «Провести дослідження та розробити методичні рекомендації з проектування нежорсткого дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи А₁» (договір від 16.05.2018 № 67/37-26-18, № державної реєстрації 0118U000695), яка передбачала розроблення методичних рекомендацій МР В.2.3-37641918-905:2019 «Методичні рекомендації з проектування нежорсткого дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи А₁».

Наукові розробки асистента Саркісяна Г.С. знайшли відображення в звіті про науково-дослідну роботу в розділах 4 «Моделі взаємодії транспортного навантаження та дорожнього одягу з урахуванням рівності покриття», 5 «Дослідження рівності покриття на автомобільних дорогах», 6 «Врахування рівності покриття при визначенні навантаження на нежорсткий дорожній одяг», 8 «Розробка моделі оцінки рівності покриття» і додатках Б «Розподіл показників рівності IRI на ділянках доріг», В «Результати математичного моделювання рівності покриття» та Г «Методичні рекомендації з проектування нежорсткого дорожнього одягу під розрахункове навантаження групи А₁», де наведено системний аналіз моделей взаємодії транспортного навантаження та дорожнього одягу і основні положення розрахунку нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням рівності покриття.

Начальник Відділу
інноваційного розвитку
Укравтодору

О.Ю. Тимошук



ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
аспіранта кафедри вишукувань та проектування доріг і аеродромів
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету
Саркісяна Гора Саркісовича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційного дослідження аспіранта кафедри вишукувань і проектування доріг та аеродромів ХНАДУ Саркісяна Г.С. були впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України при виконанні науково-дослідної роботи за темою «Провести дослідження та розробити альбом типових конструкцій нежорстких дорожніх одягів для доріг I-II категорій на навантаження 130 кН» (договір від 28.11.2014 № 168/37-57-14, № державної реєстрації 0114U006440), яка передбачала розроблення альбому АД А.2.4-37641918-004:2016 «Альбом типових конструкцій дорожніх одягів для доріг I – II категорій на навантаження 130 кН» з урахуванням сучасних змін та доповнень нормативної бази з конструювання та розрахунків дорожніх одягів.

Наукові розробки аспіранта Саркісяна Г.С. використані при конструюванні дорожнього одягу з врахуванням особливостей поведінки ґрунтів земляного полотна та шарів із слабо зв'язних матеріалів під дією великовантажних транспортних засобів. Результати дисертаційного дослідження враховані при розрахунках дорожнього одягу для доріг I-II категорій на навантаження 130 кН за критеріями міцності.

Директор Департаменту розвитку
мережі доріг Укравтодору

Сергій Цепелев



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, тел. (057) 700-38-66, факс (057) 700-38-65, E-mail: admin@khadi.kharkov.ua

18.02.2021 № 201/34
На №

Акт

**про впровадження результатів наукових досліджень
асистента кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету
Саркісяна Гора Саркісовича**

Цим актом підтверджується, що наукові розробки дисертаційного дослідження асистента кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою ХНАДУ Саркісяна Г.С. впроваджуються протягом 2020 – 2021 років в навчальний процес кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою ХНАДУ.

Наукові розробки використовуються:

– при підготовці бакалаврів за спеціальністю: 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньою програмою «Транспортне будівництво та цивільна інженерія» – курс лекцій: «Вишукування та проектування автомобільних доріг і аеродромів», в розділі «проектування нежорсткого дорожнього одягу»;

– в дипломному проектуванні при підготовці дипломних робіт магістрів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньою програмою «Автомобільні дороги та аеродроми».

Проректор з наукової
роботи ХНАДУ, проф.

І. А. Дмитрієв