

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

РАЙКОВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ ФРАНЦЕВИЧ

УДК 625.7/.8

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПРИ ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ

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

_____ В.Ф. Райковський

Науковий керівник –
Гамеляк Ігор Павлович
доктор технічних наук, професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.59.02
_____ О.Ю. Усиченко

Київ 2021

АНОТАЦІЯ

Райковський В.Ф. Удосконалення методу розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії навантаження – 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) – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі представлено нове вирішення актуальної науково-практичної задачі удосконалення методу розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії навантаження, з урахуванням результатів багаторічних спостережень за зміною інтенсивності руху та складу транспортного потоку, визначення зміни показників транспортно-експлуатаційних показників на мережі автомобільних доріг загального користування.

У роботі удосконалено метод розрахунку надійності конструкцій за критеріями граничного стану з врахуванням варіації параметрів шарів дорожнього одягу, неоднорідність показників напружено-деформованого стану та оцінити надійність конструкції дорожнього одягу, що ґрунтується на встановленому зв'язку між індексом безпеки і коефіцієнтом надійності для критеріїв граничного стану дорожнього одягу. Даний метод розрахунку спирається на інформацію про будову та неоднорідність існуючого дорожнього одягу з оцінкою надійності та запасу міцності та їх неоднорідності.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження; сформульовано наукове завдання дослідження, наведено мету та задачі, предмет та об'єкт дослідження; зазначено зв'язок роботи із науковими програмами (планами, темами); сформульовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів; наведено структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У першому розділі виконано критичний аналіз досліджень, що присвячені вирішенню наукової задачі розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії навантажень від транспортних засобів на покриття автомобільних доріг загального користування (АДЗК).

Дослідженню методів оцінювання міцності та надійності нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням впливу навантаження на показники його ТЕС присвячено роботи: А.Г. Батракової, В.А. Веренька, М.М. Дмитрієва, І.П. Гамеляка, Л.Б. Гезенцвея, М.В. Горелишева, С.К. Іліополова, В.Д. Казарновського, А.І. Лантух-Лященко, І.І. Леоновича, А.Ю. Мерзлікіна, В.В. Мозгового, Є.І. Оксеня, Д.О. Павлюка, С.Ф. Пічугіна, В.П. Поліщука, Б.С. Радовського, В.Я. Савенка, О.С. Славінської, Н.В. Смірної та інших. Серед закордонних досліджень слід відзначити роботи Baecher G. B., Christian J. T, Harr M. E., Hasofer A. M., Lind N. C., Cornell, Ranganathan R., Darter M. I., Hudson W. R., George K. P., Alsherri A., Shah N. S., Killingsworth B. M., Zollinge, D. G., Kenis W., Wang, W., Potter J.C., Kulkarni R. B., Kim H. B., Buch N., R. Burton Litton та інших.

У результаті виконаного аналізу обґрунтовано основний напрямок досліджень – розроблення критеріїв і методів оцінювання надійності нежорсткого дорожнього одягу (НДО) за результатами багаторічного збору, аналізу та синтезу даних що спираються на:

а) визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку за результатами обліку безпосередньо в польових умовах та даних датчиків автоматичного обліку руху;

б) інформацію про сукупність визначальних параметрів дорожнього одягу (геометрія, товщини та характеристики шарів існуючого НДО);

в) натурні обстеження дефектів та руйнувань дорожнього покриття на мережі АДЗК за 2006 – 2018 рр.;

г) інструментальне визначення показників ТЕС (загальний модуль пружності, нерівність, зчеплення) мережі АДЗК за 2006 – 2018 рр.;

д) методи розрахунку середньодобової річної і сумарної інтенсивності руху за термін служби, розрахунку потрібного модуля пружності за результатами обробки даних визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку з 2006 р. до 2018 р.;

е) показників зміни загального модуля пружності монолітних шарів дорожнього одягу з використанням комплексного коефіцієнту руйнування

дорожнього покриття, визначеного на основі врахування видів та ступеню поширення (три рівні) 18 видів руйнувань;

ж) положення теорії надійності, що дозволяють врахувати неоднорідність НДО, та потрібного модуля пружності в залежності від сумарної інтенсивності руху що обумовлена, в тому числі, при наявності деформацій та руйнувань у шарах з монолітних матеріалів.

Доведено, що найбільший вплив на надійність та довговічність конструкцій дорожнього одягу мають великовагові ТЗ, що незважаючи на можливе зменшення загального потоку ТЗ, постійно зростають та вносять основний вклад в руйнування НДО за критеріями граничного стану.

У другому розділі удосконалено метод розрахунку надійності конструкцій за критеріями граничного стану (критерій зсуву в ґрунті земляного полотна та незв'язних шарах; критерій розтягу при згині монолітних шарів; критерій допустимого пружного прогину (загальний модуль пружності) з урахуванням параметрів ТЗ. Розглянуто теоретичні основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу за рахунок удосконалення моделі навантаження та досліджено режими руху ТЗ АДЗК України (зміна інтенсивності руху протягом доби, тижня, в річному циклі, в багаторічному циклі в процесі експлуатації). Також наведено основні залежності для опису зміни складу парку ТЗ; розподілу швидкості руху, частоти проїзду (інтервалу) ТЗ різного типу чи групи через даний відрізок дороги; розподіл слідів коліс ТЗ різного типу по ширині дороги та надано методику встановлення фактичних параметрів навантаження сучасних ТЗ (розподіл навантажень на осі, тиск у контакті «колесо-покриття»; розподіл загальної маси ТЗ). Удосконалено методику приведення короткочасної інтенсивності руху до середньорічної добової та встановлення сумарної кількості прикладання розрахунково-нормативного навантаження. Удосконалено ймовірнісний метод оцінювання стану нежорсткого дорожнього одягу на основі даних багаторічних вимірювань, що дозволяє врахувати неоднорідність геометричних і фізико-механічних параметрів конструкції та їх зміну у часі.

Надійність дорожнього одягу за критерієм пружного прогину (загального модуля пружності) визначається, як імовірність безвідмовної роботи без утворення просадок і деформацій конструкції в цілому при не перевищенні прогину покриття від колеса розрахункового автомобіля деякого граничного значення/

Експлуатаційна надійність дорожнього одягу за критерієм нерівності IRI визначається, як імовірність безвідмовної роботи з умови комфортності та безпечності для здоров'я руху.

Допустиме значення нерівності S_{don} та його варіація σ_{don} , V_{don} , визначені із умов комфорту руху, м/км. Оцінка впливу вібрації на здоров'я, комфорт і сприйняття руху, при застосуванні даної моделі встановлюється для сидіння водія, стоячих чи сидячих пасажирів. Найбільший вплив має коливання та вібрація в частотній амплітуді (0,5 – 80,0) Гц, що передається від твердої поверхні до тіла людей.

Величину допустимої вібрації характеризує середньоквадратичне навантаження з частотою прискорення.

За аналогічним принципом визначається надійність за показником ТЕС коефіцієнт зчеплення.

У третьому розділі експериментальними дослідженнями підтверджено теоретичні положення методу оцінювання надійності нежорсткого дорожнього одягу, на основі результатів багаторічних вимірювань зміни інтенсивності руху та складу транспортного потоку, вимірювань показників ТЕС дорожнього одягу (види та ступінь руйнувань, міцність, нерівність, зчеплення), та доведено адекватність розробленої моделі оцінювання надійності ДО.

Наведено методики та виконані експериментальні дослідження щодо:

а) приведення візуального обліку до середньорічної добової інтенсивності руху за допомогою коефіцієнтів приведення даних отриманих з лічильників автоматичного обліку руху (рис. 1);

б) збору даних, аналізу та встановлення зміни інтенсивності руху та складу транспортного потоку на мережі автомобільних доріг України державного значення за 2005 – 2018 роки;

в) збору даних, аналізу та визначення навантаження на вісь з використанням вагових комплексів (рис. 2), встановлення часу дії навантаження та тиску в шинах вантажних ТЗ;

г) оцінки транспортно-експлуатаційних показників мережі АДЗК за даними польових випробувань за 2008 – 2018 рр.

Встановлено закономірності зміни навантаження на кожен вісь різних типів ТЗ та закономірності їх розподілу.

Польові визначення ТЕС на мережі автомобільних доріг державного значення виконувалось з використанням сучасних ходових комплексів.

У 2008 – 2018 роках виконано широкомасштабні визначення ТЕС на мережі АДЗК України з використанням УДВО-7 на базі дорожньої лабораторії ДП «Укрдїпродор».

У результаті досліджень встановлено кореляційну залежність «нерівність за поштовхоміром – міжнародний індекс нерівності IRI» та зворотню залежність.

Обидва показники $K_n(\beta)$ та K_m характеризують безвідмовність роботи при заданій інтенсивності прикладення навантажень, однак, коефіцієнт надійності, на відміну від коефіцієнта запасу міцності, враховує не лише розрахункові значення несної здатності, а й варіацію їх розподілу. З даних табл. 2 видно, що при збільшенні однорідності несної здатності конструкції – підвищується її ресурс в перспективі при зростанні інтенсивності руху та кількості циклів прикладення навантажень.

У четвертому розділі виконано аналіз впливу факторів на надійність дорожнього одягу та запропоновано шляхи практичної реалізації результатів дисертаційної роботи. Отримано рішення задачі для розрахунку часткової надійності за трьома критеріями: пружного прогину (загального модуля пружності), розтягу при згині монолітних шарів та зсуву в незв'язних шарах та ґрунті земляного полотна. Удосконалено метод розрахунку надійності КДО на стадії проєктування, будівництва та експлуатації автодоріг та розроблено відповідне програмне забезпечення. Придатність методу для розрахунку надійності конструкцій дорожніх одягів апробована на конкретних об'єктах будівництва та реконструкції АДЗК в Україні. Виконано – аналіз результатів польових досліджень та оцінювання їх надійності і на

їх основі розроблена програма в середовищі EXEL для апроксимації даних з встановленням закономірностей розподілу.

За результатами досліджень розроблено методику розрахунку надійності конструкцій нежорстких дорожніх одягів АДЗК при використанні даних вимірювання загального модуля пружності дорожнього одягу.

У роботі запропоновано удосконалений метод розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії навантаження за даними багаторічних спостережень/досліджень, що спирається на інформацію про будову та неоднорідність дорожнього одягу, розрахунок нежорсткого дорожнього одягу за критеріями граничного стану і дозволяє оцінити надійність конструкції дорожнього одягу з урахуванням удосконаленої моделі навантаження та його неоднорідності, запасу міцності конструкції та її неоднорідності.

Результати виконаних досліджень використовувались в програмному комплексі СУСП при призначенні видів ремонту та виборі ділянок автомобільних доріг з визначеними видами ремонтів протягом 2006 – 2018 рр.

Ключові слова: надійність, нежорсткий дорожній одяг, модель навантаження, інтенсивність руху, транспортно-експлуатаційні показники, дефекти, руйнування, загальний модуль пружності, неоднорідність конструкції дорожнього одягу, коефіцієнт варіації, характеристика безпеки.

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

1. Кушнір О.В., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Клімов Ю.М. Проектування конструкції дорожнього одягу для перевезення великовагових та великогабаритних вантажів дорогами України. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VIII(30), Issue: 244, 2020 Dec. С 53-58.

Статті у фахових виданнях:

2. Журавський Д.Л., Райковський В.Ф. Методика оцінки якості фрезерованого асфальтобетону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2003. Вип. 68. С. 57-61.

3. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Встановлення параметрів режиму руху транспортних засобів для проектування дорожнього одягу. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. 2010. № 662. С 118-125.

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

5. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Експериментальне визначення навантаження на вісь транспортних засобів. *Автошляховик України*. 2014. № 3'239. С. 24-28.

6. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Встановлення експериментальних залежностей між параметрами навантаження на вісь і тиском у шинах транспортних засобів // *Автошляховик України*. 2014. № 6/242. С. 27-34.

7. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Аналіз зміни коефіцієнтів приросту інтенсивності транспортних засобів в часі для автомобільних доріг України. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2015. Вип. 94. С. 226- 238.

8. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 107. С. 13- 22.

9. Гамеляк І. П., Дмитриченко А. М., Нагайчук В.М., Райковський В.Ф., Биковець М. М. Особливості технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 22. С 63-78.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

10. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Встановлення параметрів розрахункових навантажень на конструкції дорожніх одягів. *LXVI НК професорсько-викладацького складу, аспірантів студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів НТУ: тези доповідей*. К.: НТУ, 2010. С. 134.

11. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Уточнення методики приведення транспортних засобів до розрахункового навантаження. *LXX НТК професорсько-викладацького складу, аспірантів студентів та співробітників НТУ: тези доповідей*. К.: НТУ, 2014. С. 197.

12. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Встановлення параметрів розрахункового навантаження для проєктування дорожніх одягів. *LXXI НК професорсько-викладацького складу, аспірантів студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів НТУ*: тези доповідей. К.: НТУ, 2015. С. 217.

13. Райковський В.Ф. Уточнення коефіцієнтів приведення годинної інтенсивності до середньодобової річної в проєктуванні дорожніх одягів. *LXIX НК професорсько-викладацького складу, аспірантів студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів НТУ*: тези доповідей. К.: НТУ, 2013. С. 203.

14. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Необхідність зміни методики визначення коефіцієнтів приросту інтенсивності транспортних засобів в часі для автомобільних доріг України. *LXXI НК професорсько-викладацького складу, аспірантів студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів НТУ*: тези доповідей. К.: НТУ, 2016. С. 197.

15. Райковський В.Ф. Аналіз стану автомобільних доріг за критерієм нерівностей (Міжнародний індекс IRI). *Сучасні матеріали та технології для будівництва та ремонту автомобільних доріг*. Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції. 6-7 листопада 2019 м. Київ. С. 44-46.

16. Gameliak I.P., Raikovsky V.F. Change of coefficients of growth and composition Of the flow of transport in transport of ukrainian roads. *Інтелектуальні конструкції та інноваційні будівельні матеріали*. Міжнародна науково-технічна конференція. 14 травня 2020 року, м. Херсон, С. 8-12.

17. Райковський В.Ф. Особливості зміни приросту інтенсивності транспортних засобів на автомобільних дорогах України. *Інноваційні технології в будівництві*. Міжнародної науково-технічної конференції. 10-12 листопада 2020 р., м. Вінниця, С. 1-5.

18. Райковський В.Ф. Апробація технології віброрезонансного руйнування цементобетонного покриття на об'єктах великого будівництва. *Сучасні інноваційні рішення для реалізації національної програми «Велике будівництво»*. Міжнародна науково-практична конференція. 11-12 листопада 2020. м. Київ.

19. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Забезпечення надійності дорожніх одягів при ремонті та реконструкції існуючих цементобетонних покриттів зруйнованих віброрезонансним методом на слабких основах. *Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг*. Між. наук.-техн. конф. листопад 2020, м. Харків. С. 23-26.

Опубліковані праці, що додатково відображають наукові результати дисертації:

20. Gameliak I.P., Raikovsky V.F Оценка общего модуль упругости дорожной одежды по результатам полевых испытаний. *Modern Scientific Researches*. Yolnat PE, Minsk, Belarus Issue №12, Part 1, May 2020. С. 53- 58.

21. Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Якименко Я.М., Райковський В.Ф. Надійність конструкцій дорожнього одягу. К.: НТУ. 2012. 206 с.

Abstract

Raikovskiy V.F. Improving the method of the reliability calculation of flexible pavement under load action – Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Thesis for the candidate degree of Technical Sciences in specialty 05.22.11 "Highways and airfields" (192 - Construction and civil engineering) – Kyiv, 2021.

The Thesis presents a new solution to the current scientific and practical issue of improving the method of reliability calculation of flexible pavement under load action, taking into account the results of long-term surveys of changes in traffic volume and composition of traffic flow, determining the changes of riding qualities on public road network.

An improved method for assessing the condition of flexible pavement based on data from long-term surveys of flexible pavement (determination of the index of pavement damage, measurement of the actual value of traffic volume and composition of vehicles, general modulus of elasticity, roughness and tire grip coefficient) was suggested.

The conducted experimental researches confirmed the theoretical provisions of the method of assessing the reliability of flexible pavement based on the results of perennial changes in traffic volume and composition of traffic flow, measurements of riding qualities

of road pavement (types and degree of destruction, strength, roughness, tire grip) and proved the adequacy of the developed model of assessing the reliability of pavement design.

The analysis of measurements results was carried out and practical application of model of load when designing the road pavement is given, the calculated parameters of loading at movement of modern vehicles are specified; the recommended pressure in truck tires is established; the method of bringing and establishing the design load for different categories of roads is specified; the method of bringing the traffic volume to the calculated standard load and the methods of bringing the converged (doubled and attached) axes to the calculated load are specified.

An improved method for the reliability calculation of flexible pavement design based on perennial tests based on information on the structure and heterogeneity of pavement; designing of the flexible pavement according to the criteria of the limit state with the assessment of the reliability of the pavement design taking into account the load and its heterogeneity, the margin of strength of the structure and its heterogeneity were suggested.

Keywords: reliability, flexible pavement, load model, traffic volume, riding qualities, defects, destruction, general modulus of elasticity, heterogeneity of pavement design, variation factor, safety characteristic.

Зміст

Вступ.....	15
РОЗДІЛ 1 ЗВ'ЯЗОК НАДІЙНОСТІ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ТА НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ РУСІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ АВТОМОБІЛЬНИМИ ДОРОГАМИ УКРАЇНИ.....	22
1.1 Підходи до визначення надійності нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг	22
1.2. Основи розробки моделі навантаження на конструкції дорожнього одягу.....	32
1.3 Аналіз досліджень по встановленню розрахункових навантажень	37
1.3.1 Аналіз досліджень в Україні	37
1.3.2. Аналіз досліджень по встановленню розрахункових навантажень в за кордоном	42
1.4 Огляд і аналіз існуючих методів впливу транспортних засобів на дорожні одяги.....	43
1.4.1 Визначення інтенсивності руху на автомобільних дорогах державного значення.....	44
1.4.2 Зміна характеристик впливу транспортних засобів.....	45
1.4.3 Попередні огляди тиску в шинах ТЗ	46
1.5. Показники транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг.....	48
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ЗА КРИТЕРІЯМИ ГРАНИЧНОГО СТАНУ З УРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НАВАНТАЖЕННЯ.....	56
2.1 Удосконалення методу розрахунку надійності конструкцій за критеріями граничного стану	56
2.1.1 Розрахунок надійності конструкцій з урахуванням моделі навантаження	56
2.1.2 Розрахунок надійності конструкцій за критерієм зсуву.....	57
2.1.3 Розрахунок надійності конструкцій за критерієм розтягу при згині	59
2.1.4 Розрахунок надійності конструкцій за критерієм допустимого пружного прогину	60
2.2 Удосконалення моделі навантаження від транспортних засобів	66
2.2.1 Дослідження режимів руху транспортних засобів автомобільними дорогами України	66

2.2.2 Зміна інтенсивності в процесі експлуатації по роках служби	66
2.2.3 Розподіл швидкості руху	71
2.5.4 Частота проїзду (інтервал) ТЗ різного типу чи групи через даний поперечник дороги	74
2.5.5 Розподіл слідів коліс ТЗ різного типу по ширині дороги	75
2.5.6 Параметри навантаження ТЗ	75
Висновок по розділу 2	78
Розділ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВСТАНОВЛЕННЮ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ДОРОЖНІЙ ОДЯГ	79
3.1 Визначення інтенсивності руху	79
3.1.1 Приведення візуального обліку до середньорічної добової інтенсивності руху за допомогою коефіцієнтів приведення даних отриманих з лічильників автоматичного обліку руху	79
3.1.2 Зміна інтенсивності руху та складу транспортного потоку на мережі автомобільних доріг України державного значення за 2005 - 2018 роки	83
3.1.3 Визначення навантаження на вісь за допомогою вагових комплексів	93
3.2 Експериментальне визначення навантаження на вісь транспортних засобів	95
3.3 Встановлення значень тиску в шинах вантажних автомобілів	101
3.4 Польові випробування та їх аналіз для розрахунку надійності дорожнього одягу	111
Висновок до розділу 3	119
Розділ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ...	120
4.1 Аналіз результатів польових досліджень ділянок автомобільних доріг	120
4.2 Розрахунок надійності дорожнього одягу для конкретних випробуваних ділянок	125
4.3 Аналіз впливу факторів на надійність нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг	127
4.4 Розробка методики визначення інтенсивності за даними короткочасного обліку	134
4.5 Рекомендований тиск у шинах вантажних транспортних засобів	136

4.6 Комплексна оцінка стану поверхні асфальтобетонного покриття.....	140
4.7 Удосконалення методики призначення ремонту нежорсткого дорожнього одягу.....	143
Висновки до розділу 4.....	154
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	156
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	172
ДОДАТОК А ПРИВЕДЕННЯ ВІЗУАЛЬНОГО ОБЛІКУ ДО СЕРЕДНЬОРІЧНОЇ ДОБОВОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ КОЕФІЦІЄНТІВ ПРИВЕДЕННЯ ДАНИХ ОТРИМАНИХ З ЛІЧИЛЬНИКІВ АВТОМАТИЧНОГО ОБЛІКУ РУХУ.....	179
ДОДАТОК Б ФОРМА ОБЛІКУ РУХУ ДТЗ.....	187
ДОДАТОК В КОЕФІЦІЄНТИ ПЕРЕРАХУНКУ НА СЕРЕДНЬОРІЧНУ ДОБОВУ ІНТЕНСИВНІСТЬ РУХУ М-19 ДОМАНОВЕ-КОВЕЛЬ-ЧЕРНІВЦІ-ТЕРЕБЛЕЧЕ, КМ 320 ВІЇЗД НА ЛУЦЬК.....	188
ДОДАТОК Г ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО КОНТАКТНОГО ТИСКУ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІНИ ТИСКУ В ШИНАХ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	192
ДОДАТОК Д ПРИКЛАД РЕЗУЛЬТАТІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕС ДЛЯ ХАРАКТЕРНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ М 05 КИЇВ – ОДЕСА, ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ, КМ 156+000 – КМ 190+000).....	196
ДОДАТОК Е. ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ	206

ВСТУП

Актуальність роботи. В останні 20 років спостерігається стійка тенденція збільшення інтенсивності руху, вантажопідйомності і швидкості руху транспортних засобів, що разом із недостатнім фінансуванням призвело до ситуації коли на 2020 р. близько 90,3 % автомобільних доріг загального користування (АДЗК) мали незадовільний транспортно-експлуатаційний стан та не відповідали сучасним вимогам, в тому числі, за міцністю – 39,2 %; за рівністю – 51,1 %. З урахуванням існуючого стану дорожніх покриттів за показниками нерівності це призводить до істотного збільшення динамічної складової навантаження на покриття. Програма Велике будівництво кардинально змінює ці тенденції на краще, однак без контролю за рухом великовагових транспортних засобів (ТЗ), урахування змін параметрів транспортного потоку та нормативного навантаження - забезпечити надійність дорожнього одягу АДЗК є неможливим.

Динамічні перевантаження на нерівних ділянках в середньому становлять 50 – 90 %, при допустимих – 30%, що призводить до прискореного руйнування дорожнього покриття за законом 4 - ого степеня. При розрахунку дорожніх конструкцій, обґрунтуванні ремонтних заходів, прогнозуванні транспортно-експлуатаційного стану АДЗК, на сьогодні недостатньо враховані параметри динамічного впливу навантаження від пневматичних коліс транспортних засобів на дорожнє покриття.

Таким чином, **актуальність дисертаційного дослідження** обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі з удосконалення методу розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії транспортного навантаження з урахуванням результатів багаторічних натурних спостережень за зміною інтенсивності руху та складу транспортного потоку, визначення зміни показників транспортно-експлуатаційного стану (ТЕС) мережі АДЗК України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Наукові результати дослідження прикладного та теоретичного характеру виконані відповідно до тематики науково-дослідних робіт, що виконувались кафедрами дорожньо-будівельних матеріалів та хімії і аеропортів Національного

транспортного університету, ДП «Укрдіпродор» та ДП «ДерждорНДІ», планами науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України, в рамках виконання господарсько-договірних науково-дослідних робіт, а саме: Р В.2.3-218-02070915-716:2007. «Рекомендації з забезпечення експлуатаційної надійності конструкцій нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг України» (№ РК 0112U003779); М 02070915-711:2012 «Методика з розрахунку зміни жорсткості та міцності пакету асфальтобетонних шарів в залежності від стохастичної зміни температурного режиму повітря в річному циклі» (№ РК 0112U003779); Р В.2.3–21476215-803:2012 «Рекомендації з розрахунку температурних полів і напружень в асфальтобетонних покриттях конструкцій нежорстких дорожніх одягів» (№ РК 0112U003779); МР В.2.3–02070915-848:2014 «Методичні рекомендації встановлення параметрів розрахункового навантаження для проектування дорожніх одягів» (№ РК 0113U004865); «Провести аналіз рівності автомобільних доріг державного значення» (№ РК 0111U007804); ДСТУ 8824:2019 «Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку» (№ РК 0117U001968).

Результати досліджень впроваджено у освітній процес Національного транспортного університету під час підготовки бакалаврів та магістрів спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та 124 «Системний аналіз» за навчальними дисциплінами «Матеріали та вироби для будівництва та експлуатації автомобільних доріг та аеродромів», «Надійність дорожніх споруд», «Будівельна інженерія інфраструктурних систем», лабораторні та практичні заняття, курсове і дипломне проектування, науково-дослідну роботу .

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в удосконаленні методу розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу з використанням удосконаленої моделі навантаження, за рахунок уточнення режимів руху транспортних засобів, параметрів навантаження та використання даних багаторічних випробувань параметрів транспортно-експлуатаційного стану мережі автомобільних доріг.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- виконати аналіз існуючих методів розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу та визначення транспортно-експлуатаційних показників покриття автомобільних доріг;

- дослідити режими руху ТЗ автомобільними дорогами України та удосконалити методику приведення короткочасної інтенсивності руху до середньодобової річної, встановити коефіцієнти приросту інтенсивності руху для встановлення сумарної кількості прикладання розрахунково-нормативного навантаження та розрахунку необхідного модуля пружності;

- розробити моделі навантаження на конструкції дорожнього одягу (далі – КДО) на основі аналізу і синтезу даних зміни складу парку ТЗ, розподілу швидкості руху, частоти проїзду (інтервалу) ТЗ різних типів чи груп через дану ділянку дороги, та розробити методику встановлення фактичних параметрів навантаження на покриття (розподіл навантаження на осі, тиск у пневматику тощо);

- експериментально визначити транспортно-експлуатаційні показники (вид та ступінь розвитку руйнувань, загальний модуль пружності, нерівність та коефіцієнт зчеплення) мережі АДЗК для підтвердження адекватності моделі розрахунку надійності з урахуванням моделі навантаження від сучасних ТЗ;

- удосконалити ймовірнісний метод розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу на основі даних багаторічних вимірювань, що враховують неоднорідність геометричних і фізико-механічних параметрів конструкції та їх зміну у часі за критеріями граничного стану (критерій зсуву у ґрунті земляного полотна та незв'язних шарах), за критерієм розтягу при згині монолітних шарів, за критерієм допустимого пружного прогину (загальний модуль пружності) з урахуванням розробленої моделі навантаження.

Об'єкт дослідження – забезпечення надійності нежорсткого дорожнього одягу за критеріями граничного стану з урахуванням моделі навантаження.

Предмет дослідження – удосконалення методу розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу в процесі експлуатації при дії навантаження від пневматичних коліс транспортних засобів.

Методи дослідження. Теоретичні положення дослідження ґрунтуються на: фундаментальних положеннях теорії взаємодії колеса ТЗ з конструкцією нежорсткого дорожнього одягу; методах математичної статистики, теорії ймовірностей та теорії надійності, що застосовані під час вирішення задачі оцінювання ТЕС нежорсткого дорожнього одягу за результатами багаторічних натурних обстежень. Основу експериментальної частини дослідження складають: методи візуального та автоматичного обліку для встановлення зміни інтенсивності та складу транспортного потоку у часі; визначення параметрів навантажень від ТЗ, інструментальні методи визначення нерівності покриттів, модуля пружності існуючих конструкцій дорожнього одягу; визначення комплексного показника міри ураження дорожніх покриттів АДЗК, з застосуванням методів математичної статистики до вирішення задач оцінювання адекватності теоретичних моделей і достовірності результатів експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів

- **вперше розроблено** математичну модель визначення та прогнозування інтенсивності та складу транспортних потоків за результатами короткострокових спостережень та встановлено мінімальну та оптимальну тривалість спостережень в залежності від необхідної точності розрахунків;

- **отримано** коефіцієнти приведення (години доби, дні тижня, місяці року) для встановлення середньодобової річної інтенсивності руху для конкретного перегону автомобільної дороги;

- **уточнено** модель навантаження на дорожній одяг на основі багаторічного обліку, аналізу і синтезу даних зміни складу парку ТЗ, розподілу швидкості руху, частоти проїзду (інтервалу) ТЗ різних типів чи груп через даний відрізок дороги;

- **удосконалено метод розрахунку** надійності нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням удосконаленої моделі навантаження, що ґрунтується на багаторічних даних вимірювання ТЕС, та враховують їх неоднорідність, і спирається на встановлений зв'язок між показниками ТЕС дорожнього одягу і коефіцієнтом надійності встановленими на основі алгоритмів статистичної обробки вибірок даних вимірювань.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблений метод розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу підвищує точність розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу та обґрунтованість проєктних рішень завдяки врахуванню багаторічних даних спостережень про ТЕС та неоднорідність конструкції дорожнього одягу з урахуванням уточненої моделі навантаження.

Також:

- уточнено методику визначення інтенсивності руху за результатами короткострокових спостережень, що дозволяють обґрунтовано, з урахуванням часових факторів (години доби, дні тижня, місяці року) проведення вимірювань, встановлено закономірності зміни інтенсивності та складу транспортного потоку для проєктування дорожніх одягів;
- виконано багаторічні натурні обстеження ТЕС мережі АДЗК України загальною протяжністю понад 50 тис. км. за період 2006 – 2018 рр.;
- виконано аналіз та синтез результатів вимірювань та наведено практичне застосування моделі навантаження при проєктуванні дорожніх одягів;
- уточнено розрахункові навантаження на осі сучасних ТЗ; встановлено розрахунковий тиск у шинах; уточнено методику приведення та встановлення розрахункового навантаження для різних категорій АДЗК;
- уточнено методику приведення інтенсивності руху до розрахункового нормативного навантаження.

Дані виконаних досліджень використовувались в програмному комплексі СУСП при призначенні видів ремонту та ділянок на яких необхідно його виконати. У тому числі за 2017 – 2018 рр. виконано обстеження 23 тис. км доріг на загальну вартість 24 млн. грн.

Отримані дані використані при перегляді діючих нормативних документів стосовно проєктування, будування та експлуатації АДЗК та включені до міжнародного проєкту PIARC La Grande Arche.

Результати досліджень впроваджені у таких нормативно-технічних документах: ДСТУ 8824:2019 Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу

транспортного потоку (співавтор); М 02070915-711:2012 Методика з розрахунку зміни жорсткості та міцності пакету асфальтобетонних шарів в залежності від стохастичної зміни температурного режиму повітря в річному циклі; Р В.2.3-218-02070915-716:2007. Рекомендації з забезпечення експлуатаційної надійності конструкцій нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг України; Р В.2.3 – 21476215-803:2012 Рекомендації з розрахунку температурних полів і напружень в асфальтобетонних покриттях конструкцій нежорстких дорожніх одягів; МР В.2.3 – 02070915-848:2014 Методичні рекомендації встановлення параметрів розрахункового навантаження для проектування дорожніх одягів.

Результати наукових досліджень впроваджено у навчальний процес Національного транспортного університету під час підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» у лекційні курси з дисциплін «Матеріали та вироби для будівництва та експлуатації автомобільних доріг та аеродромів», «Надійність дорожніх споруд», лабораторні та практичні заняття, курсове і дипломне проектування, науково-дослідну роботу студентів.

Особистий внесок здобувача

Основним науковим результатом, що отримано автором особисто, є: розроблення, дослідження та практична апробація удосконаленого методу оцінювання надійності нежорстких конструкцій дорожнього одягу при дії динамічного навантаження від сучасних ТЗ з урахуванням неоднорідності конструкції дорожнього одягу та розкиду параметрів навантаження. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, викладених у дисертаційній роботі, полягає у виконанні теоретичних (постановка задач та розроблення теоретичних моделей) та експериментальних досліджень, аналізі та узагальненні отриманих результатів, встановленні закономірностей; розробленні й впровадженні практичних методик.

У роботах, що опубліковані у співавторстві, здобувачеві належить:
[1] – виконано проектування конструкції дорожнього одягу для перевезення великовагових та великогабаритних вантажів дорогами України; [2] – виконана оцінка загального модуля пружності на основі польових випробувань; [3] – наведено аналіз транспортно-експлуатаційних показників стану автомобільних доріг державного

значення; [4] – експериментально визначено навантаження на вісі транспортних засобів; [5] – встановлено експериментальні залежності між параметрами навантаження на вісь і тиском у шинах транспортних засобів; [6] – наведено аналіз зміни коефіцієнтів приросту інтенсивності транспортних засобів в часі для автомобільних доріг України; [7] – встановлено параметри режиму руху транспортних засобів, що використовуються для проектування дорожнього одягу; [8] – наведено особливості технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону; [9] – встановлені інтенсивності руху та склади транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування; [10] – приведена методика оцінки якості фрезерованого асфальтобетону.

Апробація результатів дисертації.

Результати дисертаційного дослідження доповідались і обговорювались на LXVI – LXXV наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів студентів та структурних підрозділів НТУ 2010 – 2019 рр.; Міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні конструкції та інноваційні будівельні матеріали», 14 травня 2020 року, м. Херсон, Міжнародної науково-технічної конференції “Інноваційні технології в будівництві”, 10-12 листопада 2020 р. м. Вінниця; Міжнародна науково-практична конференція «сучасні інноваційні рішення для реалізації національної програми «Велике будівництво», 11-12 листопада 2020 м. Київ; Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг», листопад 2020. м. Харків.

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 21 наукових праці, в тому числі: 1 посібник (у співавторстві), 8 статей у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України; 2 статті у закордонних періодичних наукових виданнях; 10 статей у збірниках праць за матеріалами міжнародних наукових конференцій; 1 свідоцтво авторського права України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (192 найменування) та 6 додатків. Основний текст викладений на 155 сторінках. Текст ілюструється 78 рисунками і 44 таблицями.

РОЗДІЛ 1

ЗВ'ЯЗОК НАДІЙНОСТІ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ТА НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ РУСІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ АВТОМОБІЛЬНИМИ ДОРОГАМИ УКРАЇНИ

1.1 Підходи до визначення надійності нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг

Проектування дорожніх покриттів, які потребують мінімального технічного обслуговування протягом строку експлуатації, є основною метою сучасних досліджень автомобільних доріг. Оцінка ефективності дорожнього покриття в межах допустимих рівнів необхідна для вибору найкращого варіанту конструкції для даного проекту.

Нежорсткий дорожній одяг – багатошарова система, сконструйована з різних матеріалів, яка піддається різним типам транспортних навантажень, а також впливам навколишнього середовища. Основним конструктивним рішенням дорожнього покриття є здатність витримувати деформації на стиск і горизонтальний розтяг для даних матеріалів від дії транспортного навантаження, а також змін навколишнього середовища. Всі фактори, що враховуються при проектуванні дорожнього покриття, мають певний ступінь варіацій, пов'язаних із ними. З цими факторами пов'язані невід'ємні невизначеності. Матеріали, які зазвичай використовуються в нежорсткому покритті, не є повністю контрольованими матеріалами, такими як сталь або бетон. Транспортне навантаження не є статичним і зазнає значних змін в залежності від його складу. Крім того, існують невизначеності, пов'язані з моделями розрахунку.

Невизначеності, пов'язані з ключовими факторами та моделями, що впливають на дорожнє покриття, можна згрупувати у такі чотири категорії:

1. Просторова мінливість, що включає реальну різницю в основних властивостях матеріалів від однієї точки до іншої в шарах, що вважаються однорідними, і коливання властивостей матеріалу та перерізу через якість робіт при будівництві конструкції;

2. Варіабельність, обумовлена неточністю у кількісному визначенні параметрів, що впливають на показники дорожнього покриття, тобто випадковою похибкою вимірювання при визначенні міцності робочого шару земляного полотна та оцінки інтенсивності рух;

3. Упередженість моделі через припущення та ідеалізацію складної моделі аналізу дорожнього покриття з простим математичним виразом;

4. Статистична помилка через невідповідність рівняння регресії.

Процедура проектування, що на практиці, як правило, не враховує невизначеності, пов'язані з вхідними параметрами та моделями. Вхідні параметри, задіяні в системі проектування, швидше трактуються як детерміновані. Оскільки вхідні параметри, на яких базується система проектування дорожнього покриття, демонструють значну мінливість, детермінована конструкція дорожнього покриття може бути не надійною, а довговічність дорожнього покриття може бути не на рівні очікуваних.

Історично склалося, що зміни або невизначеність (у конструкції дорожнього одягу) враховуються використанням факторів безпеки або довільними рішеннями, заснованими на досвіді. Однак використання факторів безпеки, таких як рівень надійності при проектуванні дорожніх покриттів, що не враховує невизначеність характеристик матеріалів, навантаження та конструктивних факторів, призводить до значних помилок.

Поняття надійності може бути використано для кількісної оцінки невизначеності, пов'язаної з проектними рішеннями. Надійність можна розглядати як ймовірність безвідмовної роботи, протягом встановленого часу, коли покриття при експлуатації виконуватиме встановлені функції. Однією з таких функцій є забезпечення певних функціональних можливостей (тобто, міцності, деформативності, нерівності, зчеплення тощо у встановлених межах) протягом проектного періоду. Іншими словами, надійність – ймовірність того, що дорожнє покриття дійсно буде працювати на рівні або вище передбачуваного рівня якості, або що термін його служби буде рівним або більшим, ніж передбачався проектом.

Існує два основних підходи до проектування дорожнього покриття, а саме: емпіричний процес та механіко-емпіричний процес (МЕ) [89 – 93]. У процесі емпіричного проектування рівняння показників дорожнього покриття розробляються на основі досвіду, і це не передбачає структурного аналізу дорожнього покриття. З іншого боку, підхід до проектування МЕ базується на оцінці критичних параметрів деформації напруження, отриманих в результаті структурного аналізу дорожнього покриття та калібрування рівняння руйнування на основі характеристик польових досліджень.

Впровадження в дорожню галузь сучасних технологій проектування, будівництва, моніторингу, та експлуатації дорожніх одягу виводить на перший план завдання управління їх станом [11, 12]. Вирішення цього завдання є надзвичайно важливим як з технічних, так і економічних позицій, так як з одного боку якісний і надійний дорожній одяг, здатний заощадити значні кошти, пов'язані з його подальшим утриманням, а з іншого знизити ризик дорожньо-транспортних пригод та забезпечити високий комфорт для учасників дорожнього руху.

Умовно стан дорожнього одягу можна класифікувати за трьома рівнями безпеки:

Справний (Нормативний)- показники відповідають допустимим значенням, ділянку з даної дорожньої конструкцією не вимагає проведення робіт з капітального ремонту);

Умовно справний (Задовільний) - є об'єктивна причина зниження структурних показників стану дорожнього одягу нижче нормативних значень, що вимагає проведення детального обстеження для розробки стратегії збереження);

Несправний (Незадовільний) - показники нижче допустимих значень, стан дорожньої конструкції вимагає проведення капітального ремонту.

Основними індикаторами стану дорожнього одягу в такому випадку стають дефекти, які проявляються на покритті дорожнього одягу. З огляду на, що у вітчизняній практиці немає єдиного критерію відмови дорожнього одягу, доцільно виділити дві групи відмов: потенційна і функціональна відмова. Виходячи з визначення під відмовою слід розуміти початок ініціації окремих дефектів і

руйнувань в шарах дорожньої конструкції, що не приводить до перебоїв в роботі, але є джерелами руйнувань в подальшому.

Потенційно відмова проявляється у вигляді наступних дефектів, що виявляються у вигляді таких дефектів:

- окремих поперечних тріщин на відстані (10 – 20) м;
- одиночних поперечних тріщин (8 – 10) м;
- одиночних поперечних тріщин на відстані (5 – 8) м;
- подовжньої тріщини по лінії накату;
- колійність глибиною до 25 мм.

Під функціональною (структурною) відмовою слід розуміти стан дорожнього одягу, що виявляється у вигляді таких дефектів покриття, як:

- часті поперечні тріщини;
- колійність понад 25 мм;
- сітка тріщин.

Стан дорожньої конструкції крім візуального обстеження, характеризується несною здатністю на етапі експлуатації (значеннями як загального модуля пружності для всієї конструкції, так і модулями пружності окремих шарів). Однак ці результати не достатньо використовуються при оцінці надійності та призначенні видів ремонту дорожніх одягів.

Теорія надійності послужила основою формування ймовірнісних методів розрахунку. Основи ймовірнісного підходу до розрахунку будівельних конструкцій розробили М.С. Стрелецький, А.Р. Ржаніцин, В.В. Болотін, А.М. Фрейденталь та інших дослідників [13, 14, 15, 16, 17].

Надійності конструкцій дорожнього одягу достатньо повно розглянута в дисертаційній роботі [18, 19], що дозволило сформулювати методи їх проектування з урахуванням фактичного неоднорідності навантажень та розкиду геометричних параметрів та даних фізико – механічних характеристик ґрунту та шарів дорожнього одягу. Представлені нижче експериментальні дані дозволяють більш повно врахувати фактичне значення характеристик матеріалів, навантажень та фактичного загального

модуля пружності та його варіацію для цілей оцінки та забезпечення надійності нежорстких дорожніх одягів.

Оцінка неоднорідності конструкції дорожнього одягу (КДО) уточняється за результатами спостережень за зміною інтенсивності руху та складу транспортного потоку, визначення загального модуля пружності та його варіації, з подальшим застосуванням їх в розрахунках при проектуванні нових конструкцій дорожніх одягів, їх посилення та реконструкції із заданою надійністю.

Ймовірність виходу КДО із ладу F доцільно розраховувати не лише задаючись проектним строком експлуатації t , а й окремо враховуючи сумарну кількість прикладення навантаження N_{sum} . Цю характеристику доцільно розглядати, як ймовірність настання несприятливої події протягом розрахункового строку експлуатації t . Сумарну кількість прикладення навантаження N_{sum} важко прогнозувати на розрахунковий термін експлуатації, оскільки вона залежить від багатьох факторів, в числі яких є і економічні умови середовища. Таким чином, надійність конструкції доцільно задавати та розраховувати окремо за прийнятими критеріями.

Значний внесок у розробку і впровадження методу розрахунку нежорстких дорожніх одягів внесли: М.М. Іванов, А.М. Кривиський, М.Б. Корсунський, Б.І. Коган, Н.А. Пузаков, А.Я. Тулаєв, В.Д. Казарновський, П.І. Теляєв, Ю.М. Васильєв, Ю.М. Яковлев, А.О. Салль, В.К. Апестін, О.Ю. Мерзлікін, А.К. Біруля, Б.С. Радовський, А.В. Смирнов, С.К. Ілліополов, В.П. Матуа, Е.В. Углова і інші вчені. Завдяки їх зусиллям і багаторічним дослідженням була створена, розвинена і впроваджена в практику методика розрахунку нежорстких дорожніх одягів, яка лягла в основу діючих в даний час нормативних документів: ДСТУ-Н Б В.2.3-39 та ГБН В.2.3-37641918-557:2016 [20].

Дослідженню методів оцінювання міцності та надійності нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням впливу навантаження на показники його ТЕС присвячено роботи: А.Г. Батракової, В.А. Веренька, М.М. Дмитрієва, І.П. Гамеляка, Л.Б. Гезенцвея, М.В. Горелишева, С.К. Іліополова, В.Д. Казарновського, А.І. Лантух-Лященко, І.І. Леоновича, А.Ю. Мерзлікіна, В.В. Мозгового, Є.І. Оксеня,

Д.О. Павлюка, С.Ф. Пічугіна, В.П. Поліщука, Б.С. Радовського, В.Я Савенка, О.С. Славінської, Н.В. Смірнові та інших. Серед закордонних досліджень слід відзначити роботи Baecher G. B., Christian J. T, Harr M. E., Hasofer A. M., Lind N. C., Cornell, Ranganathan R., Darter M. I., Hudson W. R., George K. P., Alsherri A., Shah N. S., Killingsworth B. M., Zollinge, D. G., Kenis W., Wang, W., Potter J.C., Kulkarni R. B., Kim H. B., Buch N., R. Burton Litton та інших [21-30].

Загальним підходом до визначення надійності передбачається аналіз граничних станів елемента. В розрахунках транспортних споруд розглядається дві групи граничних станів, за межами яких споруда або її елемент не задовольняють вимогам експлуатації:

- за повною неможливістю експлуатації елементів конструкцій, ґрунтових основ, або втратою несної спроможності споруди в цілому;
- за перешкодами до нормальної експлуатації, зменшенню проектної довговічності споруди.

Граничні стани II групи можуть бути зворотними, якщо їх прояви зникають, коли буде усунуто дію що їх спричинила (наприклад, деформація від тимчасового навантаження), або незворотними, тобто такі, що залишаються після усунення дії, яка їх спричинила.

Сучасне формулювання проблеми довговічності наведено в документі Об'єднаного комітету з безпеки споруд за 1999 р – як ймовірність досягнення граничного стану за час t . Для цього вводиться функція граничного стану, залежна від часу:

$$g(X,t) = R(X,t) - Q(X,t), \quad (1.1)$$

де $R(X,t)$ – узагальнений опір елемента;

$Q(X,t)$ – узагальнений навантажувальний ефект;

X – вектор базових змінних;

t – змінна часу.

Сама функція надійності, як ймовірність досягнення граничного стану за час t має вид:

$$P(t) = \text{Prob}[\min g(X(t), t) < 0 \text{ для } 0 < t \leq T], \quad (1.2)$$

або в термінах функції граничного стану

$$P(t) = \text{Prob}[R(X, t) - Q(X, t) < 0]. \quad (1.3)$$

Таким чином, довговічність сформулюється як поняття функціонально зв'язане з надійністю. Максимальне значення t що задовольняє залежностями і є довговічність T .

Так для випадку елемента, експлуатація якого призупиняється після першої відмови, середня довговічність T визначається інтегралом:

$$T = \int_0^{\infty} t \cdot p(t) dt, \quad (1.4)$$

де t – час

$p(t)$ – частота відмов, щільність часу досягнення граничного стану

$$p(t) = \frac{-dP(t)}{dt}, \quad (1.5)$$

Інтегруванням (1.12) по частинам, з урахуванням (1.1), отримується інтеграл, що дає середнє значення довговічності

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (1.6)$$

де $P(t)$ – випадкова функція надійності.

Є усталеним позначати характеристику безпеки грецьким символом p . В літературі англійською чи французькою мовами параметр p називають *індексом надійності (безпеки)*.

Характеристика безпеки вводиться, як параметр надійності у випадку нормального розподілу узагальнених опору R та навантаження Q . Резерв несної здатності матиме характеристики розподілу, які отримуються через характеристики розподілу R та Q :

$$\mu_S = \mu_R - \mu_E; \sigma_S^2 = \sigma_R^2 + \sigma_E^2; \sigma_S = \sqrt{\sigma_S^2}, \quad (1.7)$$

де μ - математичне сподівання узагальненого резерву опору елемента; σ - середнє квадратичне відхилення (стандарт) узагальненого резерву опору елемента.

А сама характеристика безпеки визначається так:

$$\beta = \frac{\mu_S}{\sigma_S}, \quad (1.8)$$

Графічна інтерпретація характеристики безпеки наведена на рис. 1.1.

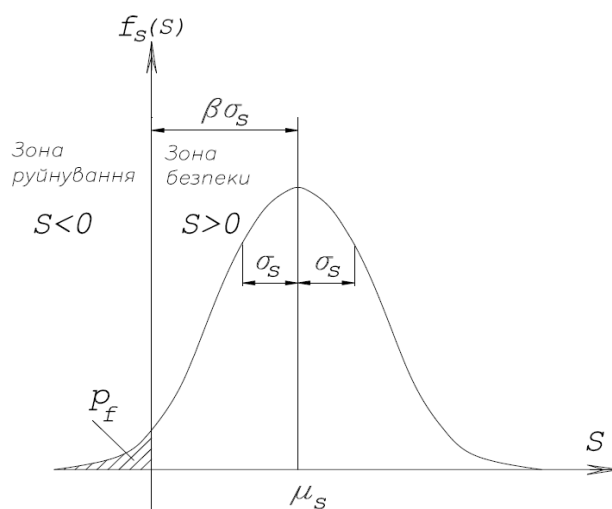


Рисунок 1.1 – Розподіл узагальненого резерву опору елемента

Дана методика потребує уточнення в частині уточнення параметрів моделі навантаження Q .

Становлення і розвиток основ, трактування понять надійності в сфері будівництва пов'язується, перш за все, з роботами Н.С. Стрілецького [31-33] 1938-1947 рр. і А.Р. Ржаніцина [34-36] 1947-1952 рр. Підходи до оцінки міцності конструкцій були викладені в роботах М. Майєра в 1926 р [37], Н.Ф. Хоціалова в 1929 р [38] і М.С. Стрілецького в 1938 р [31].

У роботі А.Р. Ржаніцина (1947-1952) [35, 39, 40] був закладений базис сучасної теорії надійності, що представляє собою виклад двох фундаментальних наукових ідей:

- показана статистична природа міцності конструкції і параметрів її навантаження і доведено необхідність ймовірнісної оцінки працездатності споруди;
- закладені основи методу граничних станів.

У монографії Р.Е. Мельчерса [41, 42] та у роботах Б.В. Гнеденко викладено поняття про три класи граничних розподілів [43-45] – стало першим кроком у розвитку теорії надійності.

У роботах В.В. Болотіна [39, 46, 47] представлено розуміння принципів теорії надійності і перехід «від елементарних методів теорії ймовірностей до методів теорії випадкових функцій». Три взаємопов'язані наукові ідеї лягли в основу нового напрямку:

- зовнішні впливи на конструкцію і її поведінка в процесі експлуатації суть випадкові процеси, що протікають у часі;
- надійність ототожнюється з ймовірністю знаходження параметрів конструкції в деякій допустимій області, викид параметрів з цієї області трактується як відмова;
- відмова конструкції є наслідком поступового накопичення пошкоджень.

У своїх працях А.Р. Ржаніцин [14,48-51] описує методології розрахунку будівельних конструкцій на надійність, що відкривають нові шляхи становлення теорії надійності.

Серед прикладних досліджень надійності в проектуванні будівельних конструкцій найбільш відомі монографії: В. Райзера [52], Чиркова В.П. [38] Маєра (1926) [37], Фрейденталь (1956) [53], А.Р. Ржаніцина (1957) [54], Баслера [55], М.І. Бейкера [56], О. Дітлевсен [57, 58,], А.М. Хасофер і Н.К. Лінд [59], Д. Венціано [60-62].

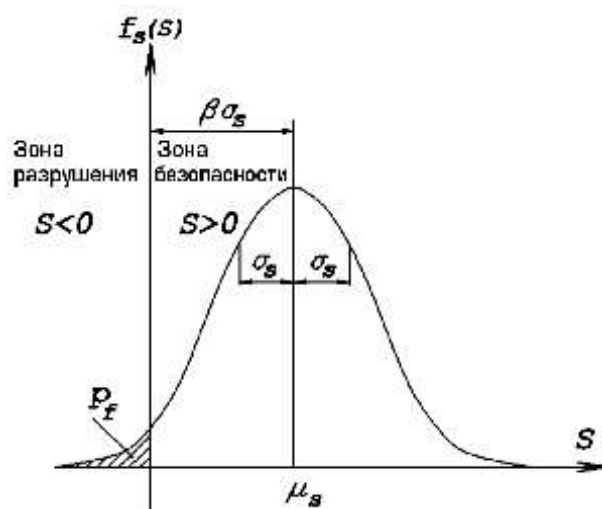


Рисунок 1.2 – Функція розподілу резерву міцності Z

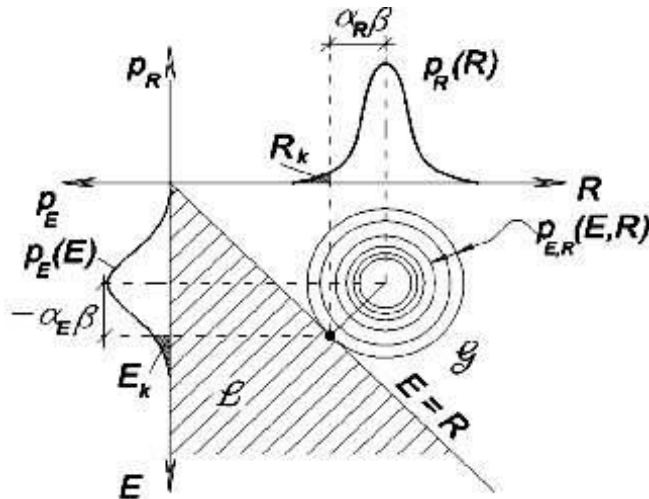


Рисунок 1.3 – Геометрична інтерпретація характеристики безпеки

У монографіях досліджень теорії надійності за останні 20 років [28, 41, 56, 57, 60, 63-65,], альтернативною аналітичним моделям стали використовуються – *стохастичні моделі*, які описують накопичення ушкоджень як процес, еволюція якого в часі визначається ймовірнісними [66, 67].

Істотний внесок в систематизацію, узагальнення та практичне застосування досліджень в теорії надійності внесла велика група вчених, що працюють під егідою Об'єднаного комітету безпеки конструкцій - JCSS Дж.Д. Соренсен [68, 69, 70], М.Х. Фабер [71], Й. Феррі Боржес [72], Й. Шнейдер [73], Р. Раквітц [74] та інші. [75, 76].

Велика кількість прикладних досліджень було опубліковано в зв'язку з розробкою Євро Кодів EN 1990: 2002 [58] в 80-90 роках [40, 52, 67, 77- 80,]. Концепція надійності, викладена в цих дослідженнях, так і сам Євро Код стали базисом цілого ряду новітніх національних нормативних документів України [81-84].

Говорячи про прикладні дослідження в теорії надійності, не можна не згадати українську школу. До початку нового століття в Україні склалася відома національна наукова школа. Широкою популярністю в Україні користуються

монографії А.В. Перельмутера [85, 86] та С.Ф. Пічугіна і учнів його школи [87, 88].

В дисертаційній роботі Урдзіка С.М. та роботах його наукового керівника Батракової А.Г. [89, 90, 135, 136] надійність є мірою адекватності проекту і розглядається як ймовірність безвідмовної роботи конструкції, за якою не буде перевищено граничний стан та представлена у вигляді:

$$H = \int_{TCI_{min}}^{TCI_{max}} f(TCI) dTCI,$$

де TCI_{max} , TCI_{min} - відповідно максимальне і мінімальне значення індексу технічного стану дорожнього одягу, за яким оцінюється рівень надійності конструкції дорожнього одягу; $f(TCI)$ - функція розподілу параметра.

Таким чином, наведені залежності загальної теорії надійності є теоретичної базою розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу, однак окремі положення щодо врахування впливу параметрів навантаження та його варіація враховано недостатньо та потребують окремих досліджень.

1.2. Основи розробки моделі навантаження на конструкції дорожнього одягу

Механістично-емпіричне (МЕ) проектування дорожнього одягу

Структурне проектування дорожнього покриття - це процес знаходження значень товщини різних шарів дорожнього покриття. Як зазначалося раніше (розділ 1.1), даний процес проектування дорожнього покриття можна розділити на два основних підходи, а саме: емпіричний метод та механіко-емпіричний метод (МЕ). Механістичне проектування дорожнього покриття розглядається як найпотужніша методологія проектування дорожнього покриття і стає все більш популярним у різних країнах [91 - 95].

Процедура проектування дорожнього покриття зобов'язана своїм значним результатам, про які повідомив Dorman ще в 1962 році. Він постулював два критерії відмови для проектування бітумних покриттів, які навіть сьогодні розглядаються як основа механістичного проектування дорожнього покриття. Робота Dormanа

базувалася на двох інших роботах, зроблених Pell спільно з лабораторією Shell у 1960 р. та Monismit у 1961 р., окремо, але майже одночасно (як повідомляють Chakroborty і Das 2003). Тоді він був названий раціональним методом проектування дорожнього покриття, який зараз відомий як механістичний метод проектування [91 – 95].

МЕ підхід до проектування заснований на механіці дорожнього одягу, механіці матеріалів, яка пов'язує вхідні дані, такі як колісні навантаження, з вихідними показниками, такими як реакція дорожнього покриття. Потім реакція використовується для прогнозування руйнування покриття (включаючи тріщини) та довговічності на основі лабораторних експериментів та польових випробувань. Польові випробування та коригування необхідні, оскільки лише механічна теорія виявилася недостатньою для прогнозування проблем і показників дорожнього покриття (Huang 1993). МЕ конструкція поєднує елементи механічного моделювання та спостереження за робочими характеристиками при визначенні необхідної товщини покриття для сукупності проектних умов. Механічна модель базується на елементарній фізиці та визначає реакції дорожнього покриття на навантаження на колеса з точки зору напруження, деформації та переміщення. Емпірична частина конструкції використовує реакції дорожнього покриття для прогнозування терміну експлуатації дорожнього покриття на основі фактичних показників визначених на дослідних ділянках. У цьому методі проектування дорожнього покриття на основі теорії та польових спостережень необхідно встановити низку критеріїв розрахунку, пов'язаних із конкретними руйнуваннями та характеристиками дорожнього покриття. Це на відміну від методу проектування дорожнього покриття Американської асоціації державних службовців автомобільних доріг та транспорту (AASHTO), де більшість критеріїв проектування емпірично базуються на результатах дорожніх випробувань, отже, обмежуються умовами, що мали місце під час цього тесту. Хоча емпіричні методи широко використовуються з успіхом, виникає проблема, коли інженер повинен відповідати умовам, відмінним від початкового тесту. Отже, МЕ методи мають суттєву перевагу перед суто емпіричними методами проектування, і тенденція проектування дорожнього покриття полягає у розробці та впровадженні МЕ методів

проектування. З цієї причини в Керівництві з проектування дорожнього покриття AASHTO 2002 було включено принципи МЕ, де методи проектування покриття є процедурами, заснованими на МЕ.

Використання емпіричних методів було усталеним і загальновизнаним підходом до проектування товщини; однак їх недоліки стають все більш поширеними з поглибленням розуміння МЕ проектування. Конкретними перевагами МЕ конструкції перед традиційними емпіричними процедурами є те, що вона дозволяє:

- розглядати змін типу навантаження;
- краще використовувати характеристики наявних матеріалів;
- покращувати прогнози продуктивності;
- покращувати визначення ролі конструкції шляхом визначення параметрів, які мають найбільший вплив на ефективність дорожнього покриття;
- встановлювати зв'язки властивостей матеріалу з фактичними показниками дорожнього покриття;
- краще визначати існуючі властивості шару дорожнього покриття, а також адаптація впливів навколишнього середовища та старіння.

По суті, МЕ конструкція має можливість змінюватись та адаптуватись до нових розробок проектування дорожнього покриття, спираючись насамперед на механіку матеріалів. Наприклад, механічно-емпірична конструкція може точно вивчити вплив нових конфігурацій навантаження на конкретне покриття. Однак емпірична конструкція обмежується спостереженнями, на яких базувалася процедура (наприклад, навантаження на одну вісь). Окрім того, оскільки процес розподілений на частини, нові досягнення в проектуванні дорожнього покриття можуть бути включені, не порушуючи загальної процедури.

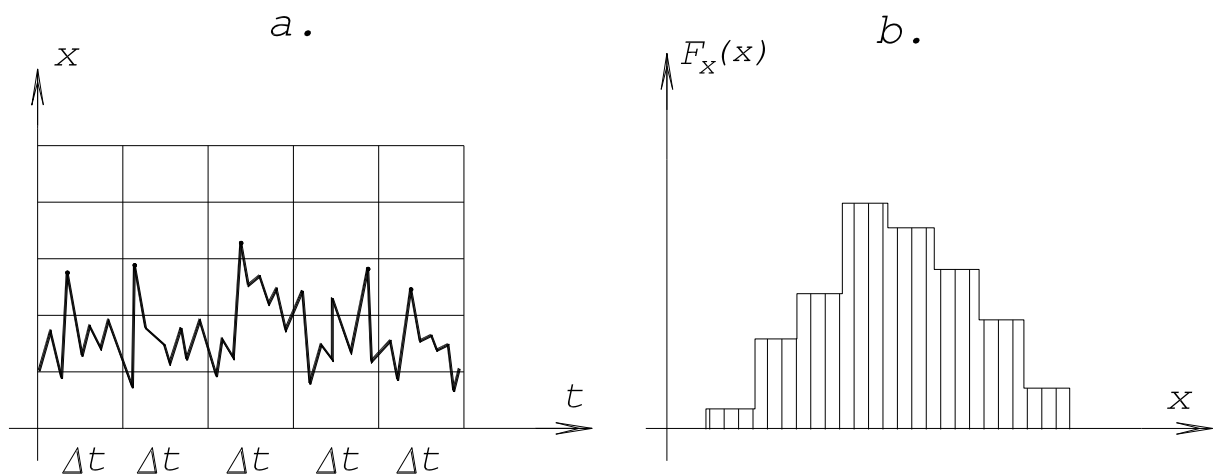
Основи розробки моделі навантаження на КДО

Модель навантаження, як і модель опору, має дві складові: фізичну і статистичну. Проте статистична модель тут є значно складнішою. Її складність в тому, що переважна більшість зовнішніх тимчасових навантажень мостів змінюються з часом. Це, в першу чергу, тимчасові рухомі навантаження транспортних потоків, вітрові навантаження, землетрусу, викликані довготривалими процесами в бетоні –

всі вони описуються як стохастичні процеси. Що стосується постійних навантажень – то вони описуються випадковими змінними, незалежними від часу.

У загальному прийнято описувати тимчасові навантаження мостів та автомобільних доріг стаціонарними процесами.

Стаціонарні процеси – такі, для яких середні значення, варіації та інші моменти реалізації є постійними для двох послідовних відрізків часу. В цьому випадку навантаження характеризуються гістограмою екстремальних значень, які спостерігались протягом певних відрізків часу (рис. 1.4). Як за звичай, період визначення рухомих навантажень мостів приймається рівним 1 року.



Стаціонарний процес навантаження

Гістограма навантаження

Рисунок 1.4 – Статистична модель та гістограма навантажень

Цей підхід дає можливість оперувати характеристиками всіх навантажень мостів та доріг, як випадковими змінними, незалежними від часу.

Таким чином, модель узагальненого опору базується на спрощених статистичних моделях процесів навантажень. Загальна форма моделі має вид:

$$Q = F(Q_M, W), \quad (1.9)$$

де F – функція якою навантаження трансформуються в зусилля;

Q_M – статистична модель навантаження;

W – топологічні характеристики, якими описується розрахункова схема.

Вони можуть бути також статистично модельованими, хоча частіше вважаються детермінованими.

Статистична модель навантаження є аналогічною моделі опору. Проте тут за статистично модельовані приймаються *верхні* значення вирахувані, за звичай, із *забезпеченістю* 0,95 (95 %). В інших термінах, статистично модельовані значення це такі, ймовірність появи яких є $p_f = 0,95$. На графіку розподілу нормативне значення навантаження знаходиться справа від середнього значення (рис. 1.5).

Обчислюються статистично модельовані значення характеристик опору за формулою

$$Q_M = \mu_Q (1 + k_Q V_Q). \quad (1.10)$$

Для моделювання навантажень застосовуються частіш за інші нормальний чи логнормального закони розподілу. Навантаження від вітру та сейсмічні моделюються за законами Вейбула чи Гумбеля.

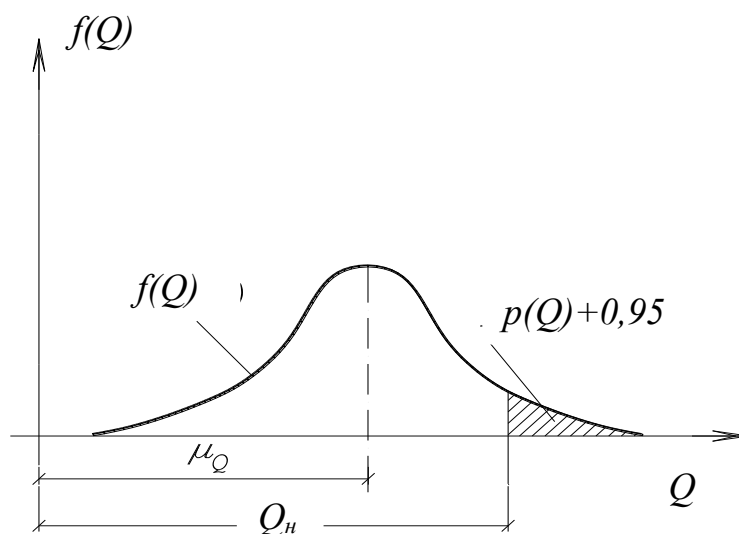


Рисунок 1.5 – Визначення нормативного значення навантаження Q_n

Коефіцієнт забезпеченості k_Q визначається формулами наведеними вище, в яких змінено знак аргументу. Очевидно, що за абсолютною величиною він дорівнює k_R

$$k_{0,95} = \frac{(Q_k - \mu_Q)}{\sigma_Q} = 1,645, \quad (1.11)$$

В табл. 1.1 для поширених законів розподілу наведені числові значення коефіцієнта $(1 + k_Q V_Q)$, який показує наскільки більше від середнього значення складає випадкова змінна Q при 95% забезпеченості.

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнта $(1 + k_Q V_Q)$ при 95 % забезпеченості

Тип закону розподілу	Значення коефіцієнта $(1 + k_Q V_Q)$ при таких значеннях V_R			
	0,1	0,2	0,3	0,4
Нормальний	1,164	1,329	1,493	1,658
Лог-нормальний	1,172	1,358	1,552	1,750
Гумбеля	1,187	1,373	1,560	1,746
Вейбула	1,142	1,305	1,489	1,689

Зауважимо, що забезпеченість навантажень нерідко приймається у 98% і навіть 99%, як наприклад для гідравлічних.

Дані параметри запропоновані А.І. Лантух-Лященко стосовно проектування вітчизняних мостів і наведені в [81, 83, 84,].

Стосовно проектування конструкцій дорожнього одягу даних набагато менше і вони потребують узагальнення. Згідно підходів наведених нижче.

1.3 Аналіз досліджень по встановленню розрахункових навантажень

1.3.1 Аналіз досліджень в Україні

Автомобільна дорога це складна інженерна система. Можна виділити три основні причини, які формують незадовільний існуючий стан автомобільних доріг:

- 75 % мережі автомобільних доріг запроектовані та побудовані під розрахункове навантаження 6 т на вісь;
- відсутність систематизованого підходу по врахуванню кліматичних впливів, включаючи процеси водного та теплообміну;
- відчутно збільшені навантаження на дорожню конструкцію від сучасного рухомого складу.

Розглядаючи одну з причин не вирішити проблеми в цілому, тому для поліпшення стану варто комплексно підходити до проблеми приділяючи однакову

увагу окремим складовим транспортного потоку (інтенсивність, інтервал руху, склад транспортного потоку, швидкість руху транспортних засобів то що).

Аналіз напружено-деформованого стану дорожньої конструкції показав, що основне руйнівний вплив на автомобільну дорогу виконують вантажні транспортні засоби, автопоїзди, рух яких здійснюється з навантаженнями що нерідко перевищують нормативні (понад 30 %).

Діюча методика приведення великовагових транспортних засобів до розрахункових навантажень, викладена в нормативному документі з проектування нежорстких дорожніх одягів (ГБН В.2.3-37641918-559), не дозволяє врахувати варіативність параметру транспортного потоку та ТЗ за конструктивними схемами, їх швидкість руху, розподіл навантажень по осях і їх взаємний вплив при розрахунку дорожніх конструкцій, що нерідко призводить до помилкових конструктивних рішень.

В даний час очевидна необхідність удосконалення методики розрахунку дорожніх конструкцій з урахуванням динамічного впливу великовагових транспортних засобів. Транспортні засоби створюють комплексне навантаження на конструкції дорожніх одягів, виражене в характеристиках транспортного потоку, що призводить до її руйнування. Стандартні методики з визначення параметрів конструкції дорожнього одягу спираються на граничні показники, які отримують, в основному, при руйнуванні зразків у лабораторних умовах, в результаті чого вони не показують реальну взаємодію з транспортним потоком, а тільки характеризують властивість самого матеріалу - асфальтобетону. Для правильного прогнозування довговічності дорожніх одягів нежорсткого типу бажано оцінювати їх еквівалентними показниками, що викликає певну складність як у проведенні таких досліджень, так і в оцінці отримуваних даних.

У нормативній літературі визначення «діагностика автомобільних доріг» характеризує обстеження, збір та аналіз інформації про параметри, характеристики та умови функціонування доріг і дорожніх споруд, наявність дефектів і причин їх появи, параметри транспортних потоків та іншу необхідну для оцінки та прогнозу стану доріг і дорожніх споруд в процесі подальшої експлуатації інформацію.

Оцінка експлуатаційних параметрів дорожнього покриття спирається на велику кількість показників, не пов'язаних між собою, і, на жаль, залежності між ними мало корельовані. У той же час вдосконалення методів розрахунку та контролю технології будівництва дорожніх конструкцій сприяє поліпшенню експлуатаційних характеристик, підвищенню надійності та безпеки дорожнього руху, а також ефективному використанню фінансових ресурсів галузі.

Для повного та об'єктивного дослідження роботи дорожньої конструкції, при впливі транспортних засобів, що рухаються по поверхні, що має нерівності (ідеально рівні можуть бути тільки теоретично), необхідно особливу увагу приділяти адекватному опису динамічної дії навантаження.

Принципові основи і методика досліджень режиму автомобільного руху та встановлення параметрів навантажень для проектування дорожніх одягів на Україні закладені роботами ХАДІ, МАДІ-ТУ, КАДІ (НТУ) у 70 – 80 рр минулого століття.

В останні десятиріччя в рамках програми TACIS (1999 – 2003 рр.) та в ДП «Укрдїпродор» (2005 – 2018 рр.) проводилися дослідження режиму руху, головним чином, для визначення пропускної здатності доріг на магістральних дорогах і вибірккові дослідження проведені в НТУ на конкретних маршрутах. Системних досліджень параметрів руху та навантажень від сучасних транспортних засобів в Україні на СНД в останні десятиліття не проводилось.

В нормативних документах до 2015 р. прийняті розрахункові параметри ТЗ до недавнього часу не мали достатнього наукового обґрунтування і часто суперечили одне одному. Так згідно Додатку Ж «Розрахункові навантаження» [163]. Параметри для визначення розрахункового сумарного числа прикладення навантаження за термін служби дорожнього одягу (ГБН В.2.3-37641918-559) Дорожній одяг нежорсткого типу при проектуванні дорожніх одягів за розрахункові приймають нормовані навантаження згідно ДБН В.2.3-4:2004, що відповідають граничним навантаженням на вісь автомобілів (таблиця Ж.1) [148] інтенсивність дії навантаження приймалася $p = 0,6 - 0,7$ МПа.

При проектуванні нежорстких дорожніх одягів за розрахункові (крім випадків, зазначених у ГБН В.2.3-37641918-559:2004 Дорожній одяг нежорсткого типу)

приймались нормовані навантаження, що відповідають граничним навантаженням на вісь автомобілів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Розрахункові параметри навантаження

Група розрахункового навантаження	Нормативне статичне навантаження на вісь, кН	Нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля, $Q_{розр}$, кН	Розрахункові параметри навантаження		
			p , МПа	n , см	d , см
A_1					
A_2					
Б					

При проектуванні дорожніх одягів нежорсткого типу згідно ГБН В.2.3-37641918-559 та жорсткого типу ГБН В.2.3-37641918-557. Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів за розрахункові приймають (таблиця Д.1) [163] $p = 0,8$ МПа. У випадку, коли на автомобільній дорозі суміжні ділянки мають різні типи покриття (жорсткі та нежорсткі) проектувальники вимушені вибирати різний тиск в пневматику, хоча транспортні засоби рухаються одні і ті ж.

Вказані параметри не мають достатнього сучасного експериментального підтвердження та базуються на даних 70–80 рр. минулого століття.

В Україні по даний час відсутній ДСТУ Навантаження та габарити, який встановлює допустимі параметри навантаження необхідні для проектування дорожніх одягів.

Для прикладу в країнах бувшого СРСР діяв ГОСТ 5513-97 в якому, наприклад, встановлено параметри тиску в шині для найбільш поширених автомобільних шин з радіусом 22,5 встановлено тиск 0,89 МПа. При загально прийнятому коефіцієнті динамічності 1,3 інтенсивність розподілення навантаження колеса на дорогу рівна $0,89 \cdot 1,3 = 1,16$ МПа, що наближається або перевищує границю міцності асфальтобетону на стиск при температурі +50 С згідно ДСТУ Б В.2.7-119 [96] таблиця 8 – 9. Вказаний факт є однією з основних причин появи колійності на автомобільних дорогах України.

В процесі виконання роботи необхідно отримати закономірності, які дають змогу прогнозувати параметри режиму руху транспортних засобів (інтенсивність, швидкість руху, навантаження на вісь тощо) із заданою ймовірністю, що необхідно при розрахунках конструкцій дорожнього одягу на динамічну дію навантаження. На основі отриманих даних необхідне приведення фактичної інтенсивності руху до розрахункового нормативного навантаження. Для цього необхідно розглянути марки конкретних транспортних засобів вітчизняного та закордонного виробництва, які найбільш часто рухаються автошляхами України та визначити сумарну інтенсивність руху розрахункових осей за весь строк служби, для чого необхідно організувати та провести фіксування інтенсивності руху для отримання лагів протяжністю 3 – 10 років.

Через неконтрольований рух великовантажних транспортних засобів та недофінансування дорожньої галузі, як наслідок, обсяг руйнувань та деформацій на автодорогах загального користування збільшився за останні 7 років до 50 % від загальної протяжності.

Через постійне недофінансування дорожня галузь має в даний момент наступні негативні наслідки:

- істотне погіршення технічного стану автомобільних доріг та рівня безпеки дорожнього руху;
- відсутність можливості розвитку (будівництва та реконструкції) існуючої мережі автомобільних доріг відповідно до темпів зростання національної економіки країни та інтенсивності руху транспортних засобів і вантажних перевезень;
- відсутність можливості повного використання транзитного потенціалу країни;
- відсутність можливості здійснювати технічне переоснащення дорожньої галузі, широко впроваджувати нові, технології, машини, механізми, матеріали, конструкції, інформаційно-аналітичні системи управління транспортними потоками та дорожнім господарством;
- незворотної руйнування, і небезпека втрати стратегічної мережі автомобільних доріг.

Прагнення підвищити вантажність автотранспортних засобів призводить до збільшення навантаження на вісь, внаслідок чого зростають витрати на будівництво та ремонт доріг. При цьому вартість будівництва нового дорожнього одягу (яка складає близько (50 – 60) % вартості будівництва дороги) приблизно пропорційна розрахунковому навантаженню на вісь, а вартість ремонту існуючого дорожнього одягу приблизно пропорційна співвідношення осевих навантажень, піднесеному до 4-го степеню. Іншими словами, збільшенню максимально допустимого навантаження на вісь приводить до швидкого руйнування доріг і повинно проводитися після зміцнення дорожнього одягу.

1.3.2. Аналіз досліджень по встановленню розрахункових навантажень в за кордоном

Асоціацією дорожників США AASHTO в 50-х роках минулого століття проводились дослідження по встановленню стандартів та залежностей по визначенню навантажень, що діють на дорожній одяг. Серед усіх факторів, що впливають на стан і роботу покриттів, кількість навантаження на вісь є одним з найбільш важливих. Очевидно, що точний прогноз руху вантажних автомобілів дуже важливий при проектуванні нових покриттів, їх технічного обслуговування та ремонті існуючих покриттів. Для зручності, різні групи навантаження зведено в поняття еквівалентного навантаження на одну вісь (ESAL), що показано в рівнянні 1, яке використовується для вимірювання ефектів навантаження від осі на покриття (Хуанг, 1993). У рівнянні 1, m – кількість осей навантаження, F_i є еквівалентом фактору навантаження на вісь (EALF) для i -ї вісі, а N_i – число проходів i -тої групи навантаження за розрахунковий термін експлуатації.

$$ESAL = \sum_{i=1}^m F_i n_i, \quad (1.12)$$

Американська асоціація державних автомобільних доріг та транспорту (AASHTO) провела великомасштабні дорожні випробування в 1950-х роках по встановленню значень ESAL для транспортних засобів з однією віссю та здвоєною

для різних типів покриття. У 1972 році з даних дорожніх випробувань AASHTO були отримані емпіричні залежності EALF для одинарних та здвоєних осей. У 1986 році емпіричних залежності EALF були поширені на транспортні засоби із трьома осями.

Моделі регресії *EALF*, розроблені AASHTO для нежорстких дорожніх одягів показано в рівняннях 2 - 3, в яких W_{tx} - це число прикладень x - вісних навантажень в кінці строку експлуатації t ; W_{t18} - число прикладень приведених до 18 - тс на одну вісь навантажень за час t ; L_x є навантаження в кгс на одну вісь, або одну серію із здвоєними осями, або одну серію із трьома осями; L_2 – число мостів, 1 для одиночної осі, 2 для осей тандем, і 3 для трьох осей; SN - структурним числом, яке є функцією конструкції покриття; p_t - показник служби покриття, який вказує на стан покриття при якому його слід розглядати, як непридатне; G_t є функцією p_t ; і β_{18} є величиною β_x , коли L_x дорівнює 18 і L_2 дорівнює 1.

$$EALF = \frac{W_{t18}}{W_{tx}}, \quad (1.13)$$

$$\log \left(\frac{W_{t18}}{W_{tx}} \right) = 4.79 \cdot \log(19) - 4.79 \cdot \log(L_x + L_2) + 4.33 \cdot \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}, \quad (1.14)$$

$$G_t = \log \left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5} \right), \quad (1.15)$$

$$\beta_x = 0.40 + \frac{0.081 \cdot (L_x + L_2)^2}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}}. \quad (1.16)$$

Очевидно, що робота і продуктивність покриттів тісно пов'язані із взаємодією вантажівок із покриттям, і, отже, наведені вище рівняння ESAL та EALF відображають встановлену випробуваннями вантажного дорожнього руху AASHTO в 1950 -х. Природно, що дії цих рівнянь можуть бути поставлені під сумнів, якщо взяти до уваги як змінилися вантажна техніка та технології за останні 50 років.

1.4 Огляд і аналіз існуючих методів впливу транспортних засобів на дорожні одяги

1.4.1 Визначення інтенсивності руху на автомобільних дорогах державного значення

Аналіз досліджень в області теорії транспортних потоків показує, що достовірне визначення середньорічної добової інтенсивності руху неможливо без урахування закономірностей її зміни протягом доби, днів тижня, сезонів року, регіонального характеру перевізного процесу, віддаленості ділянки дороги від основних вантажно утворюючих точок, капітальності автомобільної дороги тощо.

Дослідженнями особливостей зміни інтенсивності руху та складом транспортних потоків в різних регіонах України, ближнього і далекого зарубіжжя займалися В.В. Сільянов [97], М.С. Рутенбург, А.К. Павлов, М.Б. Романов [98], А.В. Малишев, М.В. Гречнева [99], Н.П. Толстиков, В. Б. Івасик [100], Ю.М. Ситников [97, 101], Т.А. Шілакадзе, В. К. Беріашвілі, В.К. Жданова, А.А. Левіт [102], М.В. Кожемяко [103], Г. А. Мендель [104] та інші.

Аналіз існуючих методів визначення інтенсивності руху показав, що вони мають, як правило, регіональні особливості. Інтенсивність руху в більшості випадків визначається по її максимального значення в годину «пік».

Існуючі методи можна умовно розділити на наступні групи:

1 - визначення середньорічної добової інтенсивності руху по її максимальному значенню в години «пік»;

2 – визначення інтенсивності руху, засноване на регресійному аналізі залежності середньорічний добової інтенсивності від результатів спостереження за рухом автотранспорту в окремі періоди часу [6];

3 – визначення інтенсивності руху з використанням коефіцієнтів перерахунку обсягів руху в період спостереження до середньорічної добової з урахуванням часу доби, днів тижня і сезонів року[6].

Розглянемо основні методи визначення інтенсивності руху за результатами короткострокових спостережень.

1.4.2 Зміна характеристик впливу транспортних засобів

Виходячи з того, що вартість палива на кілометр перевезення не змінюється пропорційно з вагою вантажівок, економічні стимули часто провокують водіїв вантажівок до перевантаження, а, отже, внесли свій внесок у збільшення середньої ваги вантажних перевезень. В результаті випробувань AASHTO межі допустимих осьових мас були збільшені (18 – 20) кгс для однієї вісі та (32 – 34) кгс для здвоєних осей. Загальна вага збільшилася (73,28 – 80) кгс, а вантажівок з причепами (обмежена до 80 кгс) і обмеження вважалися загальнодержавними. Поряд із збільшенням обмежень по навантаженню на вісь, з'явився автопарк з новими технологіями, які не розглядалися при дорожніх випробуваннях AASHTO.

Сучасні нежорсткі дорожні одяги спроектовані на основі застарілих моделей ESAL і EALF. При тому, що технології вантажного транспорту досить великі кроки зробили з часу останніх випробувань AASHTO. Найголовніші фактори, які характеризують зміни та досягнення в галузі вантажного транспорту та впливають на показник ESAL:

1) **Зміни конструкції шин та їх вплив на дорожнє покриття.** У дорожніх випробуваннях AASHTO, всі вантажні шини були з діагональним кордом. Однак, на сьогоднішній день домінують шини з радіальним кордом, оскільки вони можуть витримати більш високі навантаження та кращу економію палива. Шини радіальної конструкції зазвичай мають більш високий контактний тиск, ніж з діагональним кордом. При випробуваннях AASHTO, тиск в шинах становив (75 – 80) фунтів/дм². Тим не менш, сьогодні вантажівки зазвичай працюють з тиском в шинах близько 100 фунтів/дм², а в деяких випадках він становить (130 – 145) фунтів/дм². Випробування показали, що діагональні шини створюють менше тиску на контактну поверхню ніж радіальні, близько 12 % менше на керованих осях і на 26 % менше від ведучих осей причепів, тому діагональні шини також мають менший середній контактний тиск на відміну від радіальних шин. Крім того, в експлуатацію вводять шини нових розмірів. Широко основні «супер одинарні» шини пропонують потенційні переваги, вони зменшують експлуатаційні витрати за рахунок забезпечення більшого корисного навантаження через зменшення кількості

потрібних коліс, і надають поліпшену економію палива. Тим не менш, є й негативний вплив «супер одинарних» шин на покриття – це зменшення площі контакту і збільшення контактного тиску. Експерименти показують, що при навантаженні на вісь 17000 фунтів, площа контакту під 385/65 R 22.5 становить на 24 % менше, ніж у подвійної 11 R 24.5 шини в зборі.

2) Зміни в компоновці мостів транспортних засобів (далі ТЗ)

Відхилення від осьових параметрів використовуваних під час випробування AASHTO робить розрахунок ESAL проблематичним. Таким чином, оновлення і доповнення бази даних інформацією про сучасні двовісні і тривісні транспортні засоби може бути корисним. Крім того, з'явилися вантажівки оснащені новою конструкцією підвіски. Підвіски пружинного типу як і раніше широко використовується в сучасних комерційних автомобілях, але забезпечують більш не комфортні умови, у порівнянні з пневматичною підвіскою. В результаті врівноваження навантаження, ощадливому ставленні до вантажів, і кращому комфорту, пневмо-пружинні підвіски стають все більш і більш популярними. Динамічна дія шини може викликати серйозні деформації покриття. Дослідження показали, що динамічна дія від шини в парі з ресорною підвіскою може бути збільшена до 159 % і тільки на 82 % в парі з пневмо-пружинною підвіскою.

Очевидно, що на ряду з новими технологіями автотранспортної галузі, вантажні автомобілі сьогодні значно відрізняються від 1950-х років. Збільшення ваги вантажних перевезень є одним з найбільш важливих факторів, який призвів до змін у вантажних технологіях за останні 50 років. Тим не менш, вантажівки можуть вельми відрізняються одна від одної з точки зору технологій навіть в один і той же період часу. Насправді, є багато інших факторів, що впливають на відмінності між вантажівками.

1.4.3 Попередні огляди тиску в шинах ТЗ

Кілька попередніх досліджень тиску в шинах вантажівок було проведено з 1980 року. Робертс провів дослідження питання тиску в шинах в Техасі в 1982 році і розробив модель кінцевих елементів шини для оцінки напружень і деформацій у

покриттях, при різному завантаженні та тиску в шинах. Б. Бартоломев здійснив дослідження тиску повітря в шинах для вантажних автомобілів в Колорадо в 1986 році і пов'язав результати досліджень із впливом на асфальтобетонне покриття. Кім провів дослідження в штаті Орегон в 1986 році і розглянув чотирьох шарову лінійну модель руйнування покриття. У 1991 році Елліотт провів дослідження в Арканзасі і вивчав вплив підвищеного тиску в шинах вантажних автомобілів на покриття, дослідивши розподіл навантаження по контакту відбитку колеса.

Слід зазначити, що жодне з перерахованих вище досліджень не було направлено на конфігурації вантажних транспортних засобів, всі вони були спрямовані тільки на тиск в шинах. Також помітним є те, що майже немає задокументованих досліджень по визначенню впливу зміни конфігурацій транспортних засобів. Насправді, майже ніяких результатів з попередніх досліджень не може бути використано.

Таким чином, дослідження повинно розглядати питання, які складаються з наступних параметрів, під назвами «Параметри первинного дослідження» і «Параметри вторинного дослідження», відповідно. Інша важлива інформація, такі як обстеження розташування, реєстрація транспортних засобів, і температури також повинні бути включені в пропонований план обстеження.

Параметри первинного дослідження:

1. Склад та тип вантажного транспортного засобу.
2. Тип підвіски.
3. Тип шин.
4. Розподіл тиску в шинах.
5. Розміри шин.
6. Відстані між осями.

Параметри вторинного дослідження:

1. Маршрути перевезення вантажів.
2. Типи вантажів.
3. Географічна інформація.
4. Категорії та напрямки доріг.

Разом з зазначеними параметрами, що представляють безпосередній інтерес, до дослідження було включено ще декілька додаткових параметрів. В якості одного з основних параметрів, що підлягають обстеженню для є тиск у шинах. Тиск у шинах розглядався як найважливіший серед всіх параметрів, що представляють інтерес із наступних двох причин:

1) Так як і збільшення ваги вантажівок, розмірів, навантаження на колеса та осі, збільшився й тиск в шинах, що є одними із ключових факторів завантаження, які були визначені такими, що сприяють прискоренню руйнування покриттів.

2) Результати попередніх досліджень тиску повітря в шинах може служити в якості показника перевантаження транспортного засобу.

1.5. Показники транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг

Система управління станом покриттів (СУСП), як інструмент оптимізації використання обмежених ресурсів.

В дисертаційній роботі використані дані показників ТЕС, які здобувачем безпосередньо виконувались, збирались та аналізувались в системі СУСП з (2006 – 2018) рр. СУСП - складний програмний комплекс, побудований на використанні великої кількості математичних і економіко-математичних моделей, які дозволяють визначити технічні і економічні вимоги до дороги, здійснювати оцінку технічного стану і техніко-економічної ситуації на ділянках доріг та описувати закономірності зміни їх з плином часу при виконанні різних за технічними показниками і вартістю дорожньо-ремонтних утручань чи без них та визначати найбільш доцільні види робіт з урахуванням обмежень ресурсів [105-111] (рис. 1.6 – 1.8).

СУСП призначена для планування ремонтів мережі доріг з метою оптимального використання фінансових ресурсів (рис. 1.7).

У більшості країн світу для планування ремонтів застосовуються аналогічні системи - PMS (Pavement Management Systems).

СУСП розроблена в 2000-2001 роках на замовлення Укравтодору і є аналогом системи Світового банку HDM-IV (Headway Development Management) [112- 114], що адаптована для застосування в більшості країн світу. Дана система функціонує у відповідності до Наказів державної служби автомобільних доріг України

(Укравтодор) від 25.10.2006 р. № 490 «Про забезпечення функціонування та розвитку СУСП» та вимог Наказу державної служби автомобільних доріг України (Укравтодор) від 12.03.2008 р. № 95 «Про забезпечення функціонування та розвитку системи управління станом покриттів, паспортизацію автомобільних доріг та проведення обліку руху транспортних засобів» (рис. 1.7).

Однією з функцій СУСП – формування банків даних про поточний стан покриття автомобільних доріг (за допомогою усіх підрозділів ДП «Укрдіпродор», ДНТЦ «Дор‘якість», НТУ, ХНАДУ та ін. організацій) з наступним визначенням ділянок з незадовільним станом за відповідним переліком показників та призначенням видів і строків проведення ремонтно- відновлювальних заходів на цих ділянках.

Ефективність виконання робіт згідно розрахунків СУСП характеризується наступними показниками:

- підвищення споживчих якостей автомобільних доріг;
- зменшення питомих витрат матеріальних, трудових та фінансових ресурсів на ремонт та експлуатаційне утримання автомобільних доріг;
- зменшення питомих обсягів використання матеріальних природних ресурсів;
- зниження собівартості перевезень вантажів та пасажирів;
- підвищення продуктивності транспортних засобів;
- підвищенням зручності та скорочення часу перебування пасажирів у дорозі;
- зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод із супутніми незадовільними дорожніми умовами та зменшення загальної кількості загиблих у них і соціально-економічних втрат від ДТП;
- зменшення зони негативного впливу автомобільних доріг та автомобільного транспорту на навколишнє природне середовище.

Система СУСП на базі ДП «Укрдіпродор» працює з 2005 року. Результатами виконання робіт по СУСП є:

- транспортно-експлуатаційні показники всіх автомобільних доріг державного значення (міцність не цементобетонних дорожніх одягів, зчіпні якості, рівність і руйнування всіх покриттів) [105, 106, 109, 111, 115]

- розрахунок необхідності проведення капітальних та поточних ремонтів з розподілом за ефективністю виконання ремонтних робіт на всіх автомобільних дорогах державного значення.



Рисунок 1.6 – Блок-схема складу робіт в системі СУСП



Рисунок 1.7 – Блок-схема розподілу повноважень в системі Укравтодору



Рисунок 1.8 – Блок періодичності визначення ТЕС показників в системі СУСП

Результатом робіт з СУСП є розробка проектів планів ремонтних робіт на наступний розрахунковий рік та на перспективу 5 років (рис. 1.9) з прийнятими рішеннями про проведення необхідних дорожніх ремонтно-відновлюваних заходів, виконання яких покращить стан дороги.

Код організації	Служби автомобільних доріг у	Капітальний ремонт		Поточний ремонт за рівністю		Поточний ремонт за зчіпними якостями		Потреба в фінансових ресурсах по роках
		км	Вартість, млн.грн	км	Вартість, млн.грн	км	Вартість, млн.грн	
2	Вінницькій області	298,0	6 847,1	606,5	6 413,1	48,5	170,5	13 430,7
3	Волинській області	215,0	6 568,5	299,5	2 739,1	11,5	36,7	9 344,2
4	Дніпропетровській області	487,0	17 211,3	356,0	4 196,3	142,5	559,1	21 966,7
5	Донецькій області	95,0	3 130,5	146,0	1 557,0	42,0	130,5	4 818,0
6	Житомирській області	188,0	4 402,7	375,5	4 095,8		0,0	8 498,5
7	Закарпатській області	232,0	5 469,4	319,0	3 550,9	5,5	18,8	9 039,1
8	Запорізькій області	250,0	6 465,0	326,5	3 139,9	5,0	18,8	9 623,6
9	Івано-Франківській області	331,0	7 379,5	250,5	2 448,7	3,0	7,8	9 836,0
10	Київській області	331,0	8 462,4	631,5	6 292,3	77,5	295,9	15 050,5
11	Кіровоградській області	208,0	4 344,9	282,0	3 165,8	6,5	19,8	7 530,5
12	Луганській області	82,0	1 416,7	129,5	779,3	94,5	269,9	2 465,9
13	Львівській області	154,0	4 950,1	97,5	755,4	11,0	42,7	5 748,2
14	Миколаївській області	323,0	9 768,9	318,0	3 522,7	32,0	95,2	13 386,7
15	Одеській області	379,0	10 150,1	276,0	3 370,4	10,5	46,5	13 567,0
16	Полтавській області	87,0	1 782,5	287,5	2 901,0	41,0	120,4	4 803,9
17	Рівненській області	249,0	5 164,6	113,0	996,3	27,0	89,3	6 250,2
18	Сумській області	295,0	6 597,3	65,0	555,5	185,5	530,6	7 683,4
19	Тернопільській області	235,0	5 142,8	345,0	3 880,7	25,5	86,3	9 109,7
20	Харківській області	170,0	2 771,0	1,0	7,9	229,0	738,4	3 517,3
21	Херсонській області	250,0	9 517,0	330,5	3 310,7	6,0	19,6	12 847,3
22	Хмельницькій області	395,0	9 730,4	404,0	4 601,6	9,0	27,8	14 359,7
23	Черкаській області	107,0	2 869,9	524,0	5 306,6	68,5	241,6	8 418,1
24	Чернігівській області	451,0	13 283,7	354,5	3 831,8	149,0	425,7	17 541,1
25	Чернівецькій області	70,0	1 148,2	24,5	235,1	1,0	2,4	1 385,7
	ВСЬОГО:	5 882,0	154 574,5	6 863,0	71 653,4	1 231,5	3 993,8	230 221,7

Рисунок 1.9 – Результати аналізу системи СУСП та розподіл коштів для виконання ремонтних засобів в масштабах України, за даними 2018 року

Визначення модуля пружності на поверхні дорожнього одягу

Зведеним показником відповідності модуля пружності дорожнього одягу вимогам існуючого руху є коефіцієнт запасу міцності одягу $K_{зм}$, який визначається як відношення фактичного модуля пружності дорожнього одягу E_{ϕ} в розрахунковий період року до модуля пружності E_n , який необхідно мати при існуючій інтенсивності та складу руху на дорозі:

$$K_{зм} = \frac{E_{\phi}}{E_n}. \quad (1.17)$$

Умовою відповідності модуля пружності дорожнього одягу вимогам існуючої інтенсивності руху є дотримання вимоги:

$$K_{зм} \geq K_{зм}^{дон}, \quad (1.18)$$

де $K_{зм}^{дон}$ - мінімально допустиме значення коефіцієнта запасу міцності одягу.

Для доріг I-II категорій $K_{зм}^{дон} = 0,95$, для доріг III категорії $K_{зм}^{дон} = 0,90$, для доріг IV категорії $K_{зм}^{дон} = 0,85$.

Необхідний модуль пружності одягу E_n в МПа на момент випробувань обчислюють за формулою:

$$E_{нотр} = 42,843 \cdot \ln\left(\sum N_p\right) - b, \quad (1.19)$$

де α , β – коефіцієнт, величина якого приймається залежно від групи навантаження відповідно до ДБН В.2.3-4; для групи A_2 $b = 315,68$; для групи A_3 $b = 350,21$; для групи В $b = 409,40$;

N_p – розрахункова добова інтенсивність руху в одиницях розрахункових осьових навантажень на одну смугу руху та визначається за формулою 6.10 [163];

$$N_p = N_{зв} f_c, \quad (1.20)$$

де $N_{зв}$ – інтенсивність руху, зведена до інтенсивності в розрахункових осьових навантаженнях;

f_c – коефіцієнт, що враховує число смуг руху;

Фактичний модуль пружності дорожнього одягу E_{ϕ} в МПа визначають за результатами польових статичних інструментальних випробувань в розрахунковий період року та обчислюють за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{pD(1-\mu^2)}{l_p}, \quad (1.21)$$

де p – питомий тиск на поверхню одягу; для розрахункових осьових навантажень групи A_2 $p = 0,6$ МПа;

D – діаметр круга, рівновеликого площі сліду колеса; для навантажень групи A_2 $D = 0,33$ м;

μ – коефіцієнт Пуассона ($\mu = 0,30$);

l_p – пружний прогин поверхні одягу від дії розрахункового навантаження, м.

При оцінці міцності дорожнього одягу треба мати на увазі, що незначний пружний прогин може свідчити не про високу жорсткість дорожньої конструкції, а навпаки, може бути наслідком її руйнування, втрати пружних властивостей, переходу в стан пластичних деформацій.

Вимірювання рівності проїзної частини

Для вимірювання рівності проїзної частини використовують поштовхоміри типу «ВСВП - УТУ», «ТХК-2», «ТЭД», «ХАДІ», причіпні установки типу ПКРС, УДВО-НТУ, «Танін-Дорекспо» та середній ходовий комплекс з обладнання ЛВС-ХНАДУ та інші, а також установки сканування поверхні покриттів, які встановлені на ходових лабораторіях. Прилади повинні пройти метрологічну атестацію згідно з ДСТУ 3215 і щорічну перевірку згідно з ДСТУ 2708 в установленому порядку.

Показання поштовхомірів при необхідності можуть бути приведені до значень індексу рівності IRI за калібрувальними кореляційними залежностями для кожного приладу окремо.

Починаючи з 2012 року вимірювання рівності проїзної частини виконують з використанням установок сканування поверхні покриттів виконується відповідно до вимог [115-119].

Оцінка міри ураження дорожнього одягу руйнуваннями та деформаціями різних типів

Дані про міру уражень дорожніх одягів руйнуваннями та деформаціями різних типів отримують шляхом натурних візуальних обстежень стану ділянок

автомобільних доріг з використанням при необхідності засобів лінійних вимірювань (рулеток, лінійок тощо), або системи відео діагностики «ОКО» ХНАДУ» для отримання даних щодо руйнувань згідно положень [120], системи сканування покриттів автомобільних доріг «ЛВС-2- ХНАДУ» згідно вимог [115, 116] для отримання даних щодо деформацій дорожнього одягу чи інших установок та приладів, які встановлені на ходових лабораторіях.

Роботи з визначення типів та обсягів руйнувань і деформацій проїзної частини виконують покілометрово. Для доріг II категорії і нижче обстеження проводять одночасно для двох смуг руху, для доріг I категорії – окремо по кожному напрямку руху. Результати визначень прив'язують до дорожніх кілометрових знаків. Ідентифікацію основних типів руйнувань та деформацій проїзної частини та встановлення їх машинних кодів (для використання програмним комплексом СУСП) здійснюють у відповідності з «Класифікатором основних типів руйнувань та деформацій дорожнього одягу». Руйнування та деформації (дефектність) дорожнього одягу характеризують мірою його ураження тим чи іншим типом руйнувань або деформацій та розповсюдженістю його на кілометровій ділянці дороги (в відсотках сумарної протяжності ділянок з даним типом руйнувань або деформацій від кілометрової довжини ділянки дороги).

Критерії оцінки міри ураження дорожнього одягу руйнуваннями та деформаціями різних типів

Міра уражень одягу кожним з типів руйнувань та деформацій диференційована за трьома рівнями – перший, другий і третій. Третій рівень означає критичний стан дорожньої конструкції за руйнуванням чи деформацією того чи іншого типу. Рівень руйнувань чи деформації дорожнього одягу визначають відповідно вимогам Додатку Б [121].

Результати оцінки міри ураження дорожнього одягу типами руйнувань та деформацій на кожному кілометровому відрізьку дороги заносять в спеціальний журнал збору даних про руйнування та деформації дорожнього одягу (додаток В) у відповідності з наведеним прикладом його заповнення. У разі використання системи відео діагностики «ОКО» результатом оцінки є відомість, приклад якої наведений у [120], а також абрис руйнувань.

Висновки

У результаті виконаного аналізу обґрунтовано основний напрямок досліджень – розроблення критеріїв і методів оцінювання надійності нежорсткого дорожнього одягу (НДО) за результатами багаторічного збору, аналізу та синтезу даних що спираються на:

а) визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку за результатами обліку безпосередньо в польових умовах та даних датчиків автоматичного обліку руху;

б) інформацію про сукупність визначальних параметрів дорожнього одягу (геометрія, товщини та характеристики шарів існуючого НДО);

в) натурні обстеження дефектів та руйнувань дорожнього покриття на мережі АДЗК за 2006 – 2018 рр.;

г) інструментальне визначення показників ТЕС (загальний модуль пружності, нерівність, зчеплення) мережі АДЗК за 2006 – 2018 рр.;

д) методи розрахунку середньодобової річної і сумарної інтенсивності руху за термін служби, розрахунку потрібного модуля пружності за результатами обробки даних визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку з 2006 р. до 2018 р.;

е) показників зміни загального модуля пружності монолітних шарів дорожнього одягу з використанням комплексного коефіцієнту руйнування дорожнього покриття, визначеного на основі врахування видів та ступеню поширення (три рівні) 18 видів руйнувань;

ж) положення теорії надійності, що дозволяють врахувати неоднорідність НДО, та потрібного модуля пружності в залежності від сумарної інтенсивності руху що обумовлена, в тому числі, при наявності деформацій та руйнувань у шарах з монолітних матеріалів.

Доведено, що найбільший вплив на надійність та довговічність конструкцій дорожнього одягу мають великовагові ТЗ, що незважаючи на можливе зменшення загального потоку ТЗ, постійно зростають та вносять основний вклад в руйнування НДО за критеріями граничного стану.

Основні результати другого розділу опубліковані в матеріалах [7, 122, 123].

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ЗА КРИТЕРІЯМИ ГРАНИЧНОГО СТАНУ З УРАХУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НАВАНТАЖЕННЯ

2.1 Удосконалення методу розрахунку надійності конструкцій за критеріями граничного стану

Для дорожнього одягу що експлуатується, характерні значні відмінності у фізико-механічних характеристиках матеріалів та геометричних параметрах шарів, що змінюються у процесі експлуатації. Дослідження, що проведені Б.С. Радовським, І.А.Золотарем, М.С. Коганзоном, В.К. Некрасовим, С.В. Коноваловим, В.В. Філіпповим, В.М. Шестаковим, Ю.М. Яковлєвим [23, 24, 124-127], А.В. Семеновим [128], В.В. Столяровим [129, 130], І.П. Гамеляком [18], доводять істотну мінливість фізико-механічних характеристик матеріалів дорожніх одягів та ґрунтів земляного полотна.

Дослідженнями Б.С. Радовського [131], І.П. Гамеляка [18], В.В. Столярова [129], А.Г. Батракової [132-139] експериментально підтверджено неоднорідність геометричних параметрів дорожніх одягів, що знаходяться в експлуатації, навіть на незначних за довжиною ділянках автомобільних доріг з подальшим встановлення зв'язку між показниками стану та надійністю конструкції дорожнього одягу.

2.1.1 Розрахунок надійності конструкцій з урахуванням моделі навантаження

Загальна методика розрахунку надійності конструкцій за критеріями граничного стану розроблена в роботі. В даному розділі розглядається питання удосконалення методики розрахунку надійності КДО з урахуванням параметрів ТЗ (навантаження на вісь, тиск в пневматику коліс, діаметру відбитку та інтервалу руху між ТЗ для розрахунку на довготривалу та короткочасну дію навантажень, та уточнення методики приведення до розрахункового навантаження та кількості прикладання розрахункового навантаження за період експлуатації.

Методика та алгоритм розроблений для розрахунків на міцність дорожніх одягів перегінних ділянок при короткочасному, багаторазовому впливі рухомих навантажень та при розрахунку стоянок при статичній дії навантаження.

Розрахунки дорожнього одягу проводять з урахуванням надійності, під якою мають на увазі ймовірність безвідмовної роботи конструкції протягом усього періоду між капітальними ремонтами. Кількісним показником надійності є рівень надійності K_n .

Конструкція дорожнього одягу повинна задовольняти наступним трьома критеріям граничного стану.

- за критерієм опору розтягу при згині;
- за критерієм опору зсуву для ґрунтової основи і шарів з незв’язних та мало зв’язних матеріалів;
- за опором пружному прогину всієї конструкції.

2.1.2 Розрахунок надійності конструкцій за критерієм зсуву

У ґрунті та слабо-зв'язних матеріалах не повинні виникати залишкові деформації, викликані пластичними зсувами.

Надійність дорожнього одягу за критерієм зсуву $K_{нт}$ визначається, як ймовірність безвідмовної роботи без накопичування деформацій зсуву в конструкції, за формулою:

$$K_{HR} = 0,5 + F(\beta_\tau) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta_\tau}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (2.1)$$

де $F(\beta_\tau)$ – нормована функція Лапласа;

β_τ – характеристика надійності за критерієм зсуву:

Примітка. Позначення прийнято з урахуванням ISO 2394.

$$\beta_\tau = \frac{T_{гр}-T}{\sqrt{S_{Тгр}^2+S_T^2}}, \text{ або } \beta_\tau = \frac{K_{мц\tau}-1}{\sqrt{V_{Тгр}^2 \cdot K_{мц\tau}^2 + V_T^2}}, \quad (2.2)$$

де T – розрахункове активне напруження зсуву (частина зсувного

напруження, непогашена внутрішнім тертям) в розрахунковій (найбільш небезпечній) точці конструкції від діючого навантаження, МПа;

$T_{\text{зр}}$ – середнє значення граничної величини активного напруження зсуву (в тій самій частині), перевищення якої викликає порушення міцності на зсув, МПа;

$S_{T_{\text{зр}}}, V_{T_{\text{зр}}}$ – середньоквадратичні відхилення чи коефіцієнти варіації граничної величини активного напруження зсуву (міцності) та розрахункового активного напруження, відповідно.

S_T, V_T

$$K_{\text{мцт}} = \frac{T_{\text{гр}}}{T}, \quad (2.3)$$

$K_{\text{мцт}}$ – коефіцієнт запасу міцності при зсуві.

Активне напруження зсуву в ґрунті T , у мега Паскалях, визначають за формулою (2.4):

$$T = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}}, \quad (2.4)$$

де $\tau_{\text{н}}$ – активне напруження зсуву від тимчасового навантаження, МПа;

$\tau_{\text{в}}$ – те ж, від власної ваги дорожнього одягу, МПа.

Граничне напруження зсуву в ґрунті $T_{\text{зр}}$, у мега Паскалях, визначають за формулою (2.5):

$$T_{\text{зр}} = c_{\text{зр}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (2.5)$$

де $c_{\text{зр}}$ – зчеплення в ґрунті активної зони земляного полотна в розрахунковий період, МПа, встановлюють експериментально або за довідниковими даними;

k_1 – коефіцієнт, який враховує вплив навантажень на опір зсуву ґрунту; при розрахунку на вплив динамічного навантаження $k_1 = 1,0$, при статичній дії навантаження або навантаження з малою повторністю $k_1 = 1,5$;

k_2 – коефіцієнт запасу на неоднорідність умов роботи конструкції, пов'язаний з можливим впливом несприятливих природних

особливостей, технологічних та інших чинників; при розрахунку на тривалу дію навантаження $k_2 = 1,23$; при розрахунку на динамічну дію навантаження коефіцієнт k_2 визначається за формулою (2.6):

$$k_2 = 1,816 - 0,15 \cdot \ln(\sum N_p / (T_{pdp} \cdot T_{cl})), \quad (2.6)$$

k_3 – коефіцієнт, який ураховує особливості роботи ґрунту в конструкції, пов'язані із збільшенням фактичного зчеплення в ґрунті за рахунок защемлення, явища дилатансії і зацеплення часток із введенням коефіцієнта k_3 враховується також відмінність реальних умов взаємодії матеріалу шарів на контакті від прийнятих при побудові номограми (рисунк 2.11-2.12). Значення k_3 :

піски крупні – 7,0;

піски середньої крупності – 6,0;

піски дрібні – 5,0;

піски пилюваті, супіски крупні – 3,0;

глинисті ґрунти (глини, суглинки, супіски, крім крупних) – 1,5.

2.1.3 Розрахунок надійності конструкцій за критерієм розтягу при згині

Надійність дорожнього одягу за критерієм розтягу при згині K_{HR} визначається, як ймовірність безвідмовної роботи без утворення тріщин, у монолітних шарах конструкції за формулою:

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

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

β_R – характеристика надійності за критерієм розтягу при згині :

$$\beta_R = \frac{R_{3r} - \sigma_r}{\sqrt{S_{R_{3r}}^2 + S_{\sigma}^2}}, \text{ або } \beta_R(V) = \frac{K_{MЦR} - 1}{\sqrt{V_{R_{3r}}^2 \cdot K_{MЦR}^2 + V_{\sigma}^2}}, \quad (2.8)$$

R_{3r} – середнє значення напруження розтягу матеріалу шару з урахуванням втоми, яке визначають за температури 0 °С та тривалості дії навантаження 0,1 с, МПа;

σ_r – найбільше напруження розтягу у розглянутому шарі, що встановлюється розрахунком, МПа;

$S_{R_{3r}}, V_{R_{3r}}, V_{\sigma_r}$ – середньоквадратичні відхилення чи коефіцієнти варіації гранично допустиме напруження розтягу матеріалу шару з урахуванням втоми (міцності) та найбільшого напруження розтягу відповідно;

$K_{мцR}$ – коефіцієнт запасу міцності при згині.

$$K_{мцR} = \frac{R_{3r}}{\sigma_r}, \quad (2.9)$$

2.1.4 Розрахунок надійності конструкцій за критерієм допустимого пружного прогину

Надійність дорожнього одягу за критерієм пружного прогину (загального модуля пружності) K_{HE} визначається, як ймовірність безвідмовної роботи без утворення просадок і деформацій конструкції в цілому при не перевищенні прогину покриття при навантаженні від колеса розрахункового автомобіля деякого граничного значення за формулою [14, 18]:

$$K_n = Prob(\beta) = 0,5 + \Phi(\beta), \quad (2.10)$$

або для критерію пружного прогину

$$K_{HR}(\sum N_p) = 0,5 + F(\beta_E(\sum N_p)) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta_E}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (2.11)$$

де $F(\beta_E(\sum N_p))$ – нормована функція Лапласа; $\beta_E(\sum N_p)$ – характеристика надійності за критерієм загального модуля пружності.

$$\beta_E(\sum N_p) = \frac{E_{заг} - E_{потр}(\sum N_p)}{\sqrt{S_{E_{заг}}^2 + S_{E_{потр}(\sum N_p)}^2}}, \text{ або } \beta_E(\sum N_p) = \frac{K_{мцE}(\sum N_p)^{-1}}{\sqrt{V_{E_{заг}}^2 \cdot K_{мцE}^2(\sum N_p) + V_{E_{потр}(\sum N_p)}^2}}, \quad (2.12)$$

де $E_{заг}$ – загальний модуль пружності конструкції, МПа, який залежить від товщини шарів h_i , м, їх фактичного модуля пружності E_i , (змінна даного параметра досліджується в роботі); МПа та діаметру відбитку пневматика D , м [15]

$E_{\text{потр}}(int)$ – потрібний модуль пружності конструкції, визначається з урахуванням капітальності дорожнього одягу та інтенсивності дії навантаження, МПа (зміна даного параметра досліджується в роботі, як функція від інтенсивності N_{sum} [139];

$S_{E_{\text{заг}}}, S_{E_{\text{потр}}}, V_{\sigma_r}, V_{E_{\text{заг}}}, V_{E_{\text{потр}}}$ – середньоквадратичні відхилення чи коефіцієнти варіації загального модуля пружності та потрібного модуля пружності конструкції відповідно;

$K_{\text{мцЕ}}$ – коефіцієнт запасу міцності дорожнього одягу за критерієм пружного прогину.

$$K_{\text{мцЕ}}(int) = \frac{E_{\text{заг}}}{E_{\text{потр}}(int)} \quad (2.13)$$

Для визначення напружень та деформацій, що входять у формули (2.1 – 2.9), використовують рішення теорії пружності для шаруватих середовищ з коректуванням їх за умовами з'єднання шарів на контактах та по прийнятому методу приведення багат шарової системи до двох шарової. У зв'язку із цим рішення теорії пружності для багат шарових середовищ зі спаяними або слизькими контактами між шарами для безпосередніх обчислень напружень та деформацій не застосовуються.

Для оцінки загального модуля пружності використовується формула ГБН В.2.3-37641918-559:2019[163]:

$$E_{\text{заг}}^{(i)} = \frac{\left[1,05 - 0,1 \frac{h_i}{D} \left(1 - \sqrt[3]{E_{\text{заг}}^{(i+1)} / E_i}\right)\right] E_i}{0,71 \sqrt[3]{\frac{E_{\text{заг}}^{(i+1)}}{E_i} \arctg\left(\frac{1,35 h_{\text{екв}}}{D}\right) + \frac{E_i}{E_{\text{заг}}^{(i+1)}} \cdot \frac{2}{\pi} \arctg \frac{D}{h_{\text{екв}}}}, \quad \frac{h_{\text{екв}}}{D} = \frac{2 \cdot h_i}{D} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{6 \cdot E_{\text{заг}}^{(i+1)}}} \quad (2.14)$$

де, i - номер розглянутого шару дорожнього одягу, рахуючи зверху вниз ($i = 1, 2, 3, \dots$); h_i - товщина i -го шару, м; D - діаметр навантаженої площі, м; $E_{\text{заг}}^{(i+1)}$ - загальний модуль пружності напівпростору, що підстилає i -й шар, МПа; E_i - модуль пружності матеріалу i -го шару, МПа.

Потрібний модуль пружності визначається за формулою:

$$E_{\text{потр}} = (a \cdot \ln(\sum N) - b). \quad (2.15)$$

де: $a=42,843$, $b=315,68$ при $Q=115$ кН; $a=42,843$, $b=350,21$ при $Q=100$ кН; $a=42,843$, $b=409,4$ при $Q=60$ кН.

У якості розрахункового навантаження приймають навантаження від колеса найбільш важких автомобілів, систематичний рух яких можливий в розрахунковий для дорожнього одягу період.

Дорожні одягу розраховують на склад та інтенсивність перспективного руху, очікуваного на останній рік служби покриття перед капітальним ремонтом.

При розрахунках за трьома критеріями методом властивості матеріалів конструктивних шарів дорожнього одягу та ґрунту характеризуються наступними показниками: деформаційними (модуль пружності E) і міцністними (опір на розтяг при згині R_{don} – для монолітних матеріалів, кут внутрішнього тертя φ і зчеплення C – для ґрунтів та слабо-зв'язних матеріалів).

Розрахункові значення опору на розтяг при згині асфальтобетону та вологості ґрунту визначають із урахуванням нормативних коефіцієнтів варіації та рівня надійності K_n . При розрахунках надійності з урахуванням конкретної якості будівництва приймають середні значення опору розтягу при згині та вологості ґрунту і відповідні коефіцієнти варіації, визначені експериментальним шляхом або за допомогою непрямих методів оцінки.

При розрахунках на міцність дорожніх одягів з асфальтобетонним покриттям ураховують особливості його поведінки при експлуатації залежно від температури. У той час як покриття найбільш напружено працює при низьких позитивних температурах, ґрунт земляного полотна та шари одягу зі слабо зв'язних матеріалів зазнають більші напруження при підвищених температурах, коли модуль пружності асфальтобетону суттєво знижується. Тому при розрахунках самого асфальтобетонного покриття на розтяг при згині використовують його характеристики, що відповідають низьким весняним температурам (табл. 6 дод. А [163]). При розрахунках шарів зі слабо-зв'язних матеріалів і ґрунту на опір зсуву приймається модуль пружності асфальтобетону в покритті, що відповідає весняним підвищеним температурам (табл. 7 дод. А [163]).

Характеристика надійності β встановлюється в залежності від запасу міцності (жорсткості), розрахункового розкиду напружень (жорсткості) та фактичних даних з розкиду параметрів властивостей шарів дорожнього одягу, неоднорідності за геометричними характеристиками в залежності від рівня якості будівництва. Нормативне значення характеристики надійності для розрахункових рівнів надійності дорожніх одягів для різних категорій автомобільних доріг приведено в таблиці А.2 і встановлено з умов мінімуму дорожньо-транспортних витрат за строк служби конструкції.

Необхідну товщину асфальтобетонних шарів та ресурс конструкцій дорожніх одягів за кількістю циклів прикладання розрахункового навантаження протягом всього строку служби для забезпечення заданого в таблиці А.1 рівня надійності (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Необхідна товщина асфальтобетонних шарів та ресурс конструкцій дорожніх одягів

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

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

При відсутності даних експериментальних досліджень для розрахунку надійності конструкцій дорожніх одягів різних категорій при підсиленні рекомендується приймати параметри неоднорідності у відповідності (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Середні значення коефіцієнтів варіації міцності та напруження, які характеризують досягнутий рівень якості в дорожній галузі

Категорія дороги	Коефіцієнт варіації міцності V_R (жорсткості)			Коефіцієнт варіації напруження (потрібного модуля пружності), V_Q для критеріїв розрахунку		
	на розтяг при згині, V_{R32}	загальний модуль пружності, V_{E32}	зсуваю- чого напру- ження, V_c	згин моно- літних шарів, V_σ	пружний прогин, V_{Enomp}	зсув у нез- в'язних шарах, V_τ
Ia	0,12	0,17	0,16	0,12	0,08	0,12
Ib – II	0,12	0,17	0,18	0,14	0,1	0,12
III	0,14	0,18	0,2	0,14	0,1	0,14
IV	0,16	0,2	0,24	0,16	0,1	0,16
V	0,18	0,26	0,26	0,18	0,1	0,18

Примітка. Коефіцієнт варіації діаметра відбитку колеса приймається рівним $V_D = 0,05$ для доріг усіх категорій та уточняється за результатами проведених досліджень.

Наведені в таблиці 2.2 значення коефіцієнтів варіації навантаження потребують уточнення, за даними багаторічних досліджень.

Розрахунок неоднорідності конструкції. Для розрахунку надійності необхідно визначити неоднорідність конструкції для різних груп граничного стану. При цьому можливе експериментальне визначення неоднорідності міцності C_R для різних технологічних операцій та експериментальне або теоретичне визначення варіації напружень C_Q шляхом інструментального обстеження або при розрахунку за методикою приведеною в роботах [18-20].

Визначення неоднорідності за різними критеріями граничного стану встановлюється розрахунком за методами математичної статистики [18-20].

Експлуатаційна надійність дорожнього одягу за критерієм нерівності K_{IRI} визначається, як імовірність безвідмовної роботи з умови комфортності та безпечності для здоров'я руху, за формулою:

$$K_{H IRI} = 0,5 + F(\beta_{IRI}) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta_{IRI}}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (2.16)$$

де $F(\beta_{IRI})$ – нормована функція Лапласа;

β_{IRI} – характеристика надійності за критерієм нерівності:

$$\beta_{IRI} = \frac{S_{\text{доп}} - S_{\text{факт}}}{\sqrt{\sigma_{\text{доп}}^2 + \sigma_{\text{факт}}^2}}, \text{ або } \beta_{IRI} = \frac{K_{IRI} - 1}{\sqrt{V_{IRI}^2 \cdot K_{IRI}^2 + V_{S_{\text{факт}}}^2}}, \quad (2.17)$$

де $S_{\text{доп}}$ – допустиме значення нерівності, визначене із умов комфорту руху, м/км;

$S_{\text{факт}}, V_{S_{\text{факт}}}$ – середнє значення величини нерівності, м/км;

$\sigma_{\text{доп}}, \sigma_{\text{факт}},$ – середньоквадратичні відхилення чи коефіцієнти варіації допустимого значення нерівності та фактичної нерівності, відповідно.

$K_{IRI} = \frac{S_{\text{доп}}}{S_{\text{факт}}}$ – коефіцієнт запасу за нерівністю.

Допустиме значення нерівності $S_{\text{доп}}$ та його варіація $\sigma_{\text{доп}}, V_{\text{доп}}$, визначені із умов комфорту руху, м/км. Оцінка впливу вібрації на здоров'я, комфорт і сприйняття руху, при застосуванні даної моделі встановлюється для сидіння водія, стоячих чи сидячих пасажирів. Найбільший вплив має коливання та вібрація в частотній амплітуді (0,5 – 80,0) Гц, що передається від твердої поверхні до тіла людей.

Величину допустимої вібрації характеризує середньоквадратичне навантаження з частотою прискорення, обчислене за формулою:

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_{wi}^2(t) dt \right]^{1/2}, \quad (2.18)$$

де T – тривалість вимірювання; $a_{wi}(t)$ – частота навантаження прискорення, або кутове прискорення (для обертання), за час t виражене у метрах за секунду в квадраті (м/с²), або радіан за секунду в квадраті (рад/с²), відповідно.

За аналогічним принципом визначається надійність за показником ТЕС коефіцієнт зчеплення.

2.2 Удосконалення моделі навантаження від транспортних засобів

2.2.1 Дослідження режимів руху транспортних засобів автомобільними дорогами України

Принципові основи і методика досліджень режиму автомобільного руху для проектування дорожніх одягів на Україні закладені роботами ХАДІ (ХНАДУ) [132,140, 141], МАДІ [97, 142], КАДІ (НТУ) [7, 143 -146].

В останні десятиріччя в рамках програми TACIS (1999-2003 pp.) [147] та в ДП «Укрдіпродор» (2005 - 2012 pp.) проводилися дослідження режиму руху, головним чином, для визначення пропускної здатності доріг на магістральних дорогах і вибірккові дослідження проведені в НТУ на конкретних маршрутах.

В ході роботи уточнено параметри режиму руху: 1) зміну інтенсивності руху у короткі проміжки часу (година, доба, місяць, рік) по роках служби; 2) склад потоку транспортних засобів (ТЗ); 3) швидкість руху за типами і за групами ТЗ; 4) частоту проїзду (інтервал) ТЗ різного типу чи групи через даний поперечник дороги; 5) розподіл слідів коліс ТЗ різного типу по ширині дороги; 6) навантаження ТЗ (кількість осей, навантаження на вісь, тиск, площа відбитку колеса тощо). За результатами аналізу провести уточнення коефіцієнтів перерахунку інтенсивності руху та встановити діапазони зміни інтенсивності руху для різних категорій автомобільних доріг.

2.2.2 Зміна інтенсивності в процесі експлуатації по роках служби

В Україні середньорічна добова інтенсивність руху визначалась до 2019 р відповідно до рекомендацій ВСН 42-87 та ДБН В.2.3-4 [148]. Відповідно з яким на автомобільних дорогах годинна інтенсивність визначається безпосередньо натурними спостереженнями або лічильниками автоматичного обліку руху. Для отримання середньорічної добової інтенсивності руху використовують коефіцієнти зміни інтенсивності руху протягом доби, по днях тижня та місяцях враховується відповідним коефіцієнтом нерівномірності руху, який визначається як відношення годинного обсягу руху до добового (K_t), добового об'єму до об'єму за тиждень (K_n), місячного обсягу руху до річного (K_2).

При визначенні інтенсивності руху по даному методу транспортний потік поділяють за типами автомобілів на легкові, вантажні та автобуси. Вантажні автомобілі по вантажопідйомності поділяють на автомобілі з вантажопідйомністю: до 2 тон; від 2 до 5 тон; від 5 до 8 тон; від 8 до 12 тон; понад 12 тон.

Однак, встановити досить точні єдині залежності зміни інтенсивності і складу руху транспортного потоку протягом року неможливо, так як кожна автомобільна дорога має свої особливості формування транспортного потоку. Тому основою для практичного визначення характеристик транспортного потоку для оцінки залишкового ресурсу дорожніх конструкцій є матеріали моніторингу.

На практиці ж часто виходить так, що проектні організації в роботі використовують інтенсивність руху транспортних засобів, визначену за (10 – 15) років, які передують початку робіт, збільшуючи їх на коефіцієнт приросту інтенсивності, не враховуючи, що відбулися зміни у складі транспортного потоку і параметрів руху автомобілів.

Основи аналізу транспортних потоків відображені в роботах вітчизняних вчених [149, 150]. За радянських часів річний приріст інтенсивності руху не перевищував (3 – 5) % [151]. За результатами перевірки точності прогнозування сумарної інтенсивності руху в США за програмою SCHRP вказує, що різниця між проектним та фактичним значенням може відрізнятись в 2 рази, це при наявності більше 600 ділянок, на яких проводиться щомісячне визначення параметрів транспортно – експлуатаційного стану і постійний контроль за транспортними потоками.

В Німеччині та Польщі для прогнозування зміни інтенсивності руху найчастіше використовують лінійну залежність з показником щорічного приросту (2 – 6) % [152]. За даними візуального обліку інтенсивності руху транспортних засобів зібраних за період 2005 – 2014 рр. в роботах виконано аналіз зміни склад транспортного потоку.

Транспортні засоби, які реєструються та аналізуються з пунктів візуального обліку в систему СУСП вносили до 9 груп: легкові автомобілі; автобуси середні; автобуси важкі; легкі вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 2,0 т; середні

вантажні автомобілі 2,1 - 8,0 т; важкі вантажні автомобілі понад 8 т; автопоїзда понад 8,0 т; сідельні тягачі понад 8,0 т; тролейбуси.

Для проектування конструкцій дорожнього одягу необхідно мати достовірні дані по інтенсивності та зміні та складу транспортного потоку в процесі експлуатації автомобільної дороги та фактичні значень параметрів навантажень від сучасних транспортних засобів на покриття (навантаження на вісь, інтенсивність дії навантаження, діаметр відбитку, розрахункова швидкість). Одним із основних параметрів при проектуванні конструкцій дорожнього одягу є коефіцієнт приросту інтенсивності руху.

Для прикладу на наступний рік після введення в експлуатацію автомобільної дороги Київ – Одеса приріст інтенсивності руху замість прогнозованих (4 – 7) %, становив 21% .

На основі огляду досліджень проведених в нашій країні та закордоном необхідно виконати аналіз сучасних тенденцій зміни коефіцієнтів приросту інтенсивності з часом на перспективу на автомобільних дорогах України. Отримані дані експериментальних досліджень потребують статистичної обробки та апроксимації з метою встановлення закономірностей зміни коефіцієнтів приросту для різних типів транспортних засобів, які рухаються автомобільними дорогами державного значення України. .

Ріст фактичної інтенсивності руху може бути апроксимований лінійною залежністю, геометричною прогресією та логістичною кривою (табл. 2.3). Для крупних населених пунктів апроксимація здійснюється за геометричною прогресією з щорічним приростом інтенсивності руху $q = (4 - 22) \%$. Для автодоріг, що тяготіють до обласних центрів, інтенсивність змінюється за лінійним законом з коефіцієнтом щорічного приросту інтенсивності руху $a = (3 - 9) \%$.

Для другорядних доріг та деяких доріг які зв'язують Україну з Росією, навпаки, з початку 90 – х років спостерігається зміна інтенсивності транспортного потоку за логістичною кривою, часто зі зменшенням, порівняно з 80-ми роками XX ст. Перевага логістичної залежності полягає в тому, що змінюючи параметри кривої: K - лінія насичення (приймає значення від - 4 до 6) та b, c - коефіцієнти, (відповідно

рівні 200 - 250 та 0,35- 0,25) можна отримувати різні закони зміни інтенсивності руху з часом.

Таблиця 2.3 – Закономірності росту фактичної інтенсивності руху

Залежність	Перспективна середньодобова інтенсивність руху	Сумарна інтенсивність руху за термін служби
Лінійна	$N_{lin}(t) = N_0 (1 + a t)$	$N_{\Sigma}(t) = T_{\text{дн}} N_0 t (1 + a t/2)$
Герметрична прогресія	$N_t = N_0 (1 + q)^t$	$N_{\Sigma}(t) = T_{\text{дн}} \cdot N_0 \cdot \frac{(1 + q)^t - 1}{q}$
Логістична крива	$N_t = N_0 (1 + K / (1 + b \exp(-ct)))$	$N_{\Sigma}(t) = T_{\text{дн}} \cdot N_0 \cdot [t \cdot (1 + K) + \frac{K}{c} \cdot \ln(1 + b \cdot e^{-ct})]$

На основі обліку складено карти розподілу інтенсивності руху на мережі авто мобільних доріг державного значення за даними 2011 року .

За даними лічильників автоматичного обліку руху встановлених на автомобільних дорогах державного значення України встановлено, що зміна приросту інтенсивності руху має не лінійну залежність з приростом (5 – 10)% щорічно, а має певну залежність. Дана особливість приросту інтенсивності залежить від багатьох факторів, як економічних взагалі так і стану самих доріг та ремонтних робіт, що проводяться на них. В (табл. 2.4) нижче наведено дані зміни приросту інтенсивності в 2002 - 2011 роках.

Таблиця 2.4 – Зміна коефіцієнту приросту інтенсивності за даними лічильників автоматичного обліку транспортних засобів

Рік	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Мін.	-9,77	1,99	-1,71	-57,57	-6,18	-6,38	-13,56	-41,66	-12,50	-10,47
Макс.	20,79	17,71	9,11	15,83	99,62	55,91	65,96	14,56	20,87	39,81
Середній	11,66	6,93	3,24	-6,82	35,31	12,68	5,49	-3,05	1,66	1,32

На пікове значення середнього приросту інтенсивності впливають фактори проведення середніх та капітальних ремонтів автомобільної дороги в різних регіонах України.

На рис 2.1 - 2.2 наведені дані про зміну щоденної інтенсивності на автомобільних дорогах України загального користування за даними лічильників автоматичного обліку руху у період 2001 – 2012 рр.

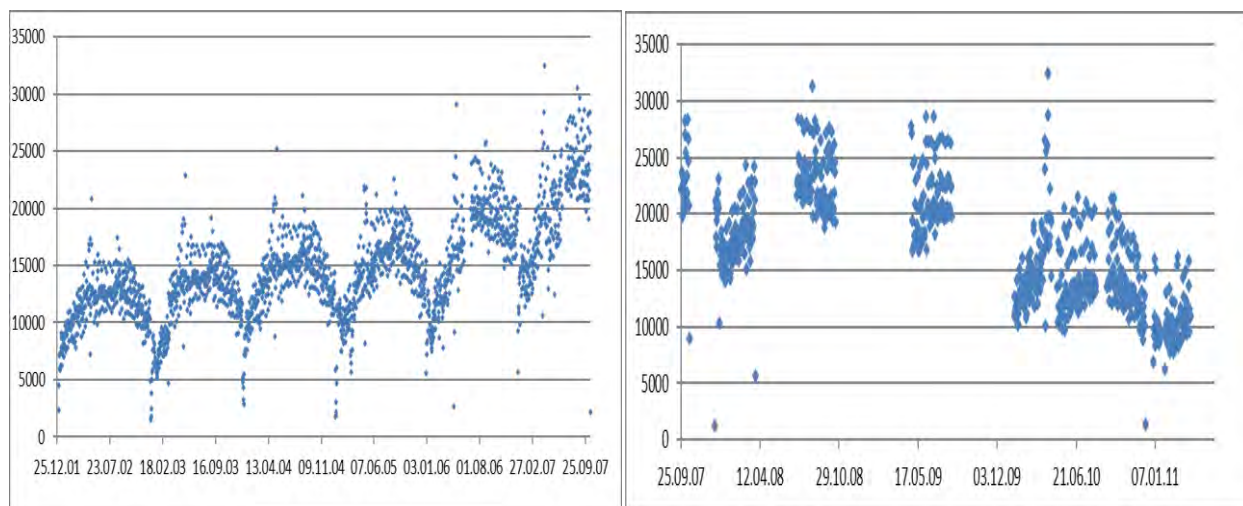


Рисунок 2.1 – Закономірності зміни середньодобової інтенсивності руху з 2002 по 2011 р.р (а/д М-06 Київ-Чоп, Калинівка 54 км)

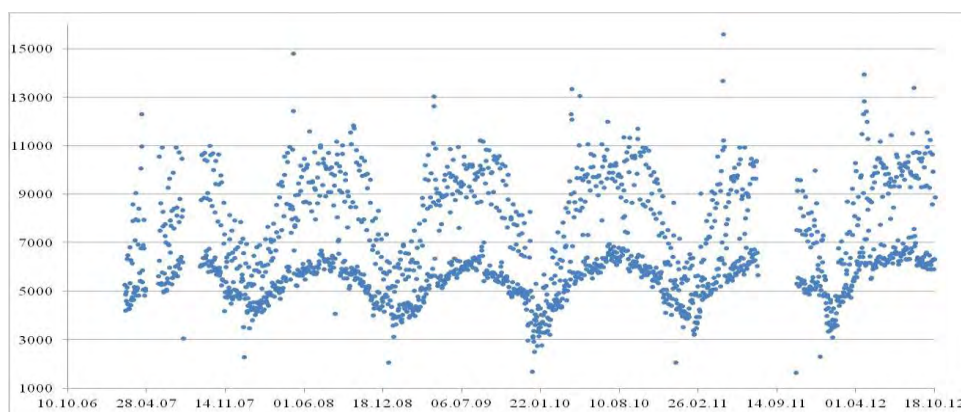


Рисунок 2.2 – Закономірності зміни середньодобової інтенсивності руху з 2006 по 2012 р.р (а/д Н-07 Київ – Суми - Юнаківка, 77 км)

Інтенсивність за сім років з 2002 по 2007 р.р відносно 2003 року зросла в (2 - 2,5) рази, що майже вдвічі перевищує параметри, які приймалися при проектуванні конструкцій дорожнього одягу. В подальшому з поширенням світової економічної кризи протягом 2-х років інтенсивність руху практично не змінювалася, а 2010 році відбулося різке зменшення інтенсивності руху.

Однак при цьому, як буде показано далі, відбулося різке збільшення параметрів навантажень, що привело до підвищення агресивності дії транспортних засобів на покриття конструкцій дорожнього одягу.

2.2.3 Розподіл швидкості руху

Обробка даних дозволила підтвердити відомий факт, що щільність розподілу швидкості руху різних груп транспортних засобів відповідає нормальному закону розподілу (табл. 2.5, рис. 2.3).

Таблиця 2.5 – Параметри розподілу швидкості руху різних груп транспортних засобів

Вид ТЗ	Типовий ТЗ	Середня швидкість, V_{cp} , км/год	Дисперсія швидкості D_v	Середньоквадратичне відхилення, S_v	Коеф. варіації C_v
1. Легковий авто СНД	ВАЗ 2108	82,8	154,15	12,42	0,150
2. Легковий авто іноземні	Пежо 306	103,7	233,65	15,29	0,147
3. Мікро-автобус	РАФ 2203	77,5	170,43	13,06	0,168
4. Автобус	Ікарус 250	67,9	120,11	10,96	0,161
5. Легка вантажівка	ЛАЗ 2503	63,2	51,90	7,20	0,114
6. Середня вантажівка	ЗІЛ 130	65,1	45,92	6,78	0,104
7. Важка вантажівка	КАМАЗ 5320	65,5	57,83	7,61	0,116
8. Вантажівка з причепом	КАМАЗ +ОДАЗ	65,6	56,91	7,54	0,115
9. Сідельний тягач СНД	КАМАЗ 5410	66,3	53,64	7,32	0,110
10. Сідельний тягач іноземний	Мерседес-Бенц OM	75,1	84,11	9,17	0,122

При цьому, значення швидкості руху V_{cp} на ділянках перегонів доріг з добрим станом достатньо високі (65 - 100 км/год). Коефіцієнт варіації швидкості змінюється в межах від (15 – 17) % для легкових автомобілів і автобусів та (10 – 12) % для вантажних автомобілів. Мінімальна швидкість складає 35 км/год для автобусів та 56 км/год для легкових автомобілів іноземного виробництва.

За результатами вимірювань побудована інтегральна крива, яка відповідає нормальному розподілу, що дозволяє встановлювати розрахункову швидкість з необхідною надійністю.

Обробка даних для регіональних доріг із змішаним рухом транспорту дозволила підтвердити відомий факт, що щільність розподілу швидкості руху різних груп транспортних засобів відповідає нормальному закону розподілу. Значення швидкості

руху V_{cp} на ділянках перегонів доріг з добрим станом достатньо високі (55 - 70 км/год). Коефіцієнт варіації швидкості змінюється в межах (15 – 17) % для легкових автомобілів і автобусів та (10-12) % для вантажних автомобілів. Мінімальна швидкість складає 25 км/год для автобусів та 45 км/год для легкових автомобілів іноземного виробництва. Однак для ділянок з переважним рухом легкового транспорту на відремонтованих покриттях спостерігаються закономірні відхилення від нормального закону .

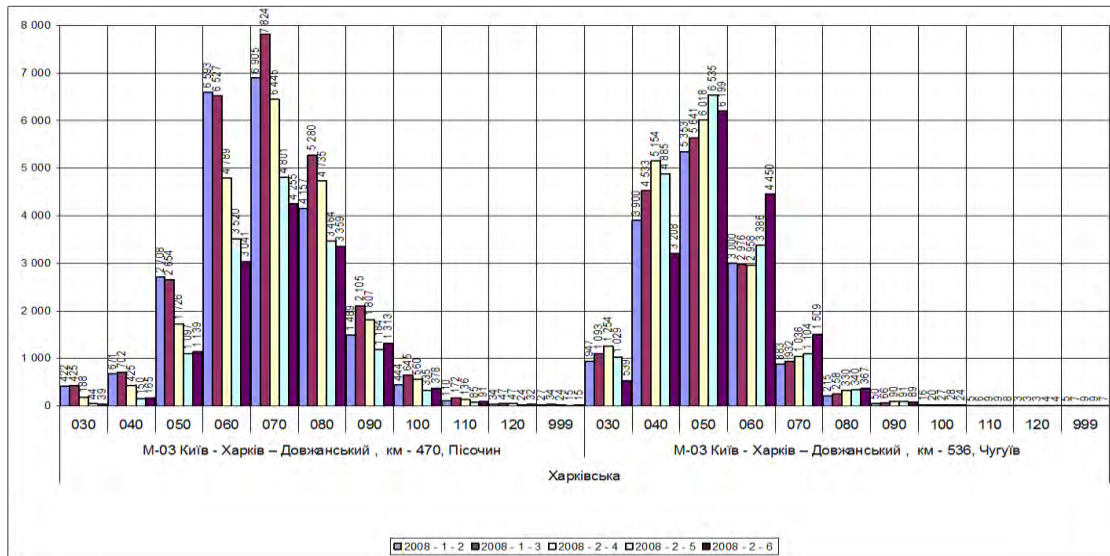


Рисунок 2.3 – Середні швидкості руху транспортних засобів в різних регіонах України за 2008 рік

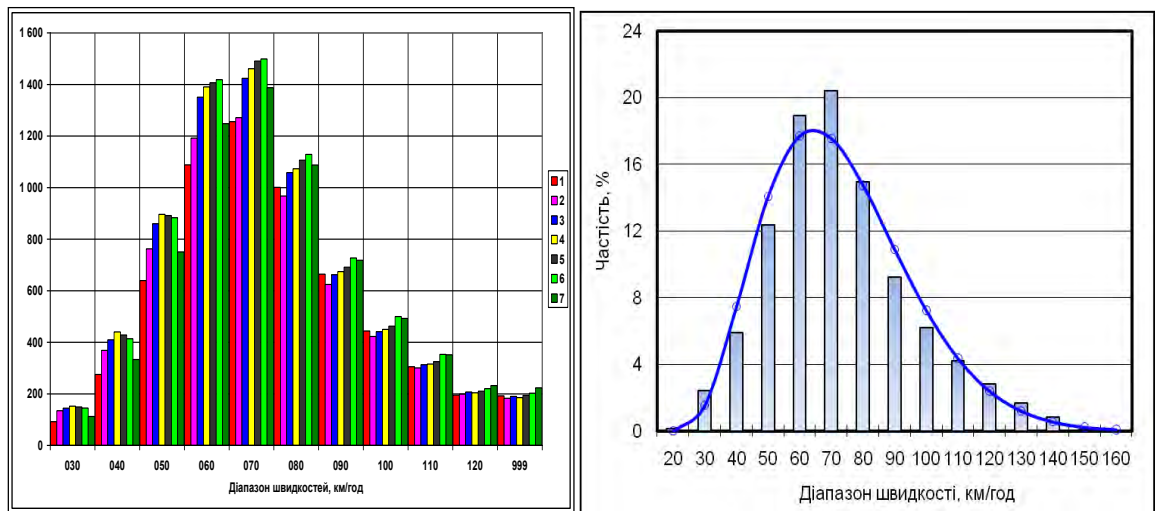
Швидкість руху по відрізняється по Київській області тим що лічильники встановлені на ділянках автомобільних доріг за межами населених пунктів та добрим технічним станом покриття.

Швидкість руху в цьому випадку з достатньою достовірністю описуються законом Пірсона типу I такого виду (2.19)

$$\tilde{n}_j = \tilde{n}_0 \left(1 + \frac{x}{l_1}\right)^{q_1} \left(1 + \frac{x}{l_2}\right)^{q_2}, \quad (2.19)$$

де q_1, q_2 - показники форми; l_1, l_2 - параметри масштабу; $\tilde{n}_0$ - частість

$$\tilde{n}_0 = n/N \cdot 100 = 1313,39/7275 \cdot 100 = 18,05\%, \quad x = (V - V_{median})/\Delta = (V - 69,41)/10$$



а)

б)

Рисунок 2.4 – Зміна швидкості руху транспортних засобів на автомобільній дорозі М-03 Київ – Харків - Довжанський, авт./добу: а) по днях тижня; б) щільність розподілу по закону Пірсона типу I

Наприклад, статистична обробка швидкості руху $N=7275$ автомобілів для четверга дає такі значення: середня швидкість $V_c=77,74$ км/год; дисперсія $\sigma=2,251$; асиметрія $Rr_3=0,6138$; ексцес $Rr_4=3,296$; коефіцієнт варіації $V=28,96\%$. Підібрана функція розподілу Пірсона типу I найкраще апроксимує результати та після спрощення має вигляд

$$\tilde{n}_j = 18,05 \cdot \left(1 + \frac{V - 69,41}{44,5665}\right)^{3,2327} \left(1 - \frac{V - 69,41}{222,88}\right)^{16,167}. \quad (2.20)$$

Отримані закономірності дозволяють прогнозувати швидкість руху транспортних засобів із заданою ймовірністю, що необхідно при розрахунках конструкцій дорожнього одягу на динамічну дію навантаження. Наявність несиметричності розподілу вправо проявляється в останні роки з появою все більшої кількості сучасних легкових автомобілів зарубіжного виробництва, що рухаються з швидкостями більше 100 км/год.

2.5.4 Частота проїзду (інтервал) ТЗ різного типу чи групи через даний поперечник дороги

Часовий інтервал руху ТЗ через даний поперечник дороги з достатньою точністю може бути встановлений за результатами статистичних досліджень, виконаних проф. В.П Поліщуком. [146]. Для опису виникнення часових інтервалів у транспортному потоці використовується Гамма - розподіл (Пірсона типу III) із законом щільності ймовірності у вигляді

$$f(t) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (t - c)^{\alpha-1} \cdot e^{-\lambda(t-c)} = \frac{\lambda^\alpha}{(\alpha-1)!} (t - c)^{\alpha-1} \cdot e^{-\lambda(t-c)}, \quad (2.21)$$

для $c < t < \infty$, де $\Gamma(\alpha)$ - Гамма – функція Ейлера, визначена як $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} e^{-t} dt$.

Середнє значення $m(t) = \frac{\alpha}{\lambda} + c$, а дисперсія $D(t) = \sigma^2 = \frac{\alpha}{\lambda^2}$.

Наприклад (Рисунок 2.5 2.5), за інтенсивності $N = 400$ авт/год, отримано такі значення параметрів $V = 69977,6 / (1154,779 + N) = 45,0$ км/год; $q = N/V = 8,887$; $t = 1000 \cdot 3,6 / (Vq) = 9,0$ с; $\sigma = 6,0333$; $\alpha = 0,247248$; $k = t \cdot \alpha = 2,225231$; $c = t_{min} = 4$ с.

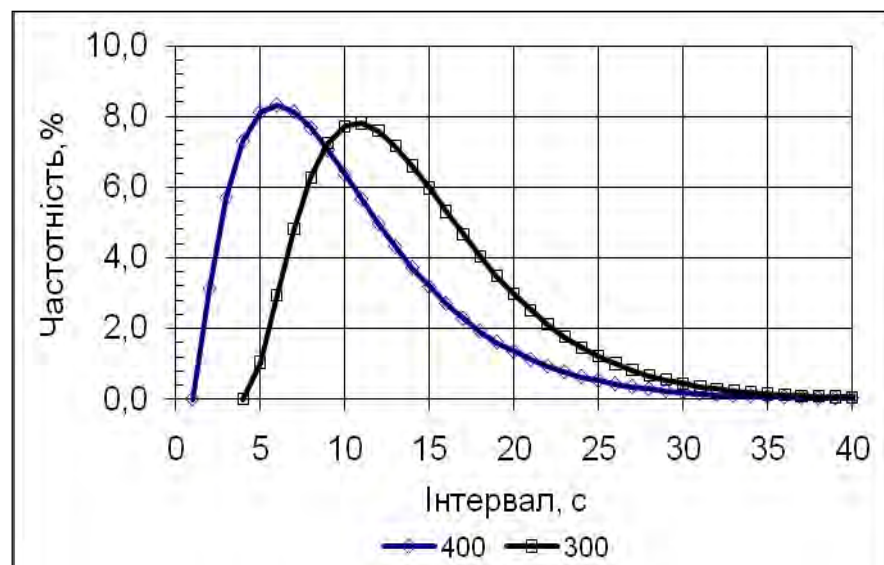


Рисунок 2.5 – Закономірності зміни інтервалів часу між ТЗ при $N = 400$ та 300

2.5.5 Розподіл слідів коліс ТЗ різного типу по ширині дороги

Розподіл слідів коліс ТЗ по поперечнику дороги моделюється як стаціонарний нормальний випадковий процес з використанням параметрів розподілу встановлених роботами: Б.С. Радовського та Я.В. Ковальчика, О.А. Белятинського - для автомобільних доріг загального значення та С.С. Кизими - для міських вулиць та доріг.

Для прикладу (рис. 2.6) побудована крива нормального розподілу виду

$$\varphi(y) = \frac{1}{S_k \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{y^2}{2 \cdot S_k^2}}, \quad (2.22)$$

де y – відстань центру відбитку правого колеса, що перетинає поперечник проїзної частини від середнього положення цього центру, S_k – середньоквадратичне відхилення y , рівне 0,48 м.

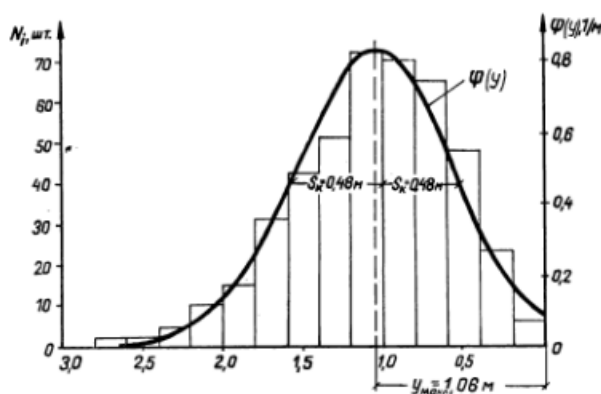


Рисунок 2.6 – Розподіл положення центру відбитку правого колеса по ширині проїзної частини

2.5.6 Параметри навантаження ТЗ

Для розрахунку конструкцій дорожнього одягу необхідно знати навантаження на вісь, тиск в колесі і площу відбитку колеса на поверхні покриття.

Розподіл навантажень на вісь транспортних засобів.

Обробка даних дала змогу встановити, що розподіл навантаження на осі завантажених автомобілів за критерієм χ^2 згоджується логнормальним законом.

$$\varphi(Q_e) = \frac{1}{S_{\ln Q} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot Q} \cdot e^{-\frac{Q - \ln Q}{2 \cdot S_{\ln Q}}}, \quad (2.23)$$

де параметри закону

$$S_{\ln Q} = \sqrt{\ln(D(Q) + Q_{cp}^2) - 2 \cdot \ln Q_{cp}} = 0,136,$$

$$\ln Q = 2 \cdot \ln Q_{cp} - 0,5 \cdot \ln |D(Q) + Q_{cp}^2| = 1,846,$$

тут Q_{cp} - математичне сподівання, $D(Q)$ - дисперсія.

Середнє значення навантаження складає 7,1 т для магістральних доріг та 5,4 т для місцевих. При цьому на місцевих дорогах коефіцієнт варіації навантаження більший в два рази і досягає 46,32%. Таким чином, для місцевих доріг внаслідок неконтрольованого руху, навантаження на вісь в значній частині випадків перевищує нормативні 6 тс, що свідчить про необхідність підвищення нормативного навантаження на дорогах 3-ї та частково 4-ї категорії.

Тиск у контакті “колесо-покриття”

Колеса на покриття p , який відповідає інтенсивності дії вертикального навантаження на покриття, добре узгоджується за критеріями Пірсона та Колмогорова з нормальним законом розподілу

$$f(p) = \frac{1}{S_p \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(p - p_{cp})^2}{2 \cdot S_p^2}}, \quad (2.24)$$

де p_{cp} - математичне сподівання тиску, (0,54 - 0,92) МПа, S_p - середньоквадратичне відхилення, (0,15 - 0,18) МПа. Відповідно коефіцієнт варіації тиску змінюється (15 - 30) %.

Встановлена також логарифмічна залежність площі відбитку колеса від навантаження на вісь (рис. 2.7).

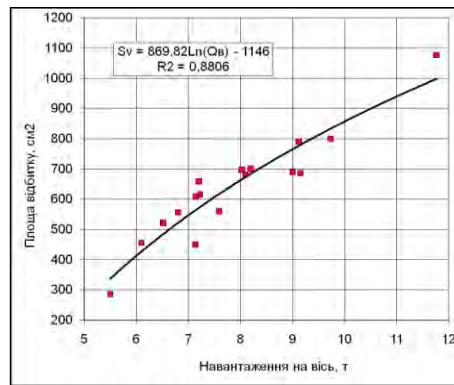


Рисунок 2.7 – Залежність площі відбитку колеса від навантаження на вісь та щільність ймовірності навантаження

Розподіл загальної маси транспортних засобів

В результаті обробки даних зважування отримано, що загальна маса $Q_{\text{заг}}$ завантажених ТЗ в діапазоні в (10 – 60 т за критерієм χ^2 адекватно описується законом Вейбулла.

Транспортні засоби з загальною масою понад 60 т зустрічаються не часто. Однак слід враховувати, що проїзд одного наднормативного ТЗ приводить до руйнування, яке перевищує руйнуючий вплив усіх легкових автомобілів за весь термін служби конструкції.

Параметри функції розподілу порожніх транспортних засобів відповідно рівні $n=1,95$ та $b=110$. Порівняння з зарубіжними типами ТЗ аналогічної вантажності показує, що автомобілі виробництва СНД мають підвищену на (1,2 - 4,5) т власну масу, що знижує їх транспортно-експлуатаційні показники.

Приведення інтенсивності руху до розрахункового нормативного навантаження

Для встановлення розрахункової інтенсивності руху розглянуто марки конкретних транспортних засобів вітчизняного та закордонного виробництва, які найбільш часто рухаються автошляхами України. Всі транспортні засоби були приведені до розрахункового автомобіля групи А₂ за відомою методикою. В результаті отримано, що сумарний коефіцієнт приведення до розрахункового автомобіля при відомій схемі транспортного засобу та загальній масі $Q_{\text{заг}}$ можна визначати за формулою

$$S_k = a_0 + a_1 Q_{\text{заг}}^b, \quad (2.25)$$

де a_0 , a_1 , b – коефіцієнти регресії.

У роботі Гамеляка І.П. [144] наведено коефіцієнти приведення автомобілів і автопоїздів для різних колісних схем та виконано аналіз допустимого значення загальної маси для різних схем транспортних засобів.

Висновок по розділу 2

Отримано основні закономірності зміни режиму руху транспортних засобів на автомобільних дорогах України на сучасному етапі розвитку дорожнього господарства. Уточнено коефіцієнти переходу від годинної інтенсивності руху до добової, тижневої та середньорічної, які можуть застосовуватися при визначенні інтенсивності руху транспортних потоків на автодорогах України.

Необхідно відновити та розширити практику обліку інтенсивності руху не тільки на маршрутах міжнародних транспортних коридорів, але і на місцевій мережі доріг з використанням сучасних досягнень в цій галузі за кордоном.

Розроблена методика дозволяє уточнити значення параметрів навантаження та встановити їх розрахункові значення із необхідною надійністю при проектуванні конструкцій дорожніх одягів на міцність та витривалість.

Удосконалено ймовірнісний метод оцінювання стану нежорсткого дорожнього одягу на основі даних багаторічних вимірювань, що дозволяє врахувати неоднорідність геометричних і фізико-механічних параметрів конструкції та їх зміну у часі. Експлуатаційна надійність дорожнього одягу за критерієм нерівності K_{IRI} визначається, як імовірність безвідмовної роботи з умови комфортності та безпечності для здоров'я руху. Допустиме значення нерівності S_{don} та його варіація σ_{don} , V_{don} , визначені із умов комфорту руху, м/км. Оцінка впливу вібрації на здоров'я, комфорт і сприйняття руху, при застосуванні даної моделі встановлюється для сидіння водія, стоячих чи сидячих пасажирів. Найбільший вплив має коливання та вібрація в частотній амплітуді (0,5 – 80,0) Гц, що передається від твердої поверхні до тіла людей. Величину допустимої вібрації характеризує середньоквадратичне навантаження з частотою прискорення. За аналогічним принципом визначається надійність за показником ТЕС коефіцієнт зчеплення.

Основні результати другого розділу опубліковані в роботах [6, 7, 153].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВСТАНОВЛЕННЮ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НАВАНТАЖЕННЯ ВІД ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ДОРОЖНІЙ ОДЯГ

Для проектування конструкцій дорожнього одягу необхідно мати достовірні дані по інтенсивності та зміні та складу транспортного потоку в процесі експлуатації автомобільної дороги та фактичні значень параметрів навантажень від сучасних транспортних засобів на покриття (навантаження на вісь, інтенсивність дії навантаження, діаметр відбитку, розрахункова швидкість).

3.1 Визначення інтенсивності руху

3.1.1 Приведення візуального обліку до середньорічної добової інтенсивності руху за допомогою коефіцієнтів приведення даних отриманих з лічильників автоматичного обліку руху

Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування та встановлюватиме вимоги до методів визначення інтенсивності руху транспортних засобів та складу транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування. Інтенсивність автотранспортних потоків є необхідним елементом обґрунтування доцільності робіт з проектування, нового будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг (далі – АД). На її значення спираються при виборі раціональних варіантів організації дорожнього руху та при вирішенні інших питань планування розвитку автомобільних доріг.

Зазвичай, для цих цілей використовується детермінована оцінка кількості транспортних засобів (далі – ТЗ) на ділянці АД за деякий період часу. Але, за своєю сутністю, інтенсивність автотранспортного потоку є випадковою величиною, яка для однієї ділянки може коливатися в дуже широких межах. Це підтверджується коефіцієнтами, що наведені у методиці М 218-05416892-409-2004 «Методика економічних вишукувань для проектування автомобільних доріг», згідно з якими навіть середньодобові значення кількості ТЗ, що проїхали по ділянці АД, в залежності

від дня тижня та пори року можуть відрізнятись в 2,34 рази. При цьому, дисперсія середнього значення є значно меншою ніж дисперсія власно випадкової величини, тобто інтенсивності транспортного потоку. Тому конкретні значення середньодобової інтенсивності руху коливаються в значно більших межах.

З урахуванням того, що будь-яка конкретна величина інтенсивності руху суттєво залежить від способу її отримання, стає зрозумілим, що точкова оцінка інтенсивності автотранспортних потоків є недостатньою для повної характеристики транспортного потоку на ділянці АД. Додатковим підтвердженням цього є величина лінійного коефіцієнту кореляції між фактичними даними про середньодобову інтенсивність автотранспортних потоків за 2006 – 2011 рік, яка складає лише 56,6 %. Так як цей показник елімінує фактори зростання інтенсивності, таке значення свідчить про дуже низькій рівень відповідності транспортних потоків у різні роки для одних і тих же ділянок.

В цих умовах гарантувати достовірність прогнозу величини автотранспортних потоків можливо лише за рахунок ймовірнісної оцінки на основі обґрунтування виду та параметрів закону розподілу цієї випадкової величини в залежності від його середнього значення.

Побудова ймовірнісної оцінки інтенсивності транспортних потоків дозволить гарантувати фактичні значення інтенсивності у визначений діапазон із заданою ймовірністю, що дозволить отримати надійну основу для планування нового будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг на всій мережі автомобільних доріг загального користування.

На даний час в Україні на нормативному рівні відсутня методика приведення коротко часового візуального обліку до середньорічної добової інтенсивності руху. Методика запропонована в ДБН Б.В.2.3-4 має велику похибку і становить (30 – 60) %.

Працівниками інформаційно-аналітичного відділу ДП «Укрдїпродор» запропонована методика приведення коротко часового візуального обліку (від однієї години) до середньорічної добової інтенсивності руху за допомогою коефіцієнтів

приведення даних отриманих з лічильників автоматичного обліку руху встановлених на автомобільних дорогах державного значення України у кількості 220 шт.

За даними лічильника яких пропрацював 1 рік отримують 1200 коефіцієнтів, які враховують місяць, день тижня, годину обліку та тип транспортного засобу згідно міжнародної класифікації Євро 6 за допомогою яких можна отримати середньодобову річну інтенсивність руху транспортних засобів, як по типах так і по потоку транспортних засобів. Дана кількість лічильників надає адекватну картину інтенсивності руху на протязі року та охоплює 40 % мережі автомобільних доріг . Також з даних лічильників можна отримати дані про розподіл швидкості транспортних засобів та їх довжини.

Порядок проведення визначення коротко стокової інтенсивності наведено в додатку А.

Розрахункове значення параметру навантаження з заданою надійністю визначається за формулою:

$$P_{роз} = 1 + t_{Kn} \cdot C_v, \quad (3.1)$$

C_v – коефіцієнт варіації параметру;

t_{Kn} - нормоване відхилення (квантиль) для одностороннього рівня значимості K_n

$$K_n = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^t e^{\frac{-x^2}{2}} dx. \quad (3.2)$$

Таблиця 3.1 – Результати визначення розкиду коефіцієнтів перерахунку для а/д Н-07 Київ-Суми-Юнаківка, км 77 с. Нова Босань, Чернігівській обл.

Характеристики аналізу по коефіцієнтах приведення			Некласифіковані	Легкові	Вантажні з причепом	Вантажні	Сідельні тягачі	Автобуси	Поток
К1	Місячні	Хср	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		σ	0,19	0,20	0,39	0,11	0,20	0,27	0,18
		Cv	0,19	0,20	0,39	0,11	0,20	0,27	0,18
К3	Легкові	Хср	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		σ	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03
		Cv	0,81	0,60	0,59	0,60	0,58	0,66	0,66
	Вантажні з причепом	Хср	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		σ	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
		Cv	0,58	0,50	0,51	0,50	0,49	0,49	0,54
	Сідельні тягачі	Хср	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		σ	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		Cv	0,40	0,34	0,32	0,31	0,29	0,32	0,29
	Автобуси	Хср	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		σ	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
		Cv	0,92	0,87	1,02	0,83	0,83	0,85	0,96
	Потік ТЗ	Хср	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
		σ	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
		Cv	0,77	0,55	0,53	0,54	0,53	0,60	0,63

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти перерахунку на середньорічну добову інтенсивність руху М-19 Доманове-Ковель-Чернівці-Тереблече, км 320 виїзд на Луцьк

Місячні (К1)							
Місяць	Коеф. переходу						Поток
	Не класифіковані ТЗ	Легкові	Вантажні з причепом	Вантажні	Сідельні тягачі	Автобуси	
Січень	0,70	0,91	0,59	0,84	0,83	1,47	0,89
Лютий	0,38	0,23	0,12	0,26	0,26	0,38	0,24
Березень	1,21	1,04	1,12	1,04	1,02	0,13	1,04
Квітень	1,25	1,04	1,08	0,95	0,96	0,18	1,02
Травень	0,84	1,05	1,12	1,08	1,06	0,24	1,06
Червень	1,18	1,13	1,15	1,23	1,24	0,21	1,16
Липень	1,32	1,20	1,28	1,19	1,22	0,17	1,20
Серпень	1,34	1,16	1,25	1,14	1,21	0,33	1,15
Вересень	1,19	1,15	1,09	1,08	1,05	2,63	1,13
Жовтень	0,89	1,11	1,17	1,12	1,10	2,49	1,11
Листопад	0,95	1,01	1,00	1,07	1,05	1,98	1,03
Грудень	0,76	0,98	1,03	1,01	0,99	1,79	0,99

Погодинні (К3) Легкові						
Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
0,007	0,005	0,006	0,007	0,006	0,009	0,010
0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,007	0,009
0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,006	0,008
0,005	0,007	0,003	0,004	0,004	0,005	0,012
0,010	0,011	0,005	0,005	0,005	0,007	0,019
0,030	0,028	0,009	0,012	0,011	0,015	0,025
0,052	0,046	0,026	0,031	0,026	0,030	0,032
0,063	0,062	0,053	0,055	0,050	0,045	0,042
0,070	0,071	0,065	0,068	0,060	0,056	0,052
0,070	0,072	0,073	0,073	0,065	0,064	0,060
0,071	0,072	0,076	0,073	0,070	0,070	0,071
0,070	0,070	0,073	0,072	0,072	0,073	0,083

В ході досліджень отримано закономірності зміни режиму руху транспортних засобів на автомобільних дорогах України на сучасному етапі розвитку дорожнього господарства приведені в ДСТУ 8824 [173]. Уточнено коефіцієнти переходу від годинної інтенсивності руху до добової, тижневої та середньорічної, які можуть застосовуватися при визначенні інтенсивності руху транспортних потоків на автодорогах України.

Необхідно відновити та розширити практику обліку інтенсивності руху не тільки на маршрутах міжнародних транспортних коридорів, але і на місцевій мережі доріг з використанням сучасних досягнень в цій галузі за кордоном.

Розроблена методика дозволяє уточнити значення параметрів навантаження та встановити їх розрахункові значення із необхідною надійністю при проектуванні конструкцій дорожніх одягів на міцність та витривалість.

3.1.2 Зміна інтенсивності руху та складу транспортного потоку на мережі автомобільних доріг України державного значення за 2005 - 2018 роки

В даний час в Україні використовується автоматизована система обліку руху, вона включає 229 пунктів і систему збору, обробки, передачі та зберігання інформації про інтенсивність руху транспортних потоків на автомобільних дорогах державного значення України, однак з 2013 року дана система припинила своє функціонування із-за відсутності фінансування на її обслуговування.

У 2018 році було проведено роботи з відновлення лічильників автоматичного обліку руху у Львівській області - 1 лічильник, Рівненській області - 9 лічильників, Волинській області – 3 лічильника та Київська область – 1 лічильник.

Пункти обліку інтенсивності руху обладнуються технічними засобами, принцип дії яких заснований на різних методах детектування типів автотранспортних засобів. В даний час пункти автоматизованого обліку на автомобільних дорогах загального користування України обладнані технічними засобами, заснованими на електромагнітній індукції і радіолокаційному принципі детектування автотранспортних засобів.

Починаючи з 2006 року на постах автоматизованої системи обліку руху стали використовувати датчики, які поряд з вищенаведеною класифікацією можуть класифікувати транспортні засоби за класифікацією EURO 6:

- легкові;
- автобуси;
- вантажні та автопоїзд до 5 т;
- вантажні та автопоїзд 5 - 12 т;
- вантажні та автопоїзда 12-20 т ,
- вантажні та автопоїзд понад 20 т.

Дана класифікація найбільш прийнятна для аналізу складу руху транспортного потоку, так як вона дозволяє врахувати великовантажні транспортні засоби, які завдають найбільш руйнівного впливу на дорожні конструкції.

Однак, незважаючи на деякі вдосконалення, на постах автоматизованої системи обліку руху неможливо отримати дані про кількість осей багато вісних транспортних засобів, про завантаженість кожної з осей, які є одними з основних параметрів при визначенні навантажень від транспортних засобів на дорожній одяг.

Для порівняння даних отриманих ДП «Укрдіпродор» та НТУ виконано анкетне опитування дорожніх організацій в системі Укравтодору стосовно зміни інтенсивності транспорт потоку в останні роки.

За даними опитування виконано аналіз зміни складу транспортного потоку по основних типах транспортних засобі та зміни середньої інтенсивності транспортного потоку по роках за наступною методикою.

Склад транспортного потоку визначавсь за формулою

$$N_{тип_трансп} = \frac{N_i}{N_{поток}} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

Де: $N_{тип_трансп}$ – відсоток певного типу транспортних засобів в складі руху, %

N_i – кількість і-тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) на розрахунковій ділянці, авт./добу.

$N_{поток}$ – загальна кількість транспортних засобів на розрахунковій ділянці, авт../добу.

Зміну складу транспортного потоку по роках визначалась за формулою

$$N_{прир_інт} = \frac{N_i \%}{N_{i-1} \%}, \quad (3.4)$$

Де: $N_{прир_інт}$ - коефіцієнти приросту по типу і-тих транспортних засобів по відношенню до попереднього року

$N_i \%$ - кількість і-тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні і т.д.) за розрахунковий рік, %

$N_{i-1} \%$ - кількість і-тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) за попередній рік, %.

Зміну складу транспортного потоку до початкового року спостереження роках визначалась за формулою

$$N_{прир_інт_поч} = \frac{N_i \%}{N_{баз_снот} \%}, \quad (3.5)$$

Де: $N_{прир_інт_поч}$ – коефіцієнти приросту по типу і-тих транспортних засобів по відношенню до базового (початкового) року;

$N_i \%$ – кількість і-тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні і т.д.) за розрахунковий рік, %;

$N_{баз_снот}$ – кількість і-тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) за базовий (початковий) рік, %.

За даними виконаного аналізу (табл. 3.3) наведено результати зміни приросту інтенсивності до попереднього року на автомобільних дорогах державного значення за період 2005-2017 рр.

Таблиця 3.3 – Зміна складу транспортного потоку на автомобільних дорогах державного значення України (міжнародного, національного та регіонального значення) за даними обліку руху 2005-2017 років

Значення автомобільної дороги та рік спостереження	Легкові, %	Вантажні легкі, %	Вантажні середні, %	Вантажні важкі, %	Автобуси середні, %	Автобуси важкі, %	Тягачі з напівприцепом, %	Тягачі з причепом, %	Мотоцикли та інші ТЗ, %
Міжнародні									
2005	54,38	14,65	10,36	8,75	3,30	2,56	2,81	3,41	0,01
2006	65,90	9,74	5,08	5,43	2,28	1,63	5,68	4,34	0,02
2007	65,90	9,74	5,08	5,43	2,28	1,63	5,68	4,34	0,02
2008	65,48	10,38	4,09	4,52	2,43	1,22	7,56	4,24	0,07
2010	62,91	11,31	4,34	5,08	2,79	1,34	7,83	4,37	0,02
2011	62,73	11,12	4,54	5,15	2,84	1,38	7,70	4,47	0,02
2012	60,38	10,38	3,65	3,71	1,90	0,60	14,28	5,02	0,00
2013	57,55	15,45	3,25	4,19	2,81	0,83	13,87	2,06	0,00
2014	59,67	13,66	3,43	4,14	2,09	0,90	13,84	2,27	0,00
2015	63,29	7,57	2,78	5,21	2,08	0,38	1,53	16,84	0,32
2016	65,49	3,11	0,88	8,76	3,33	3,94	12,14	2,35	0,00
2017	67,83	8,98	2,78	4,32	1,41	0,77	12,41	1,50	0,00
Національні									
2006	68,90	8,08	5,03	6,28	3,37	1,74	3,16	3,43	0,01
2007	68,90	8,08	5,03	6,28	3,37	1,74	3,16	3,43	0,01
2008	66,11	11,07	4,65	5,41	2,85	1,33	4,96	3,63	0,02
2010	62,46	12,00	4,69	5,92	2,78	1,20	6,43	4,51	0,00
2011	62,60	11,84	4,67	5,92	2,86	1,22	6,44	4,45	0,00
2012	61,16	11,88	3,59	5,41	1,08	0,44	11,16	5,27	0,00
2013	64,10	17,82	3,69	4,00	3,13	0,70	5,63	0,93	0,00
2014	64,77	13,51	3,30	4,21	2,83	0,46	8,20	2,72	0,00
2015	72,08	7,91	3,81	6,86	3,34	0,49	2,56	1,33	0,05
2016	69,94	3,68	0,98	8,68	3,20	4,01	7,45	2,07	0,00
2017	73,46	9,50	2,92	4,20	1,65	0,40	6,55	1,32	0,00
Регіональні									
2006	64,83	10,55	5,46	6,19	2,67	2,21	3,60	4,48	0,00
2007	64,91	10,53	5,44	6,18	2,67	2,21	3,59	4,46	0,00
2008	64,60	11,43	5,00	5,49	2,71	1,09	6,20	3,36	0,11
2010	63,91	12,19	4,76	5,81	3,01	1,14	5,53	3,60	0,04
2011	63,14	11,57	4,72	5,40	2,81	1,07	7,40	3,78	0,11
2012	63,07	12,22	5,15	5,15	2,21	0,46	7,87	3,87	0,00
2013	61,48	17,45	4,11	4,87	3,26	0,51	6,71	1,61	0,00
2014	65,88	12,75	3,88	4,55	2,56	0,28	8,03	2,06	0,00
2015	75,86	12,74	3,95	2,75	2,90	0,26	0,79	0,72	0,04
2016	70,52	4,13	1,25	8,36	3,66	3,70	5,78	2,58	0,01
2017	71,30	9,83	3,23	4,43	1,94	0,27	7,32	1,65	0,00

У табл. 3.4 наведені дані зміни коефіцієнту приросту інтенсивності до першого року спостереження.

Таблиця 3.4 – Коефіцієнти приросту транспортного потоку по типах транспортних засобів на автомобільних дорогах державного значення за період 2005-2017 років

Значення автомобільної дороги та рік спостереження	Легкові	Вантажні легкі	Вантажні середні	Вантажні важкі	Автобуси середні	Автобуси важкі	Тягачі з напівпричіпом	Тягачі з причіпом	Мотоцикли и та інші ТЗ
Міжнародні									
2006	1,21	0,66	0,49	0,62	0,69	0,64	2,02	1,27	3,72
2007	1,21	0,66	0,49	0,62	0,69	0,64	2,02	1,27	3,72
2008	1,20	0,71	0,39	0,52	0,74	0,48	2,69	1,24	1,34
2010	1,16	0,77	0,42	0,58	0,85	0,53	2,79	1,28	3,20
2011	1,15	0,76	0,44	0,59	0,86	0,54	2,74	1,31	3,83
2012	1,11	0,71	0,35	0,42	0,58	0,23	5,08	1,47	0,00
2013	1,06	1,05	0,31	0,48	0,85	0,32	4,94	0,60	0,00
2014	1,10	0,93	0,33	0,47	0,63	0,35	4,92	0,67	0,00
2015	1,16	0,52	0,27	0,60	0,63	0,15	0,54	4,94	2,04
2016	1,20	0,21	0,09	1,00	1,01	1,54	4,32	0,69	0,40
2017	1,25	0,61	0,27	0,49	0,43	0,30	4,41	0,44	0,00
Національні									
2006	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2007	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2008	0,96	1,37	0,92	0,86	0,84	0,76	1,57	1,06	3,09
2010	0,91	1,48	0,93	0,94	0,83	0,69	2,04	1,32	0,00
2011	0,91	1,46	0,93	0,94	0,85	0,70	2,04	1,30	0,00
2012	0,89	1,47	0,71	0,86	0,32	0,25	3,54	1,54	0,00
2013	0,93	2,21	0,73	0,64	0,93	0,40	1,78	0,27	0,00
2014	0,94	1,67	0,65	0,67	0,84	0,26	2,60	0,79	0,00
2015	1,05	0,98	0,76	1,09	0,99	0,28	0,81	0,39	2,45
2016	1,02	0,46	0,19	1,38	0,95	2,30	2,36	0,60	0,00
2017	1,07	1,18	0,58	0,67	0,49	0,23	2,07	0,39	0,00
Регіональні									
2006	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2007	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
2008	1,00	1,08	0,92	0,89	1,02	0,49	1,72	0,75	1,14
2010	0,99	1,16	0,87	0,94	1,13	0,52	1,53	0,80	0,44
2011	0,97	1,10	0,87	0,87	1,05	0,48	2,05	0,84	1,06
2012	0,97	1,16	0,94	0,83	0,83	0,21	2,18	0,87	0,00
2013	0,95	1,65	0,75	0,79	1,22	0,23	1,86	0,36	0,00
2014	1,02	1,21	0,71	0,73	0,96	0,13	2,23	0,46	0,00
2015	1,17	1,21	0,72	0,44	1,08	0,12	0,22	0,16	0,42
2016	1,09	0,39	0,23	1,35	1,37	1,68	1,60	0,58	0,09
2017	1,10	0,93	0,59	0,71	0,73	0,12	2,03	0,37	0,00

На рис. 3.1 наведено більш детальні дані зміни коефіцієнту приросту інтенсивності та закономірності їх зміни для різних типів транспортних засобів.

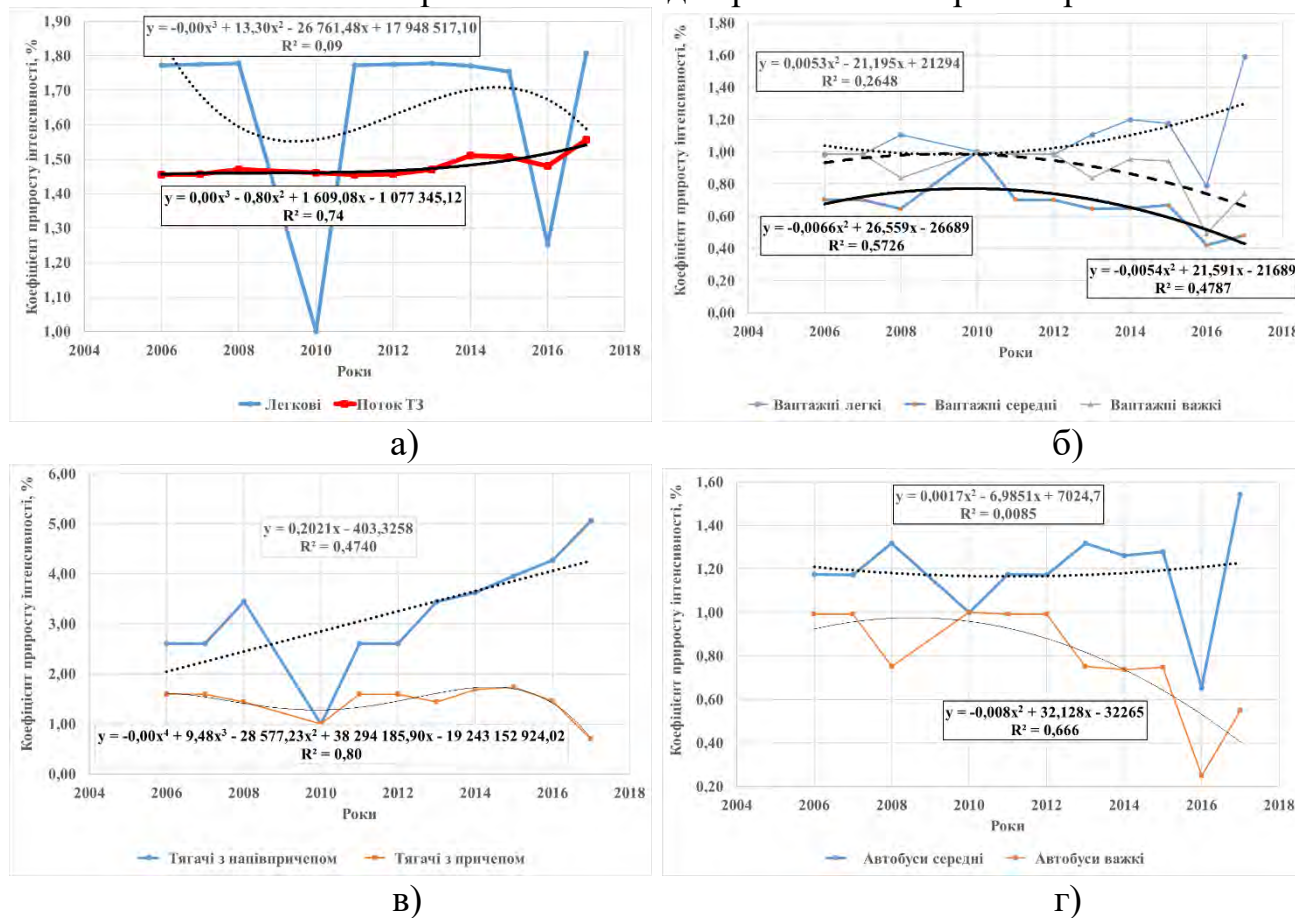


Рисунок 3.1 – Зміна приросту інтенсивності за період 2005-2017 роки: а) легкових автомобілів та зміни приросту інтенсивності (для потоку); б) вантажних легких, вантажних середніх та вантажних важких автомобілів; в) автобусів середніх (до 30 пасажирів та автобусів важких (понад 30 пасажирів); г) вантажних автомобілів з напівпричепом (сідельний тягач) та вантажних автомобілів з причепом

За даними аналізу обліку інтенсивності на автомобільних дорогах державного значення України встановлено, що зміна приросту інтенсивності руху не відповідає закону геометричної прогресії, як приймається на сьогоднішній день в проектних роботах.

Так для легкових автомобілів коефіцієнт приросту постійна величина, коефіцієнт приросту для автобусів малих та середніх збільшилось з 1,89 до 9,35 для

великих автобусів до 2015 року спостерігався спад з 2,56 до 0,4 та бачимо останніми роками зміну в сторону росту з 0,4 до 2,95.

Найбільш значимо спостерігається ріст коефіцієнту приросту сидельних тягачів з напівпричепами з 1,77 до 10,49 тобто в 5,93 рази та спад для вантажних легких автомобілів з 14,65 до 4,33 тобто в 3,38 рази знизився попит.

Для вантажних автомобілів з причепом до 2012 року коефіцієнт інтенсивності руху практично був постійним і рівним 4,5, а в останні роки зменшився до 1,5.

Для приладу, для автомобільної дороги М-14 за період 2005-2017 років виконано аналіз зміни інтенсивності руху та складу транспортного потоку (рис. 3.2).

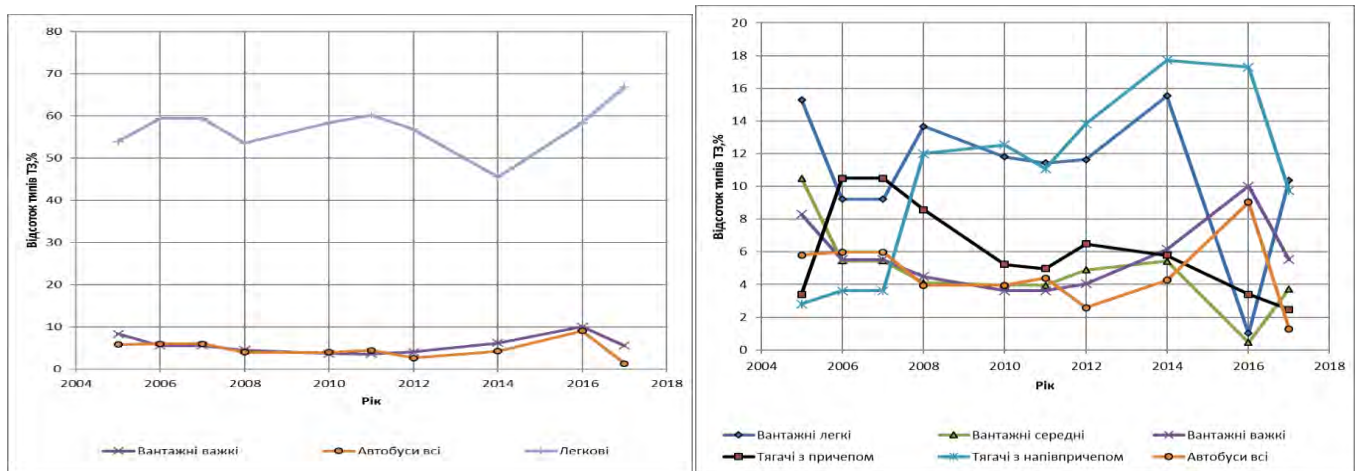


Рисунок 3.2 – Зміна складу легкових авто, та автобусів (а) та різних типів вантажних ТЗ % по роках на автомобільній дорозі М-14 Одеса – Миколаїв – Новоазовськ (на м. Таганрог) км 94 – 128

На різних точках обліку структура парку змінюється неоднорідно та за різними закономірностями. Біля великих міст зростає кількість легкових авто. Постійно зростає відсоток тягачів з напівпричепами.

На різних точках обліку структура парку змінюється неоднорідно та за різними закономірностями. Біля великих міст зростає кількість легкових авто. Постійно зростає відсоток тягачів з напівпричепами. За даними аналізу обліку інтенсивності на автомобільній дорозі М 14 встановлено, що зміна приросту інтенсивності руху не відповідає закону геометричної прогресії, як приймається на сьогоднішній день в проектних роботах (рис. 3.2) і часто носить хаотичний характер. Причини криються в

недоліках візуальної методики обліку інтенсивності руху, складності процесу, політичній та економічній нестабільності розвитку держави, впливу окупації Криму та східної території України.

На рис. 3.3 а - г наведено більш детальні дані зміни коефіцієнту приросту інтенсивності відносно першого року експлуатації для вибраного типу транспортних засобів на різних точках спостереження.

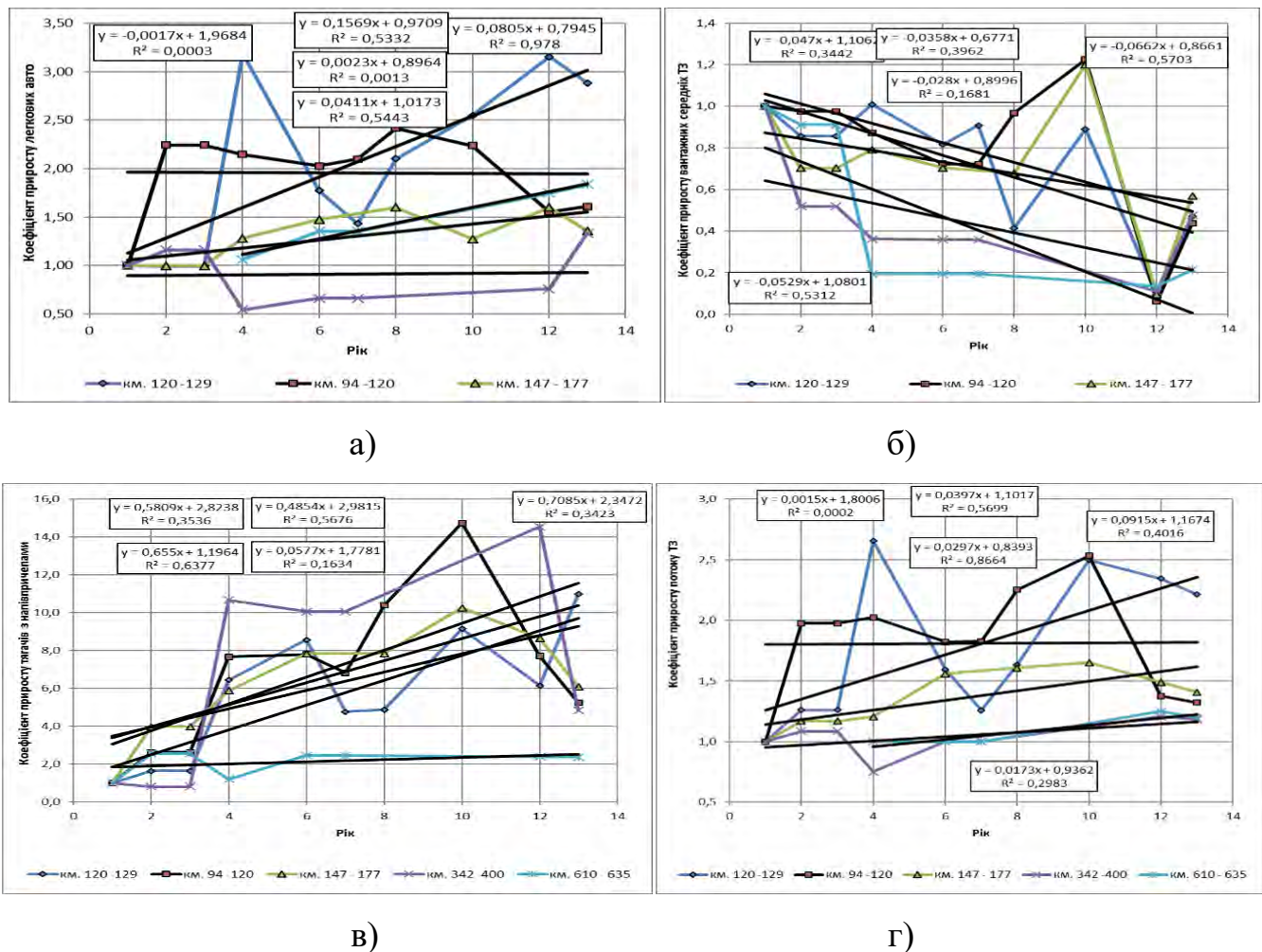


Рисунок 3.3 – Зміна приросту інтенсивності за період 2005-2017 роки: а) легкових автомобілів; б) вантажних середніх; в) вантажних автомобілів з напівпричепом (сідельний тягач); г) потоку ТЗ

Для визначення середньодобової інтенсивності руху більш доцільно використовувати лінійну залежність типу

$$N_{\text{лін}}(t) = N_0 (1 + a(t-1)), \quad (3.6)$$

де N_0 - середньодобова річна інтенсивність дорожнього руху в перший рік експлуатації,

a – щорічний коефіцієнт приросту інтенсивності руху ТЗ.

Найбільші зміни відбулися в структурі транспортного потоку, що пов'язано зі кардинальним зростанням тягачів з напівпричепами, які найбільше руйнують дорожні одяги. Зростання коефіцієнту приросту становить до 15 разів! Для вантажних автомобілів з напівпричепом (сідельний тягач) спостерігається практично лінійна залежність типу $K_{zp} = a \cdot t + b$, зростання інтенсивності руху з коефіцієнтом щорічного приросту від $a=0,057$ для км. 610 – 635 та максимально до $a=0,708$ для км. 120 – 129 з проміжними значеннями від $a=0,484$ до $0,655$ для інших ділянок.

Для практичного застосування при розрахунку перспективної інтенсивності руху (кількості прикладання розрахункових осей за період експлуатації доцільно використовувати лінійну регресію відповідно до формули (5) з коефіцієнтом приросту для тягачів з напівпричепами $a=0,15$ для км 610 – 635 в безпосередній близькості до окупованої території та $a=0,5$ км 147 – 177 та максимально $a=0,75$ для інших ділянок (км 120 – 129).

Отримано основні закономірності зміни режиму руху транспортних засобів на автомобільних дорогах України на сучасному етапі розвитку дорожнього господарства. Уточнено коефіцієнти переходу від годинної інтенсивності руху до добової, тижневої та середньорічної, які можуть застосовуватися при визначенні інтенсивності руху транспортних потоків на автодорогах України.

Необхідно відновити та розширити практику обліку інтенсивності руху не тільки на маршрутах міжнародних транспортних коридорів, але і на місцевій мережі доріг з використанням сучасних досягнень в цій галузі за кордоном. Розроблена методика дозволяє уточнити значення параметрів навантаження та встановити їх розрахункові значення із необхідною надійністю при проектуванні конструкцій дорожніх одягів на міцність та витривалість.

На основі проведених досліджень розроблено ДСТУ Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування.

У результаті роботи встановлено, що неможливо встановити математичні закономірності, які дають змогу прогнозувати зміну приросту інтенсивності та складу транспортного потоку із заданою ймовірністю, що необхідно при розрахунках конструкцій дорожнього одягу на динамічну дію навантаження.

Коефіцієнти зміни приросту інтенсивності не можуть бути апроксимовані єдиною залежністю протягом десятилітнього періоду. При нестабільній економіці їх неможливо прогнозувати із заданою надійністю. Похибка між проектними та фактичними значеннями може становити 400 ... 600% (рис. 3.4) . Залишається шлях безпосереднього вимірювання і постійного спостереження для отримання достовірних даних.

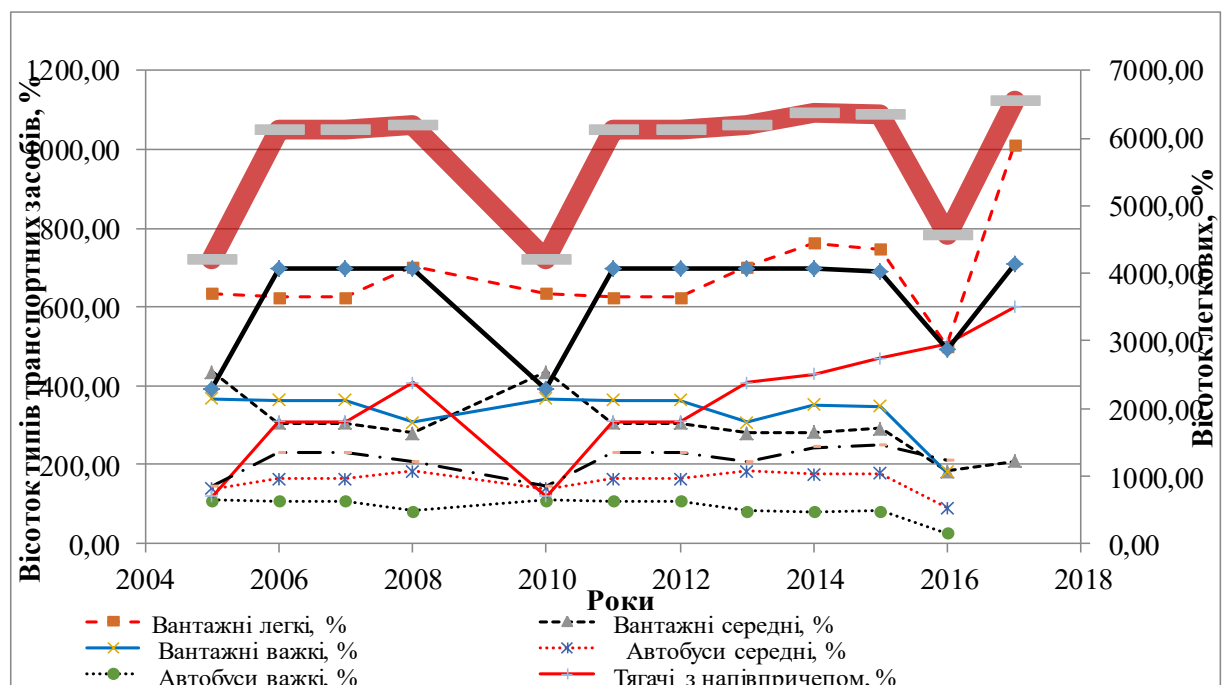


Рисунок 3.4 – Зміна відсотку приросту транспортних засобів до 2005 року

У результаті роботи встановлено, що неможливо встановити математичні закономірності, які дають змогу прогнозувати зміну приросту інтенсивності та складу транспортного потоку із заданою ймовірністю, що необхідно при розрахунках конструкцій дорожнього одягу на динамічну дію навантаження.

На основі отриманих даних уточнено методику визначення інтенсивності руху за результатами короткострокових спостережень, що дозволяють обґрунтовано, з

урахуванням тимчасових факторів (годину, день тижня, місяць проведення вимірювання), встановити інтенсивність і склад транспортного потоку, з наступним уточненням параметрів, характеристик транспортного потоку для проєктування дорожніх одягів.

Отримані значення зміни приросту інтенсивності вантажних автомобілів необхідно використовувати при:

- проєктуванні конструкцій дорожніх одягів жорсткого та нежорсткого типів;
- розрахунку мостів та труб;
- контролі на пунктах вагового контролю (стаціонарних та пересувних);
- розробці конструктивних схем автомобілів;
- розрахунку плати за проїзд та визначенні рівня фінансування дорожньої галузі;
- розробці нормативних документів, так як на даний момент в Україні відсутній стандарт, який регулює нормативні навантаження та габарити автотransпортних засобів, що рухаються автомобільними дорогами України.

3.1.3 Визначення навантаження на вісь за допомогою вагових комплексів

Найбільш досконалими системами для визначення параметрів транспортного потоку є системи визначення «ваги в русі» (WIM) - пристрої призначені для визначення і запису осьових і повних навантажень транспортних засобів. На відміну від використання статичних вагових станцій, WIM системи не вимагають зупинки вантажних автомобілів, що робить їх роботу набагато ефективніше.

Інформація, яка отримується з постів обладнаних системами WIM, досить інформативна . Поряд з інформацією про кількість транспортних засобів вони надають дані про швидкість руху автомобілів та їх осьові навантаження.

Переваги та недоліки станцій WIM .

Переваги WIM :

- швидкість обробки порівняно зі станціями статичного зважування; безпека; безперервність обробки; збільшення обсягу охоплення транспортного потоку; низька вартість експлуатації; безперервний контроль; можливість статистичної обробки.

Недоліки WIM :

- Станції WIM дають менш точну інформацію про навантаження на вісь в порівнянні з станціями статичного зважування. Похибка в вимірах може коливатись в межах (6 - 15) %;

- WIM системи чутливі до блискавки в безпосередній близькості.

Дані, одержувані на постах вагового контролю, співставимі з даними, що отримані на закордонних аналогах систем WIM.

До недоліків постів вагового контролю можна віднести зниження швидкості руху при проходженні транспортного засобу через пункт, що найчастіше викликає затори на під'їздах до них, також пости вагового контролю проводять моніторинг тільки вантажних автомобілів та не дають інформацію про легковому потоці.

В даний час в Україні відсутня достовірний сучасний метод визначення параметрів транспортного потоку, таких як склад транспортного потоку за конструктивними схемами вантажних автомобілів, осьової навантаженні і швидкості руху. А тим часом ці параметри відіграють основну роль при розрахунку дорожньої конструкції.

Зарубіжні системи дозволяють одержати інформацію, достатню для прийняття вірних рішень на стадії проектування дорожніх одягів. Вихід із ситуації бачиться в розробці вітчизняного методу експрес оцінки параметрів транспортного потоку. Спроби у створенні такого методу були зроблені такими вченими, як: С.К. Ілюполов, Є.В. Углов, Д.А. Ніколенко і М.А. Ніколенко, окрім створення самого методу також необхідна розробка нормативної бази, встановив порядок проведення та подальшого використання даних, отриманих в ході експрес оцінки .

Слід зазначити, що наявність такого методу дозволило б не тільки виконувати вірний розрахунок дорожньої конструкції, але також і здійснювати контроль за дотриманням перевізниками правил перевезення вантажів. Крім самого методу також необхідна розробка нормативної бази, що встановлює порядок проведення та подальшого використання даних, отриманих в ході експрес оцінки.

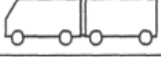
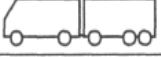
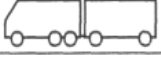
3.2 Експериментальне визначення навантаження на вісь транспортних засобів

За даними пунктів габаритно-вагового контролю: філії ДП Київський Облдоруп Спецавтобаза ДП “Київський облавтодор” ВАТ “ДАК” Автомобільні дороги України” та філії “Чернігівська дорожньо-експлуатаційна дільниця” ДП “Чернігівський облавтодор” ВАТ “ДАК” Автомобільні дороги України” виконано збір та первинний аналіз даних за 2011-2013 років, а саме:

- розподіл по типах;
- розподіл навантаження по осях (навантаження на ліве та праве колесо/тандем та сумарне навантаження на вісь);
- відстані в осях транспортних засобів;
- визначення перевантаження на вісь.

Типи транспортних засобів та їх коди в базі наведено згідно (таблиця 3.5)

Таблиця 3.5 – Тип транспортного засобу (виділити позначкою " + "):

4.1.		4.5.		4.9.		4.13.	
4.2.		4.6.		4.10.		4.14.	
4.3.		4.7.		4.11.		4.15.	
4.4.		4.8.		4.12.		4.16.	Інший (замалювати):

Примітка. В кожній філії код типу транспортного засобу може відрізнятись першою цифрою (4.1 – філії “Чернігівська дорожньо-експлуатаційна дільниця”, 5.1 - філії ДП Київський Облдоруп Спецавтобаза).

Таблиця 3.6 – Дані по осьового зважування транспортних засобі з пункту вагового контролю з автомобільних доріг Київської області.

№	Марка автомобіля	Схема ТЗ	Навантаження на осі, кг					Повна маса, кг
			1	2	3	4	5	
1	MAZ	5.1	4400	6700				11100
2	KAMAZ	5.6	3750	2700	2650	3800		12900
3	RENAULT	5.12	5750	8400	4200	4200	4300	26850
4	MAN	5.12	5150	3500	1850	2100	2100	14700
5	RENAULT	5.12	6200	9550	7750	6950	7100	37550
6	DAF	5.12	6050	5450	3050	3000	3100	20650
7	MAZ	5.1	5800	7850	-	-	-	13650
8	MERCEDES	5.1	5600	4350	-	-	-	9950
9	VOLVO	5.12	6250	8500	6350	5950	6250	33300
10	RENAULT	5.12	5600	9200	6250	6150	6300	33500
11	VOLVO	5.12	5950	6900	6750	6950	6950	33500
12	MERCEDES	5.1	3650	5300	-	-	-	8950
13	MAZ	5.3	6800	6500	6500	-	-	19800
14	MERCEDES	5.6	5450	7450	4550	4600	-	22050
15	ISUZU	5.1	2000	3850	-	-	-	5850
16	VOLVO	5.12	6900	10800	6500	6450	6600	37250
17	MAZ	5.1	6000	7650	-	-	-	13650
18	RENAULT	5.12	5850	9050	5000	5050	4900	29850
19	MAZ	5.1	5650	7850	-	-	-	16500
20	VOLVO	5.12	6100	8550	6950	7000	6750	35350
21	VOLVO	5.12	6800	11150	4050	4100	3950	30050
22	RENAULT	5.12	5850	9750	7600	7650	4650	35500
23	RENAULT	5.1	3200	4500	-	-	-	7700
24	DAF	5.12	7000	8250	6900	7050	6900	36100
25	MERCEDES	5.12	5900	5450	3650	3650	3650	22300
26	DAF	5.12	7150	10100	4300	4300	4250	30100
27	KAMAZ	5.3	5700	8700	8400	-	-	22800
28	VOLVO	5.12	6100	8050	4500	4700	4100	27450
29	MERCEDES	5.12	6950	8350	6350	6900	7350	35900
30	DAF	5.12	5600	4350	2250	2250	2200	16650

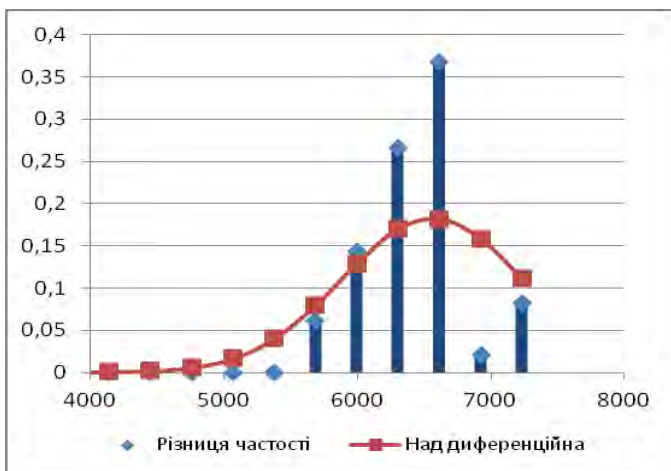
За даними попереднього аналізу першої та другої осі транспортних засобів встановлено нормальний закон розподілу навантажень на ведучу та ведому вісь сідельного тягача (рис. 3.5).



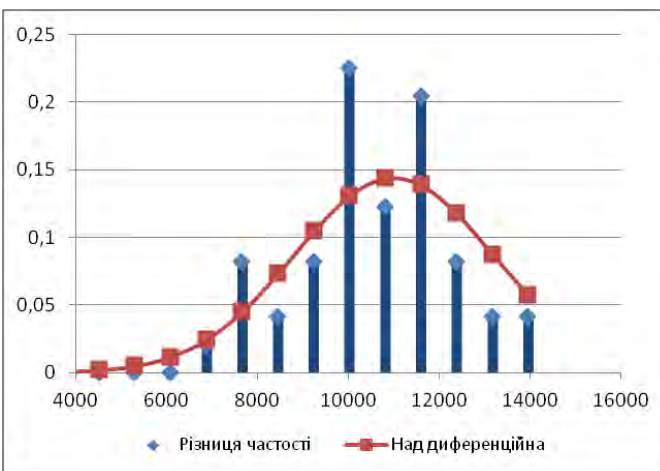
а) ведучу вісь (передня)



б) на ведому вісь (задня)



а) ведучу вісь (передня)



б) на ведому вісь (задня)

Рисунок 3.5 – Гістограма та диференційна крива розподілу навантаження на

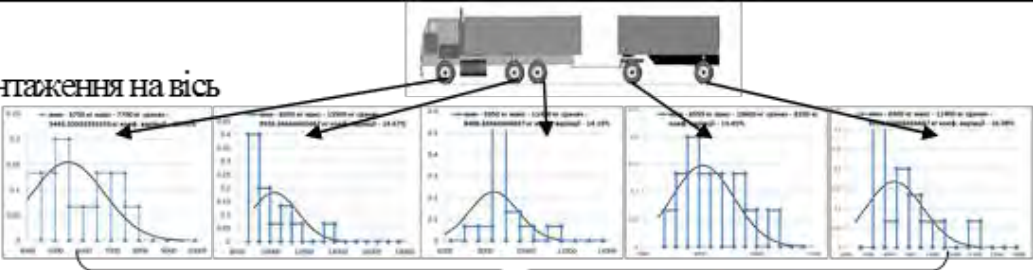
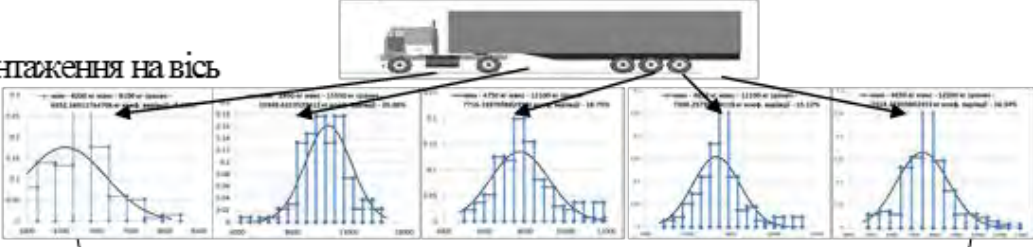
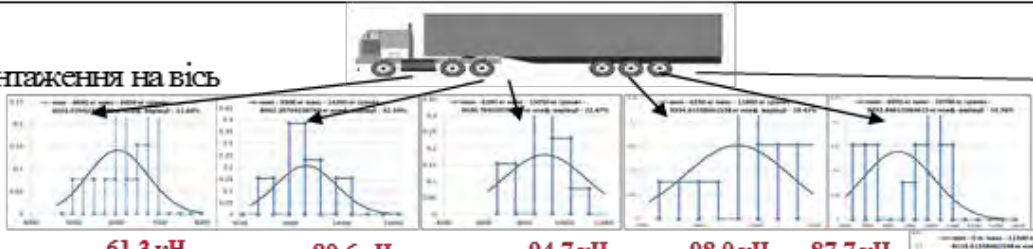
вісі сідельного тягача (код 5.12)

Таблиця 3.7 – Укрупнені показники

Позначення	Розподіл навантаження на осі сідельного тягача	
	Передня вісь, кг	Задня вісь, кг
Мінімальне значення	2900	2950
Максимальне значення	7850	15550
Середнє значення	6557,65	11005,10
Розмах значень	4950	12600
Середньоквадратичне відхилення	678	2179
Коефіцієнт варіації	0,10	0,20

За даними виконаного аналізу навантажень на осі транспортних засобів встановлені нормальний закон розподілу навантажень на осі тягачі та причепів/напівпричепів наведених в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Аналіз навантажень на осі транспортних засобів

5.8 Тривісний вантажний автомобіль з двоохсьовим	Навантаження на вісь  54,4 кН 23,35% 95,6 кН 14,67% 84,1 кН 14,19% 81,0 кН 13,45% 397,3 кН 10,36% Загальна маса Коефіцієнт приведення до А-11
5.12 Двовісний тягач з трохосним напівприцепом	Навантаження на вісь  66,1 кН 7,14% 104,0 кН 18,60% 77,2 кН 18,75% 73,0 кН 15,12% 74,2 кН 16,34% Загальна маса Коефіцієнт приведення до А-11
5.15 Тривісний тягач з трохосним напівприцепом	Навантаження на вісь  61,3 кН 11,48% 89,6 кН 24,16% 94,7 кН 19,79% 98,0 кН 15,51% 87,7 кН 18,10% 95,9 кН 14,66% 527,3 кН 9,58% Загальна маса Коефіцієнт приведення до А-11

За результатами експериментальних досліджень отримані наступні значення навантажень на вісь різних типів транспортних засобів

Визначення коефіцієнтів варіації навантажень на кожну вісь визначається за загальною формулою (3.7)

$$V_{Q_i} = \frac{1}{\sum Q_i} \sqrt{\sum (Q_i \cdot V_i)^2}, \quad (3.7)$$

в тому числі:

- коефіцієнтів варіації навантаження на одиночну вісь

$$V_{Q_{1\text{вісь}}} = Q_{1\text{вісь}} \cdot V_{1\text{вісь}},$$

- коефіцієнтів варіації навантаження на спарені осі

$$V_{Q_{2\text{осі}}} = \frac{1}{Q_{1\text{вісь}} + Q_{2\text{вісь}}} \sqrt{(Q_{1\text{вісь}} \cdot V_{1\text{вісь}})^2 + (Q_{2\text{вісь}} \cdot V_{2\text{вісь}})^2}$$

- коефіцієнтів варіації навантаження на строєні осі

$$V_{Q_{3\text{осі}}} = \frac{1}{Q_{1\text{вісь}} + Q_{2\text{вісь}} + Q_{3\text{вісь}}} \sqrt{(Q_{1\text{вісь}} \cdot V_{1\text{вісь}})^2 + (Q_{2\text{вісь}} \cdot V_{2\text{вісь}})^2 + (Q_{3\text{вісь}} \cdot V_{3\text{вісь}})^2}$$

де: Q_i – фактичне навантаження на i - ту вісь, V_i – коефіцієнт варіації навантаження на i - ту вісь.

Таблиця 3.9 – Усереднені дані навантаження на вісь та відсоток перевищення з нормативним

Типи транспортних засобів	По середніх значеннях			Відсоток перевищення нормативного значення		
	Одиночна вісь, кг	Здвоєна вісь, кг	Строєна вісь, кг	Одиночна вісь, %	Здвоєна вісь, %	Строєна вісь, %
Нормативне значення	11500	16000	22000	11500	16000	22000
5.2	8702,1	-	-	-	-	-
5.3	6181,0	22531,6	-	-	40,82	-
5.5	-	19857,86	-	-	24,11	-
5.8	7256,7	17963,3	-	-	12,27	-
5.9	6916,7	16983,3	-	-	6,15	-
5.11	9575,0	18600,0	-	-	16,25	-
5.12	8507,7	-	22434,7	-	-	1,98
5.14	4875,0	16705,0	-	-	4,41	-
5.15	6127,3	18431,8	28173,2	-	15,2	28,06
Середнє по типах					17,025	15,018

Крім навантажень на осі було проаналізовано відстань між здвоєними осями. На автомобілях українських перевізників найбільш часто зустрічається відстань 130-140 см, яка може бути прийнята при розрахунку еквівалентного навантаження від

проїзду здвоєних осей [143]. Проте часто зустрічаються як більші, так і менші відстані. На зарубіжних транспортних засобах міжосьова відстань в основному складає 130 - 140 см і 200 - 210 см.

Час дії навантаження

Розрахункові значення модулів пружності слід призначати по графіках функцій (модулів) релаксації відповідно до фактичної тривалості дії напружень у розглянутій точці дорожнього одягу.

Визначимо тривалість дії навантаження або, точніше, ефективний час навантаження дорожнього одягу t_H (тривалість дії навантаження в будь-якій точці конструкції теоретично нескінченний), як відношення $t_H = L_p / v$, де L_p — розрахункова довжина епюри, якого-небудь компонента тензора напружень, деформацій або вектору переміщень; v — швидкість руху навантаження.

При призначенні розрахункових характеристик монолітних шарів дорожнього одягу в якості L_p доцільно приймати довжині ділянки епюри розтягувальних напружень $\sigma_r(r)$, у межах якої значення напружень становить не менш 5 % максимального. Ефективний час навантаження можна приблизно розрахувати за формулами (3.8)

$$t_H = 1.121 \times D / \left\{ v \times \arctg \left[\left(1.08 \times h \times \sqrt[3]{E1/E2/D} \right)^{-1} \right] \right\} \text{ або } t_H = \frac{1.73 \times D}{v} \times \sqrt{1 + \left(h \times \sqrt[3]{E1/E2/D} \right)^2} \quad (3.8)$$

де, h — глибина розрахункової точки, тобто відстань по вертикалі від цієї точки до поверхні покриття

В нормах коефіцієнт запасу на повторність $K_N = 1$ відповідає інтенсивності руху розрахункових навантажень $N=1000$ одиниць за добу. При розрахунках дорожнього одягу на дію великовантажного багатомісного транспортного засобу, що має N рівномірно завантажених осей, коефіцієнт запасу на повторність дії навантаження можна визначити за формулою (3.9).

$$K_N = (1000 / N)^{\frac{1}{n}} \quad (3.9)$$

З врахуванням ефективної тривалості навантаження монолітних шарів від звичайних транспортних засобів (0,1 с) при розрахунках на дію транспортного засобу, що повільно рухається, коефіцієнт запасу міцності на тривалість дії навантаження рекомендується визначати за формулою (3.10)

$$K_{\Delta t} = (0.1 / t_H)^{\frac{1}{n}}, \quad (3.10)$$

де t_H - визначається за формулою (3.11) залежно від швидкості руху; при $v=60\ldots 70$ км/год слід уважати, що $t_H=0,1$ с, як прийняте ще у ВСН 46-83 та не змінювалось до даного часу у вітчизняних нормах.

3.3 Встановлення значень тиску в шинах вантажних автомобілів

Основні дані про навантаження, що передаються на дорожнє покриття автотранспортними засобами, наведені у ДБН В.2.3-4, що відповідають граничним навантаженням на вісь автомобілів. Вказані параметри не мають сучасного експериментального підтвердження та базуються на даних 70 - 80 р.р минулого століття. В Україні по даний час відсутній ДСТУ Навантаження та габарити, який встановлює допустимі параметри навантаження необхідні для проектування дорожніх одягів.

Для прикладу в країнах СНД діє ГОСТ 5513-97 в якому наприклад встановлено параметри тиску в шині для найбільш поширених автомобільних шин з радіусом 22,5 R встановлено тиск 0,89 МПа.

Таблиця 3.10 – - Параметри навантаження від ТЗ згідно ГОСТ 5513-97 [154]

Позначення шини	Норма шаруватості	Індекс несучої здатності для максимально допустимого навантаження для (О) одинарну та (С) спарену шину		Норми експлуатаційних режимів				Максимальна швидкість, км/год
				Максимально допустиме навантаження для одинарних та спарених коліс, кН (кгс)		Внутрішній тиск, яке відповідає максимально допустимому навантаженню для одинарних та спарених коліс		
		О	С	О	С	кПа (кгс/см ² *)	PSi"	
11/70R22.5	—	146	144	29.43 (3000)	27.47	870 (8.9)	126	100
315/70R22.5	—	149	145	31.88 (3250)	28.45	800 (8.2)	116	120
	—	152	148	34.83 (3550)	30.90	850 (8.7)	123	120
425/65R22.5	—	165		50.52 (5150)	—	820 (8.4)	119	100
1 кгс/см ² - 98.066 к Па. 1 PSi- 6.895 кПа.								

При загально прийнятому коефіцієнті динамічності 1,3 інтенсивність розподіленого навантаження колеса на дорогу рівна $0,89 \cdot 1,3 = 1,16 \text{ МПа}$, що наближається або перевищує границю міцності асфальтобетону на стиск при температурі +50 С згідно ДСТУ Б В.2.7-119 таблиця 8 - 9. Вказаний факт є однією з основних причин появи колійності на автомобільних дорогах України.

Загальна схема підвіски автомобіля наведена на (рис. 3.6).

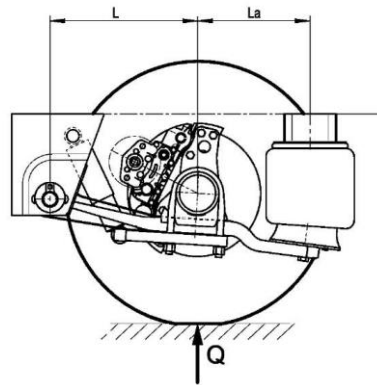


Рисунок 3.6 – Загальна схема підвіски автомобіля

Формула (3.11) для розрахунку тиску повітря при повному чи частковому завантаженні.

$$P = \frac{(Q-A) \cdot i \cdot p}{2} \cdot 10^5 \text{ Па}, \quad (3.11)$$

де: P - тиск повітря в шині, Па;

Q - допустиме навантаження на вісь, кг;

A - без пружинні маси (кг) середнє значення для відношення i ,

$$A = Q \cdot i, \quad i = \frac{L}{L+La}, \quad (3.12)$$

L – відстань від кронштейна підвіски до осі, мм;

La – відстань від осі до повітряної подушки, мм;

p - тиск повітря в повітряній подушці на кг навантаження:

повітряна подушка 0-300 мм $p = 0,00227 \cdot 10^5 \text{ Па/кг}$;

повітряна подушка 0-350 мм $p = 0,0018 \cdot 10^5 \text{ Па/кг}$.

На рис. 3.7 наведено змін тиску в шині в залежності від навантаження на вісь при використанні пневмоподушки з діаметром 300 мм.

Математична модель зміни тиску в пневматику колеса p_k від навантаження на вісь Q і швидкості руху V транспортного засобу для ведучої осі (задньої тандема) має

$$p \cdot k = 0.1 \cdot (a(V) \cdot Q - b(V)), \quad (3.13)$$

Таблиця 3.11 – Коефіцієнти для формули (3.16)

для ведучої осі (задньої тандема)	керованої осі (передньої)
$a(V) = 1.623 \cdot 10^{-6} \cdot V_p + 0.000331079$	$a(V) = 2,918 \cdot 10^{-6} \cdot V_p + 0,000595362$
$b(V) = 0.001433466 \cdot V_p + 1.454794693$	$b(V) = 0.00141736 \cdot V_p + 1.448600887$

Зміна тиску в пневматику колеса p , від навантаження на вісь Q і швидкості руху V транспортного засобу в діапазоні 15 110 км/год для ведучої осі (задньої тандема) наведена на (рис. 3.7).

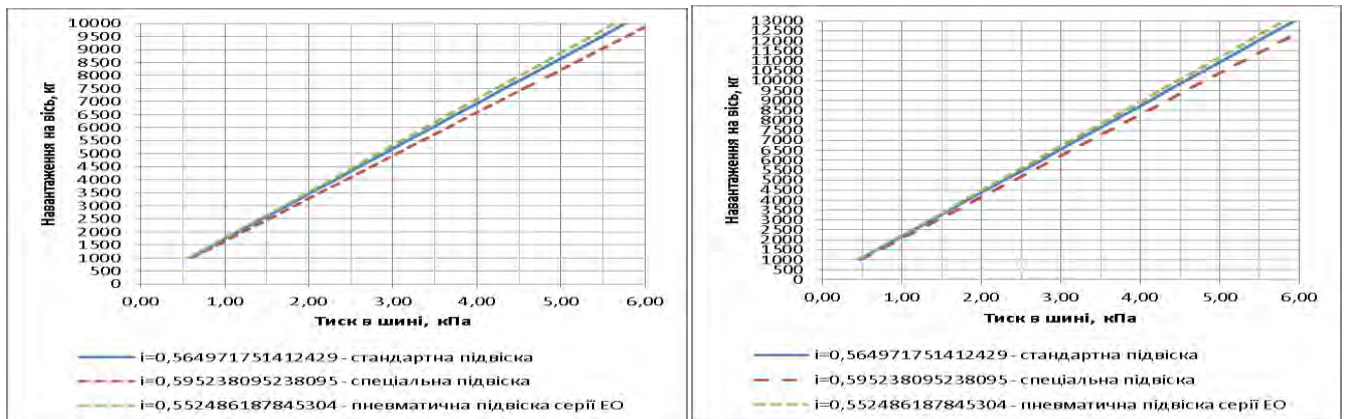
Діаметр відбитку колеса визначається за формулою (3.14)

- для ведучої осі (задньої тандема)

$$D(V_p, Q) = \sqrt{\frac{40 \cdot \frac{Q}{2} \cdot 10^{-2}}{1.1 \cdot \pi \cdot [0.1 \cdot [(1.623 \cdot 10^{-6} \cdot V_p + 0.000331079) \cdot Q - (0.001433466 \cdot V_p + 1.454794693)]]}, \quad (3.14)$$

- для керованої осі (передньої)

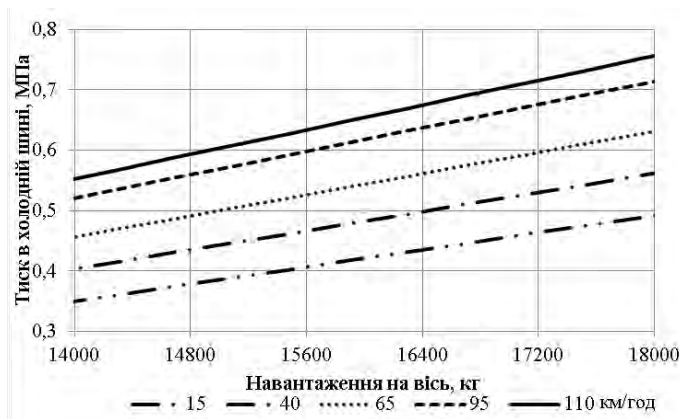
$$D(V_p, Q) = \sqrt{\frac{40 \cdot \frac{Q}{2} \cdot 10^{-2}}{1.1 \cdot \pi \cdot [0.1 \cdot [(2,918 \cdot 10^{-6} \cdot V_p + 0,000595362) \cdot Q - (0.00141736 \cdot V_p + 1.448600887)]]}, \quad (3.15)$$



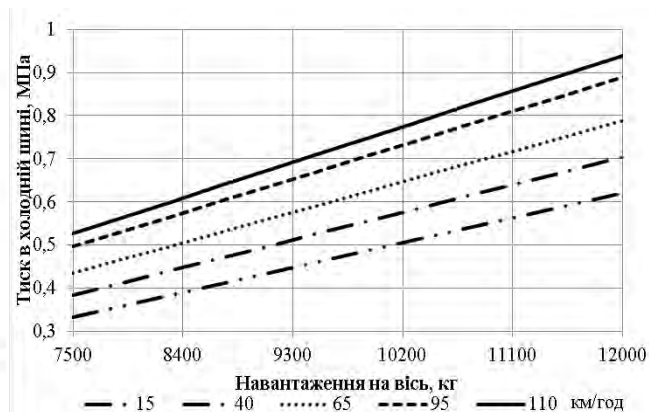
300 мм

350 мм

Рисунок 3.7 – Зміна тиску в шині в залежності від навантаження на вісь при використанні пневмоподушки з діаметром 300 мм та 350 мм

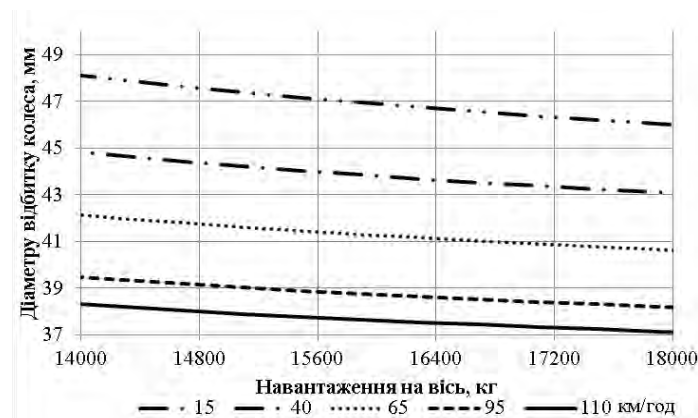


а)

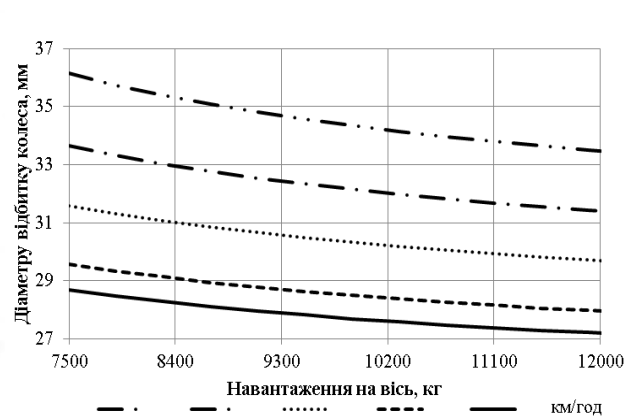


б)

Рисунок 3.8 – Зміна тиску в пневматику колеса p від навантаження на вісь Q і швидкості руху V транспортного засобу для 1) ведучої осі (задньої тандема) та для 2) керованої осі (передньої)



а)



б)

Рисунок 3.9 – Зміна діаметру відбитку колеса від навантаження на вісь Q для різних швидкостей руху V транспортного засобу 1) ведучої осі (задньої тандема) та для 2) керованої осі (передньої)

Припустимо, на автомобілі стоять шини з індексом K . Це означає, що максимальна швидкість, з якою може експлуатуватися даний виріб, становить 110 км/год, а максимальне навантаження не повинна перевищувати ту, що позначена на шині у вигляді цифрового коду. За цих умов буде дотримано баланс між швидкістю і навантаженням, а значить, покриття виробить закладений ресурс.

За даними [155] виробників шин рекомендується накачувати шини відповідно до (табл. 3.12).

Таблиця 3.12 – Відповідність між навантаженням, швидкістю руху і тиском

в шинах

Швидкість перевезення вантажу(км/г)	Індекс шини по максимальній швидкості						Корегування тиску повітря в шинах (%)
	F (80)	G (90)	J (100)	K (110)	L (120)	M (130)	
	відсоток перевантаження						
0	150	150	150	150	150	150	40
5	110	110	110	110	110	110	40
10	80	80	80	80	80	80	30
15	65	65	65	65	65	65	25
20	50	50	50	50	50	50	21
25	35	35	35	35	35	35	17
30	25	25	25	25	25	25	13
35	19	19	19	19	19	19	11
40	15	15	15	15	15	15	10
45	13	13	13	13	13	13	9
50	12	12	12	12	12	12	8
55	11	11	11	11	11	11	7
60	10	10	10	10	10	10	6
65	7,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	4
70	5	7	7	7	7	7	2
75	2,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	1
80	0	4	4	4	4	4	0
85		2	3	3	3	3	0
90		0	2	2	2	2	0
95			1	1	1	1	0
100			0	0	0	0	0
110				0	0	0	0
115					0	0	0
130						0	0

Припустимо, маса вантажу перевищує допустиму на 10 % (відповідно, на стільки ж перевантажені шини). Щоб не пошкодити їх, необхідно скоригувати (у нашому випадку - зменшити) швидкість автомобіля і збільшити тиск в шинах. Знаходимо в таблиці найближче значення перевантаження (12 %) і дивимося значення максимальної швидкості і тиску в шинах, відповідні даній навантаженні: 50 км/ год і + 8 %.

Інша ситуація: необхідно перевезти важкий, неподільний вантаж на коротку відстань, при цьому перевантаження шин складе 50 %. Знаходимо в таблиці

відповідне значення і визначаємо максимальну швидкість - 20 км /год. При цьому тиск у шинах доведеться збільшити на 21 %.

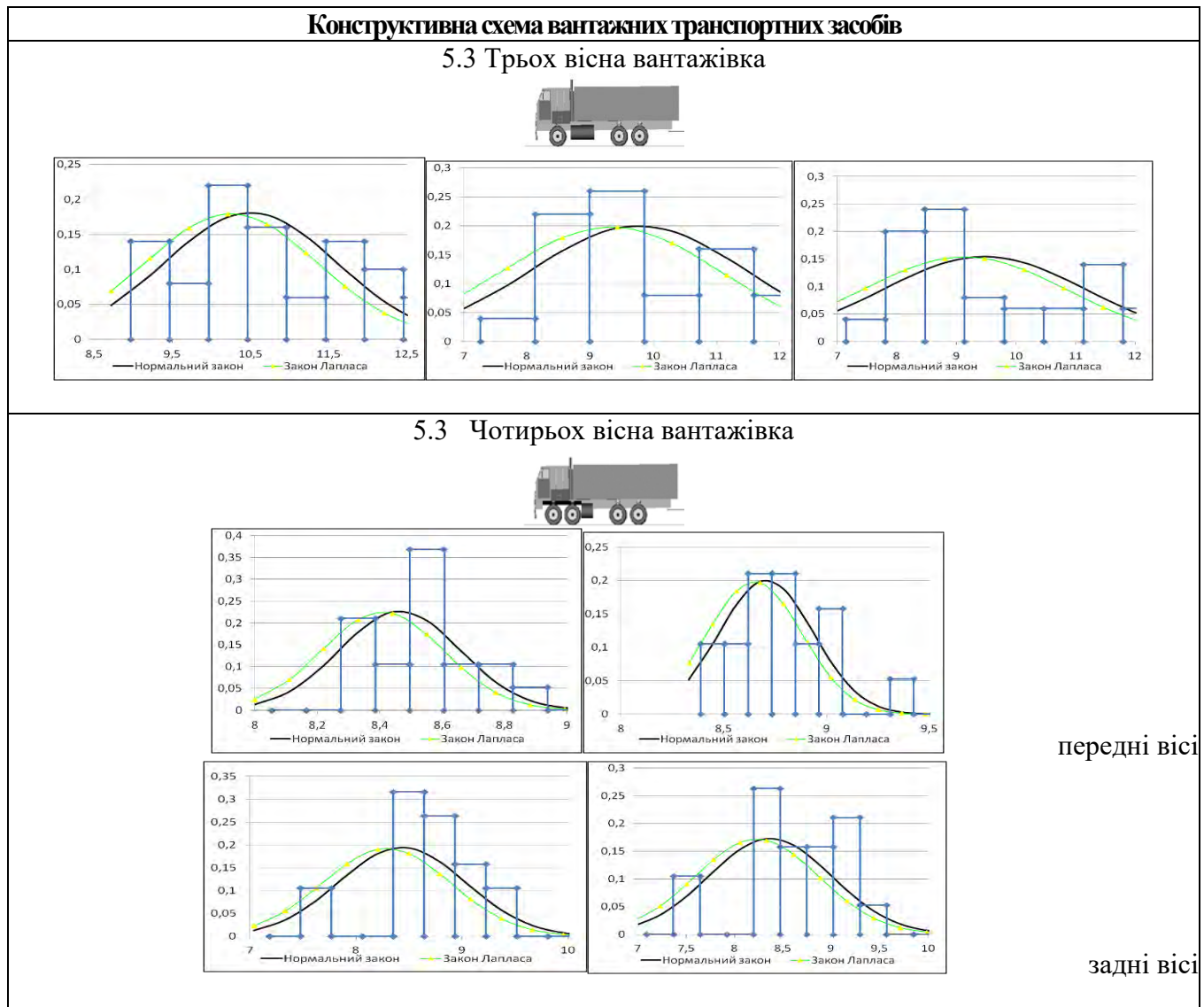
Статистична обробка результатів спостережень та вимірювань розподілу тиску в шинах по осях транспортних засобів

На автомобільних дорогах рухомий склад складається в основному з автомобілів різних марок. Рух рухомого складу на гусеничному ходу або жорстких шинах зазвичай обмежується і виноситься на спеціально виділену для цієї мети смугу. Автомобіль взаємодіє з дорогою через колеса на пневматичних шинах. Вітчизняна промисловість випускає шини високого тиску (6 - 9) кгс/см² (для деяких типів важких автомобілів), середнього – (3 – 6) кгс/см² і низького тиску (1,75 – 5) кгс/см². Колесо автомобіля стикається з поверхнею покриття по відносно малій майданчику - сліду. Наступ колеса можна прийняти за еліпс з відношенням осей (1:1,5 – 1:2,5). Насправді зіткнення шини з дорогою відбувається не по всій поверхні еліпса, а через окремі виступи малюнка протектора. Тому дійсна площа сліду колеса менше геометричної і становить (0,5 - 0,75) останньої.

Для подальших розрахунків дорожнього одягу та експериментальних робіт, пов'язаних з вивченням умов роботи окремих шарів дорожнього одягу, зручно враховувати не фактичну площу сліду колеса у вигляді еліпса, а площу кола, рівновеликого сліду колеса розрахункового автомобіля, який має діаметр для автомобілів групи *A* - 32,6 см (33 см), групи *B* - 28 см. У першому випадку середнє розрахунковий тиск на покриття для розрахункового автомобіля складає = 6,0 кгс/см², у другому випадку - $p = \text{кгс/см}^2$.

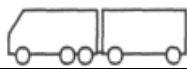
В теперішній час багато фахівців у Західній Європі та в США пропонують ввести таке обмеження у свої стандарти, оскільки водії, намагаючись економити паливо, підвищують тиск повітря в шині (0,85 – 0,95) МПа, - що негативно відображається на стані дорожніх покриттів.

Таблиця 3.13 – Розподіл тиску в шинах по осях тягачів та причепів/напівпричепів



За результатами експериментальних досліджень отримані наступні середні значення та коефіцієнти варіації тиску в шинах на осях різних типів транспортних засобів (табл. 3.14).

Таблиця 3.14 – Параметрів тисків на вісі різних типів транспортних засобів.

Тип транспортного засобу/параметри		1 вісь	2 вісь	3 вісь	4 вісь	5 вісь	6 вісь
1		2	3	4	5	6	7
5.2 	Мінімальне	6,2	6,0				
	Максимальне	8,3	7,7				
	Середнє	7,4	7,2				
	Розмах	2,1	1,7				
	Стандарт	0,4	0,5				
	Коефіцієнт варіації	5,3	7,1				
5.3 	Мінімальне	8,7	6,8	6,8			
	Максимальне	12,7	12,9	12,8			
	Середнє	10,5	9,8	9,5			
	Розмах	4,0	6,1	6,0			
	Стандарт	1,1	1,7	1,7			
	Коефіцієнт варіації	10,5	17,7	18,2			
5.5 	Мінімальне	8,0	8,3	7,0	7,0		
	Максимальне	8,9	9,3	9,4	9,2		
	Середнє	8,5	8,7	8,4	8,4		
	Розмах	0,9	0,9	2,3	2,2		
	Стандарт	0,2	0,2	0,6	0,6		
	Коефіцієнт варіації	2,3	2,6	7,1	7,6		
5.8 	Мінімальне	6,2	6,5	6,2	7,2	7,2	
	Максимальне	7,8	7,6	7,1	8,0	8,2	
	Середнє	6,9	6,7	6,5	7,5	7,5	
	Розмах	1,6	1,1	1,0	0,8	1,1	
	Стандарт	0,5	0,3	0,2	0,2	0,3	
	Коефіцієнт варіації	7,7	4,4	3,2	3,0	3,7	
5.9 	Мінімальне	7,2	6,9	6,2	7,0	7,1	7,0
	Максимальне	7,6	7,2	7,1	7,9	7,4	7,9
	Середнє	7,5	7,0	6,8	7,5	7,3	7,5
	Розмах	0,4	0,3	0,9	0,9	0,3	0,9
	Стандарт	0,2	0,1	0,5	0,4	0,2	0,4
	Коефіцієнт варіації	3,0	2,0	7,6	5,8	2,3	5,9

Кінець таблиці 3.14

1	2	3	4	5	6	7	8
5.11 	Мінімальне	8,3	8,0	8,3	7,8	-	-
	Максимальне	8,6	8,7	9,1	8,9	-	-
	Середнє	8,4	8,3	8,7	8,3	-	-
	Розмах	0,3	0,7	0,8	1,1	-	-
	Стандарт	0,1	0,3	0,3	0,5		
	Коефіцієнт варіації	1,3	3,2	3,1	5,6	-	-
5.12 	Мінімальне	8,3	6,1	8,1	8,1	8,2	-
	Максимальне	8,8	9,5	9,2	9,1	9,1	-
	Середнє	8,4	7,6	8,6	8,6	8,6	-
	Розмах	0,5	3,5	1,0	1,0	0,9	-
	Стандарт	0,1	0,7	0,2	0,1	0,1	-
	Коефіцієнт варіації	1,1	9,4	2,0	1,6	1,7	-
5.14 	Мінімальне	8,2	6,2	5,6	8,5	7,7	-
	Максимальне	8,6	7,4	6,9	8,7	10,0	-
	Середнє	8,3	6,8	6,5	8,6	9,0	-
	Розмах	0,4	1,1	1,3	0,2	2,3	-
	Стандарт	0,1	0,3	0,4	0,1	0,6	-
	Коефіцієнт варіації	1,6	4,8	5,8	0,6	6,9	-
5.15 	Мінімальне	8,1	6,0	6,4	8,3	8,3	8,3
	Максимальне	8,4	8,4	8,7	9,2	8,9	9,2
	Середнє	8,3	7,1	7,3	8,8	8,7	8,8
	Розмах	0,4	2,4	2,3	1,0	0,6	0,9
	Стандарт	0,1	0,7	0,7	0,3	0,2	0,3
	Коефіцієнт варіації	1,4	9,4	9,3	3,2	2,3	3,2

Встановлені величини середніх значень тисків перевищують допустимі параметри (наведені в табл. 3.16) знайшли своє застосування у нормах документах [148, 163].

Середній тиск повітря у колесі, обмежений виходячи з міцності матеріалу верхнього шару покриття. В теперішній час багато фахівців у Західній Європі та в США пропонують ввести таке обмеження у свої стандарти, оскільки водії, намагаючись економити паливо, підвищують тиск повітря в шині до (0,8 – 1,0) МПа, - що негативно відображається на стані дорожніх покриттів.

Розрахункове значення тиску визначається за формулою:

$$p_{\text{розрах}} = p_{\text{серед}} \cdot (1 + 1,64 \cdot K_{\text{вар}}), \quad (3.16)$$

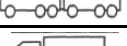
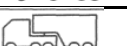
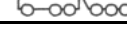
де: $p_{\text{розрах}}$ – розрахункове значення тиску;

$p_{\text{серед}}$ – середнє значення тиску;

$K_{\text{вар}}$ – коефіцієнт варіації.

Висновок. На основі виконаних досліджень встановлені величини середніх та розрахункових значень тисків (наведені в табл. 3.16) які необхідно прийняти в дорожніх нормах для розрахунків дорожніх одягів [163].

Таблиця 3.15 – Усереднені дані навантаження на вісь та нормативним розрахункове значення тиску

Типи транспортних засобів		По середніх значеннях			Коефіцієнт варіації	Розрахункове значення тиску		
		Одиночна вісь, кГс/см ²	Здвоєна вісь, кГс/см ²	Строєна вісь, кГс/см ²		Одиночна вісь, кГс/см ²	Здвоєна вісь, кГс/см ²	Строєна вісь, кГс/см ²
Нормативне значення тиску, кГс/см ²		6,0	6,0	6,0				
5.2		7,28	-	-	10,0	8,47	-	-
5.3		10,5	9,62	-	6,0	11,53	10,57	-
5.5		-	8,49	-	13,0	-	10,30	-
5.8		7,29	6,65	-	11,0	8,61	7,85	-
5.9		7,46	7,15	-	10,0	8,68	8,32	-
5.11		8,35	8,50	-	11,0	9,86	10,03	-
5.12		7,98	-	8,61	9,0	9,16	-	9,88
5.14		8,34	7,74	-	12,0	9,98	9,26	-
5.15		8,31	7,17	8,78	10,0	9,67	8,35	10,22
Середнє по типах						9,50	7,19	10,05

3.4 Польові випробування та їх аналіз для розрахунку надійності дорожнього одягу

У 2005 – 2018 роках виконано широкомасштабні випробування мережі автомобільних доріг України загального користування з використанням УДВО-7 на базі дорожньої лабораторії ДП «Укрдіпродор».



Рисунок 3.10 – Загальний вигляд УДВО-7 на базі дорожньої лабораторії ДП «Укрдіпродор» для визначення нерівності дорожнього покриття, модуля пружності, коефіцієнта зчеплення колеса автомобіля з покриттям

У табл. 3.16 наведено перелік деяких об'єктів та роки їх випробування.

Таблиця 3.16 – Перелік об'єктів та роки випробування

№	Рік	Об'єкти	Сума обстежених АД в км.
1	2008	Вся мережа автомобільних доріг державного значення України(з індексами М, Н та Р)	19 575 км приведених до II категорії
2	2009	12 областей України(з індексами М, Н та Р)	6240 км. приведених до II категорії
3	2010	2 області	1 500 км. приведених до II категорії
4	2011	Вся мережа автомобільних доріг загального користування (з індексами М, Н та Р) 689+	близько 20 654 км. приведених до II категорії
5	2012	Вся мережа автомобільних доріг загального користування (з індексами М, Н та Р)	близько 20 654 км. приведених до II категорії
6	2016	В межах 18 областей (з індексами М, Н та Р)	34 648 км. приведених до II категорії
7	2017	Вся мережа доріг державного значення, окрім АР Крим та окупованих територій (з індексами М, Н та Р)	48 649 км. приведених до II категорії

На сьогоднішній день, дані вимірювань загального модуля пружності та коефіцієнту запасу КДО, фактичних показників рівності та зчеплення використовуються для прийняття рішення про призначення ремонтних заходів і фактично не впливають на розрахунок конструкції дорожнього одягу по міцності [121, 156- 158]. Якщо дані для посилення дорожнього одягу не містять інформації про швидкість руху, стан покриття, то такого розрахунку виконати неможливо.

Результати аналізу транспортно-експлуатаційного стану наведено (табл. 3.17 та на рис. 3.11 – 3.13).

Таблиця 3.17 – Аналізу транспортно-експлуатаційного стану доріг

Позначення	Загальне по Україні	Розподіл по адміністративно-територіальному значенню			Розподіл по категоріям			
		Міжнародні	Національні	Регіональні	I категорія	II категорія	III категорія	IV категорія
Інтенсивність								
Мінімальне	313	902	568	313	1268	336	313	500
Максимальне	58105	58105	20458	16021	58105	46103	33516	16021
Середнє	6549	8920	6183	3693	10264	6652	3554	3688
Розмах	57792	57203	19890	15708	56837	45767	33203	15521
Стандарт	5582	6739,1	3866,8	2837,3	6929	5035	3168	3066
Коефіцієнт варіації	1	0,76	0,63	0,77	0,68	0,76	0,89	0,83
Загальний модуль пружності								
Мінімальне	109	144	131	109	144	131	142	109
Максимальне	632	632	486	600	488	600	632	334
Середнє	242	265	228	220	269	232	241	211
Розмах	523	488	355	491	344	469	490	225
Стандарт	74,39	89,48	40,89	59,67	65,59	52,25	106,6	48,24
Коефіцієнт варіації	0,31	0,34	0,18	0,27	0,24	0,23	0,44	0,23
Рівність покриття								
Мінімальне	23	23	52	32	23	26	39	92,5
Максимальне	417	363	290	417	313	304	363	417
Середнє	135	121	138	151	101	132	161	214
Розмах ь	394	340	238	385	290	278	324	324,5
Стандарт	54,85	59,62	41,67	51,49	46,26	47,23	53,91	69,13
Коефіцієнт варіації	0,41	0,49	0,30	0,34	0,46	0,36	0,33	0,32

Кінець таблиці 3.17

Відповідає вимогам, км	7683,4	2725,1	1239,1	3719,3	901,8	3677	2455	263,4
Не відповідає вимогам, км	13324,9	5148,7	3526,6	4649,6	1348	8728	3069	178,7
Коефіцієнт зчеплення з покриттям								
Мінімальне	0,27	0,27	0,29	0,31	0,29	0,27	0,28	0,32
Максимальне	0,52	0,52	0,5	0,5	0,515	0,52	0,51	0,48
Середнє	0,39	0,40	0,39	0,39	0,40	0,39	0,39	0,38
Розмах	0,25	0,25	0,21	0,19	0,23	0,25	0,23	0,16
Стандарт	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Коефіцієнт варіації	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,11	0,10

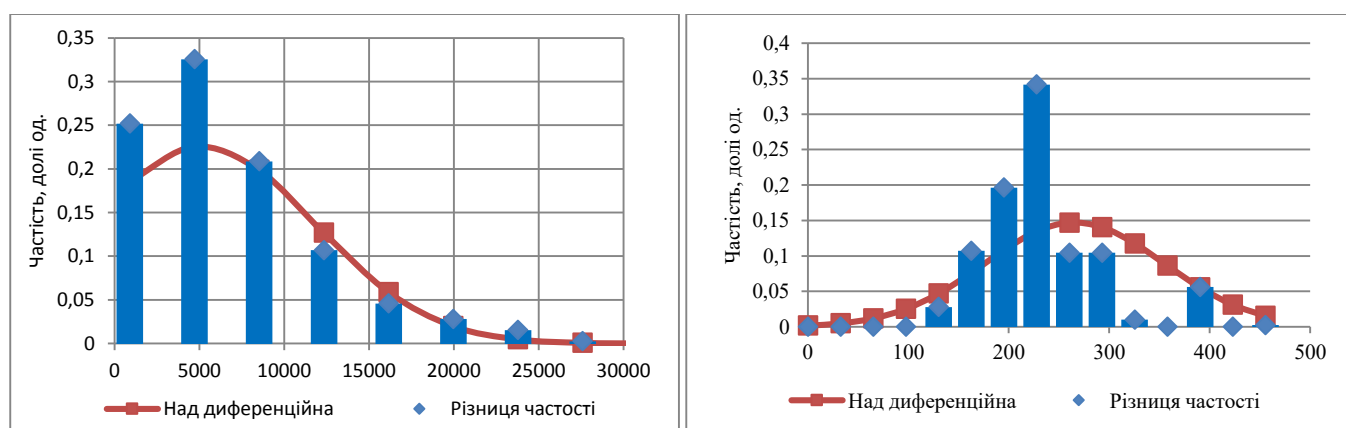


Рисунок 3.11 – Гістограма та диференційна крива розподілу інтенсивності руху потоку ТЗ та модуля пружності на магістральних автомобільних дорогах

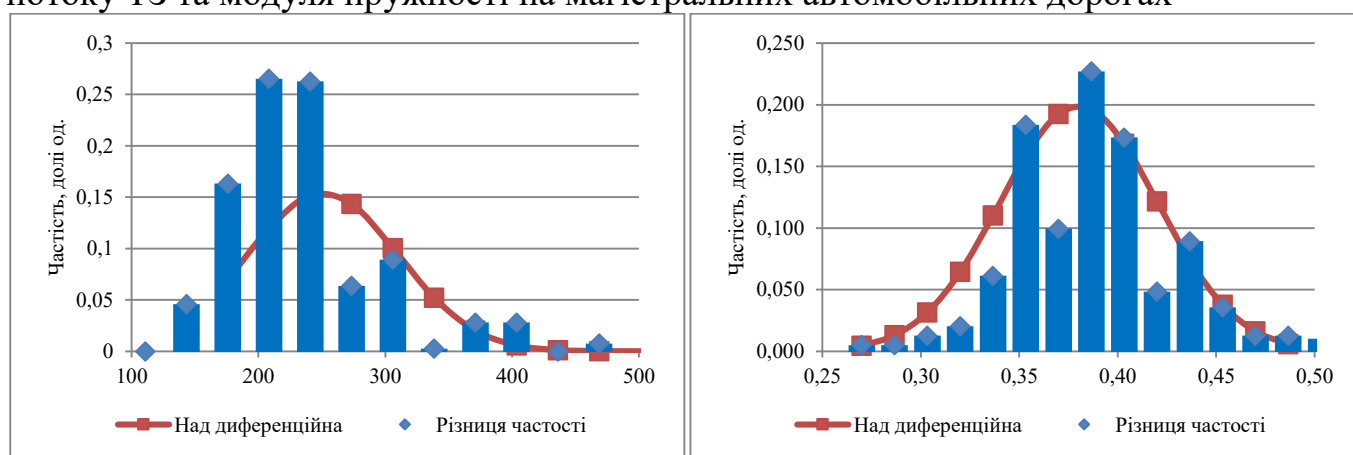


Рисунок 3.12 – Гістограма та диференційна крива розподілу рівності та коефіцієнту зчеплення на магістральних автомобільних дорогах [159, 160, 161].

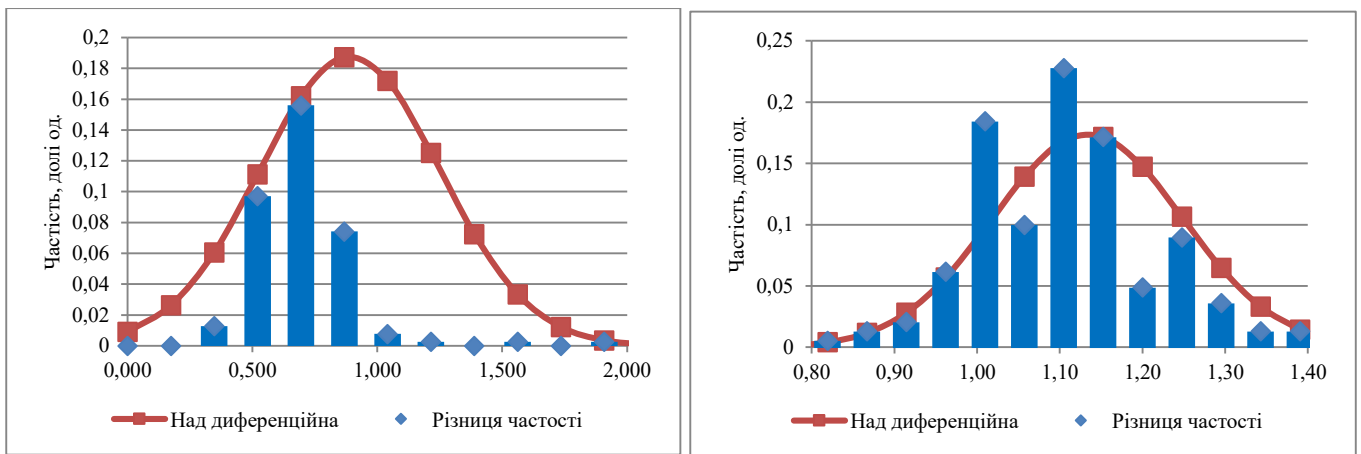


Рисунок 3.13 – Гістограма та диференційна крива розподілу коефіцієнту запасу міцності та запасу рівності на магістральних автомобільних дорогах

Станом на даний час експлуатаційний стан автомобільних доріг України досягає критичного стану. Результати аналізу згідно рис. 3.14 показує що дороги вичерпали свій ресурс в середньому на 70 %.

Для приведення автомобільних доріг до нормального експлуатаційного стану необхідно виділити приблизно 55 млрд. грн.

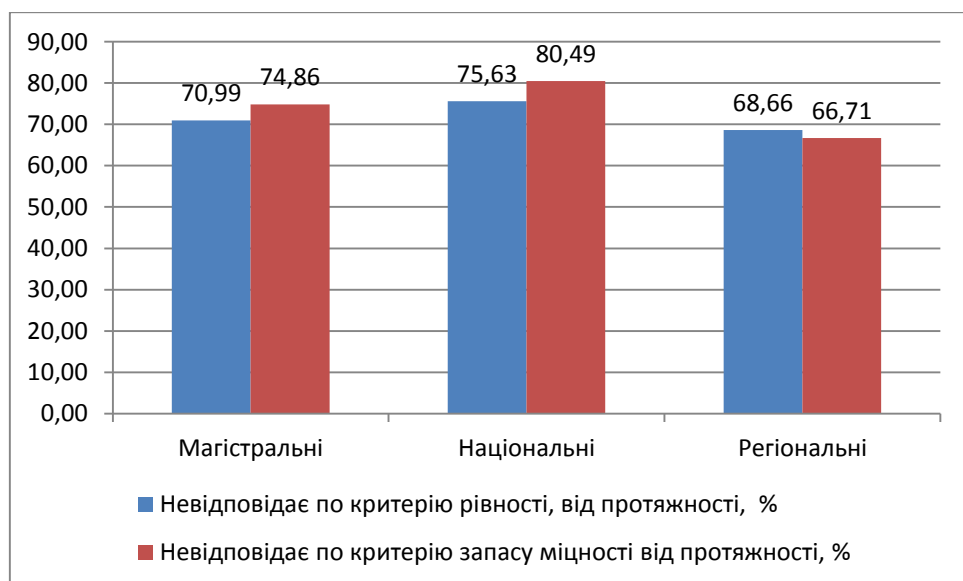


Рисунок 3.14 – Гістограма розподілу по дорогах державного значення ділянок які не відповідають по критеріях рівності та запасу міцності

Недостатність та недосконалість фінансування дорожньої галузі не дає змоги оперативно реагувати на зміну складу транспортного потоку і вчасно проводити ремонтні заходи з метою компенсування збитків, завданих підвищеним руйнівним

впливом сучасних транспортних засобів. Тому актуальним є пошук заходів для запобігання руйнувань, а також альтернативних джерел та порядку фінансування, які б пов'язували фактичну міцність та техніко-експлуатаційний стан доріг з наявним складом транспортного потоку та його руйнівним впливом на дорожні одяги.

Для приведення автомобільних доріг тільки державного значення до нормального експлуатаційного стану необхідно виділити та освоїти приблизно 55 млрд. грн.

Результати статистичної обробки отриманих вибірок з даних про міцність конструкцій дорожніх одягів автомобільних доріг деяких областей України, наведено в табл. 3.18 – 3.19.

Таблиця 3.18 – Результати статистичної обробки даних визначення загального модуля пружності в Миколаївській обл.

Параметри	М-14 лп_звіт	М-14 прямий	М-14 зворотній	Р-06 прямий	Р-06 зворотній	Р-55 лп	Р-75 лп
Дата, 2014 рік	21.11	18.11	21.11	17.11	15.11	23.11	27.11
Кількість значень	121	36	355	91	530	390	319
Мінімальне значення	184	141	186	164	105	96	96
Максимальне значення	287	325	302	287	340	332	304
Середнє значення, $E_{заг}$	246,8	239,0	258,3	232,7	232,4	204,4	190,1
Розмах	103	184	116	123	235	236	208
Середньоквадратичне відхилення	21,9	42,9	21,7	27,0	30,5	40,2	41,6
Коефіцієнт варіації, $V_{E_{заг}}$	8,9	18,0	8,4	11,6	13,1	19,7	21,9

Таблиця 3.19 – Результати статистичної обробки даних визначення модуля пружності в Закарпатській та Чернігівській областях

Параметри	М 06	М 08	М 23	М 24	М 25	Н 09	Н 13	Н 21	М 12
Кількість значень	152	15	61	16	152	447	122	40	13
Мінімальне значення	221	219	147	180	221	150	107	100	112
Максимальне значення	293	304	253	300	293	280	241	220	202
Середнє значення, $E_{заг}$	260,0	273	221	236	260	217,8	184,9	181,9	165,5
Середньоквадратичне відхилення	14,87	25,96	21,09	35,58	14,87	22,14	30,05	27,92	23,45
Коефіцієнт варіації	5,72	9,50	9,54	15,08	5,72	10,17	16,25	15,35	14,17

На рис. 3.16 - 3.18 наведено приклади результатів статистичної обробки даних визначення загального модуля пружності на 4 – х автомобільних дорогах у Миколаївській області, з урахуванням калібрувального коефіцієнта виконані в період осені 2014 року.

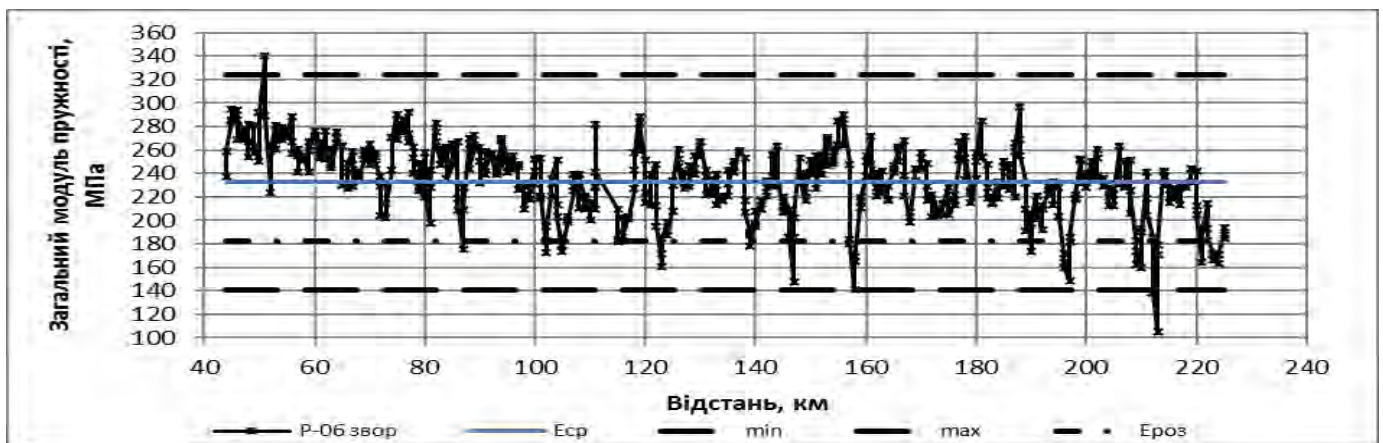
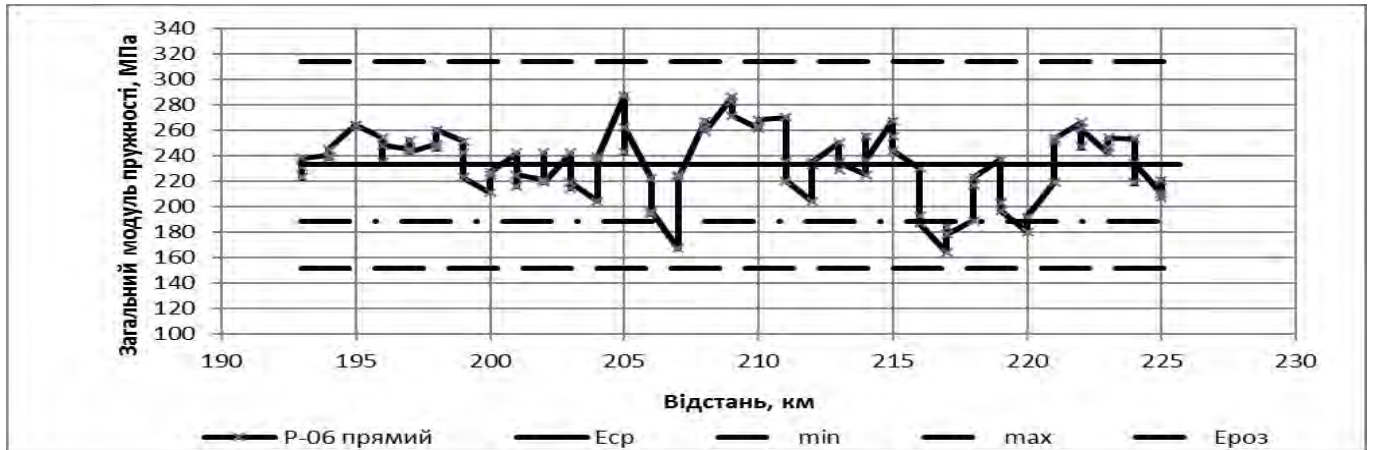


Рисунок 3.15 – Результати статистичної обробки даних визначення загального модуля пружності на автомобільній дорозі Р-06 Ульяновка – Миколаїв (через Вознесенськ) в а) прямому та б) зворотному напрямку у межах Миколаївської області

Від початку траси до 73 км. модуль пружності закономірно зменшується. Далі відбувається скачок вгору і знов зменшення до 95 км. В подальшому - випадковий шум. І знову збільшення модуля від 147 до 158 км.

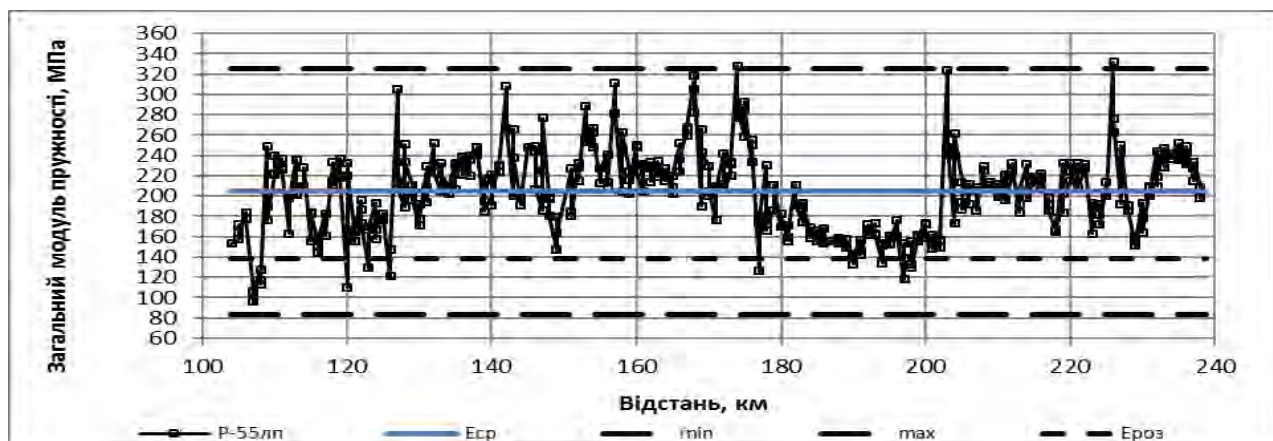


Рисунок 3.16 – Результати польових випробувань міцності дорожнього одягу на автомобільній дорозі Р-55 Одеса – Вознесенськ – Новий Буг у межах Миколаївської області, з врахуванням калібрувального коефіцієнта

Від початку траси до 127 км. середнє значення загального модуля пружності становить 170 МПа. Теж від 177 до 203 км. загальний модуль пружності в середньому 160 МПа. Враховуючи значні перепади модуля пружності необхідна розбивка на характерні ділянки та їх аналізувати виконувати окремо.

Результати польових випробувань міцності дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-01 Київ-Чернігів-Нові Яриловичі у межах Чернігівської області наведено на рис. 3.19.

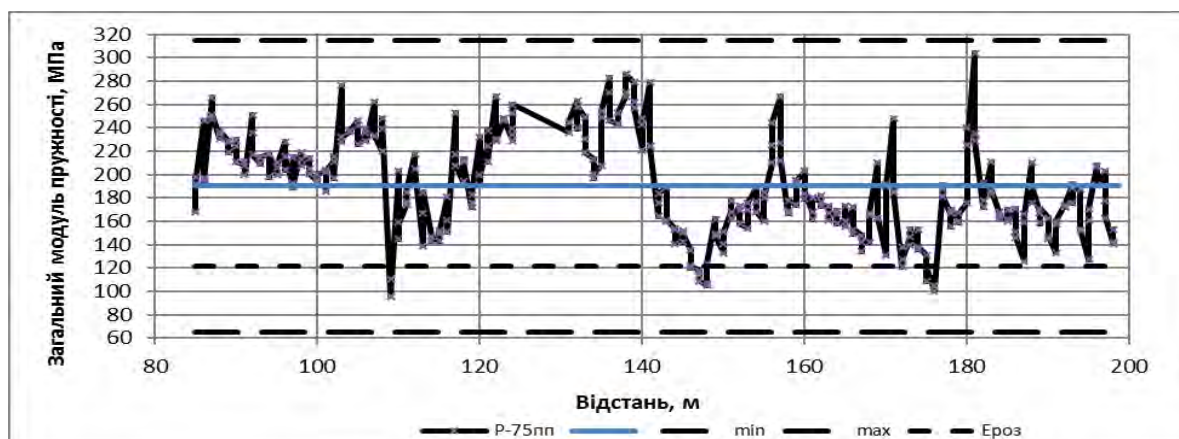


Рисунок 3.17 – Результати польових випробувань міцності дорожнього одягу на автомобільній дорозі Р-75 КПП "Тимкове" – Балта – Первомайськ – Доманівка – Олександрівка у межах Миколаївської області, з врахуванням калібрувального коефіцієнта

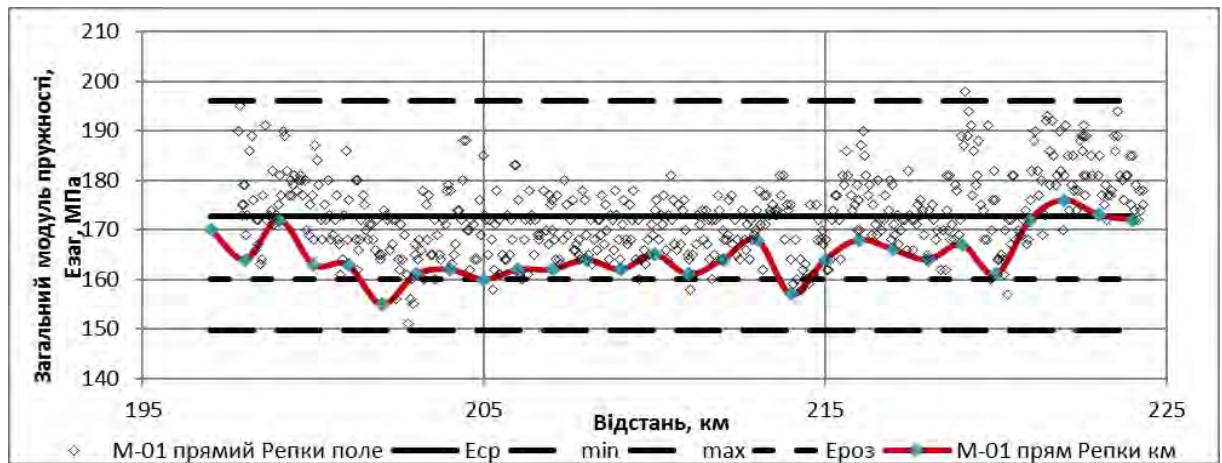
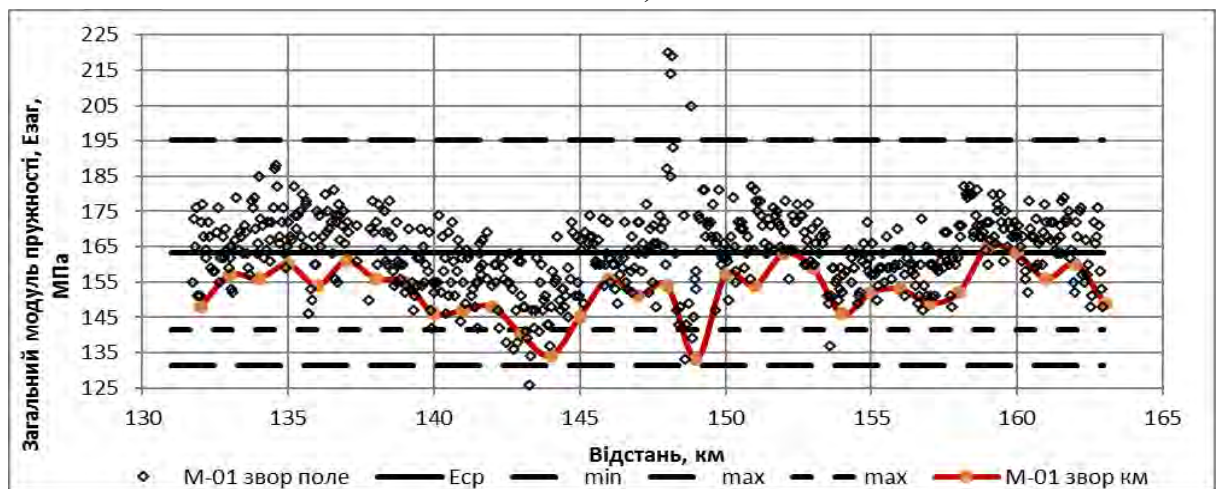
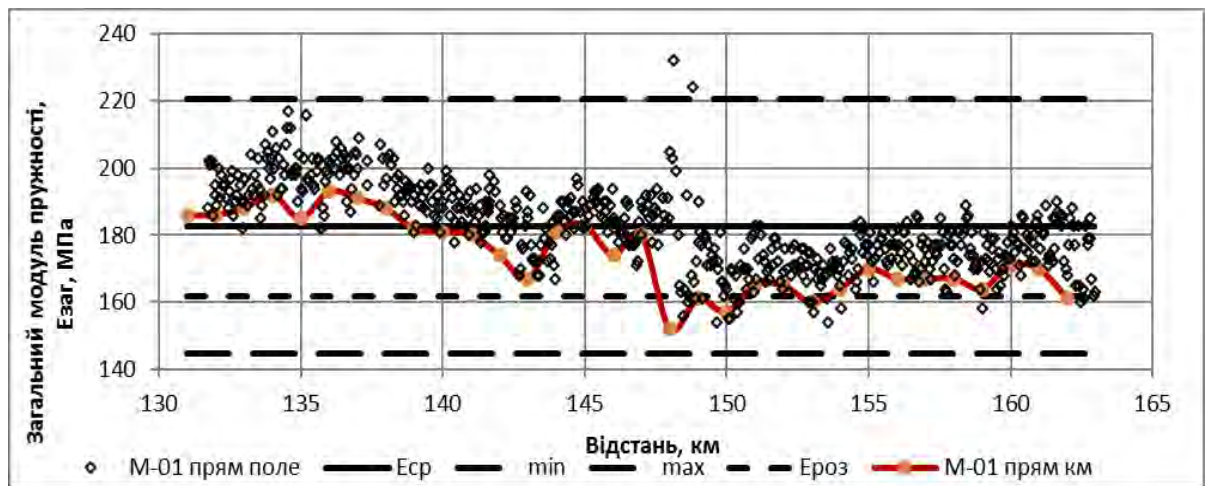


Рисунок 3.18 – Результати порівняння польових випробувань міцності дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі, з врахуванням калібрувального коефіцієнта з даними приведення до 1 км. а) прямий, б) зворотній, в) прямий на ділянці: км 197+800 - км 224+330 (с. Ріпки)

Висновок до розділу 3.

У процесі вказаних випробувань методика пройшла практичну апробацію та може використовуватись при плануванні та здійсненні випробувань на основі інших інструментальних засобів [13, 162].

Для приведення результатів вимірювань до розрахункової температури $+ 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ згідно ГБН В.2.3-37641918-559 [163].

Таким чином, за результатами польових досліджень отримано масиви даних, які потребують статистичної обробки та аналізу для розрахунку надійності НДО за критеріями граничного стану згідно теоретичних виразів, отриманих в розділі 2. Результати статистичного аналізу та розрахунок надійності наведено в розділі 4.

Основні результати третього розділу опубліковані в матеріалах [1, 3-6, 164 - 171].

РОЗДІЛ 4

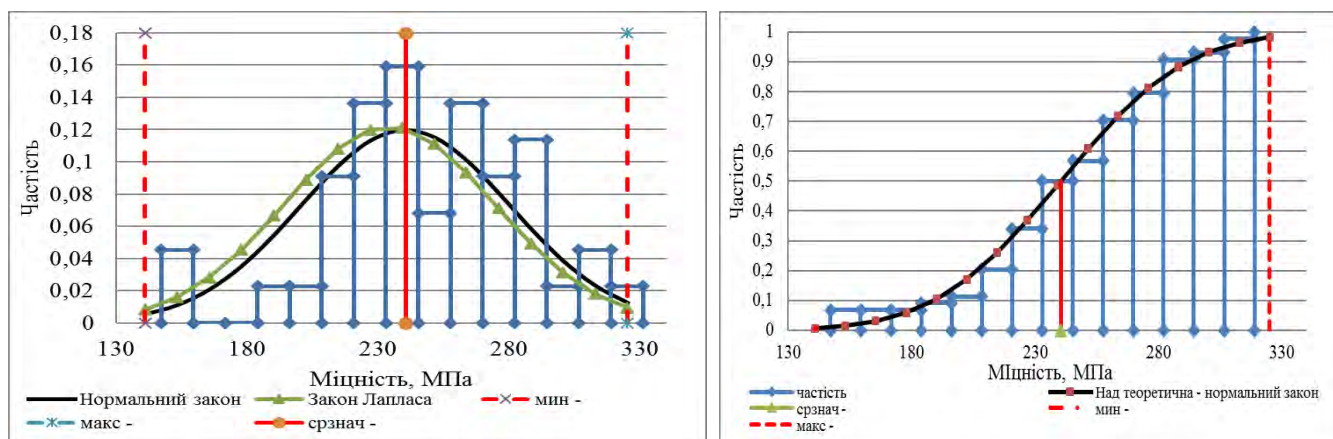
АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

Для розрахунку надійності конструкцій дорожніх одягів (КДО) в розділі 2 розвинуто апарат класичної теорії надійності з урахуванням даних обстеження мережі доріг України. Отримано рішення задачі для розрахунку часткової надійності за трьома критеріями: пружного прогину (загального модуля пружності), розтягу при згині монолітних шарів та зсуву в незв'язних шарах та ґрунті земляного полотна. Удосконалено метод розрахунку надійності КДО на етапі проектування, будівництва та експлуатації автодоріг та розроблено відповідне програмне забезпечення. Придатність методу для розрахунку надійності конструкцій дорожніх одягів апробована на конкретних об'єктах будівництва та реконструкції автомобільних доріг в Україні.

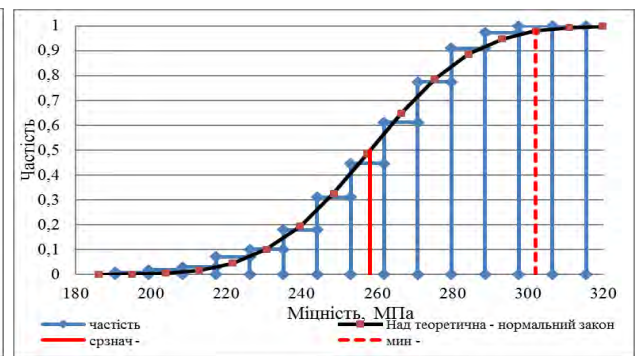
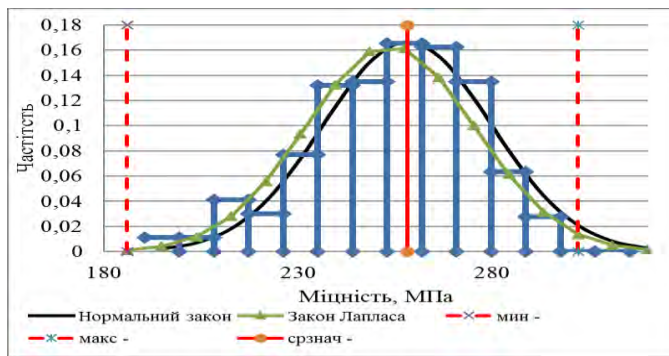
4.1 Аналіз результатів польових досліджень ділянок автомобільних доріг

На основі даних польових досліджень розроблена програма в середовищі EXCEL для апроксимації даних випробувань нормальним законом розподілу.

На рис. 4.1 – 4.11 наведено гістограми, щільності ймовірності та функції нормального розподілу модуля пружності дорожнього покриття на автомобільних дорогах в різних регіонах України.

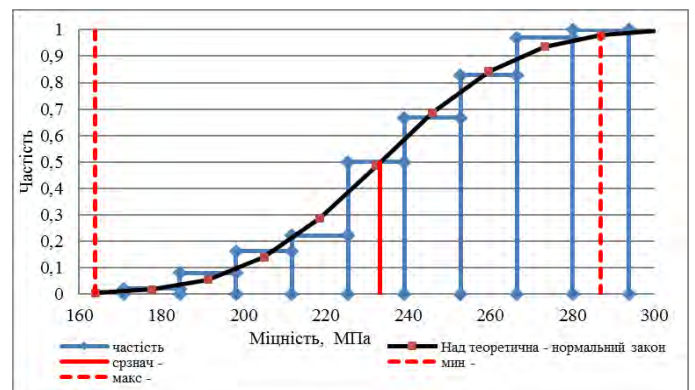
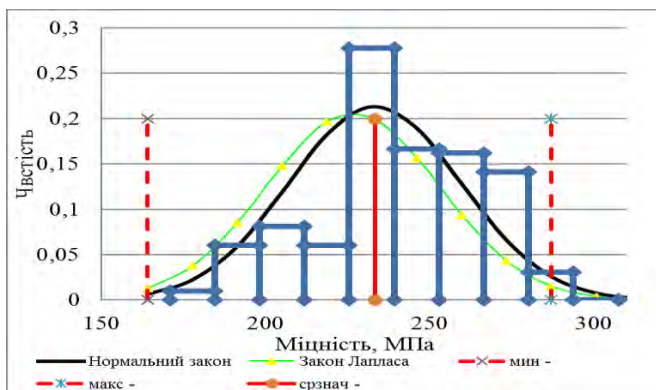


а) напрямок прямий

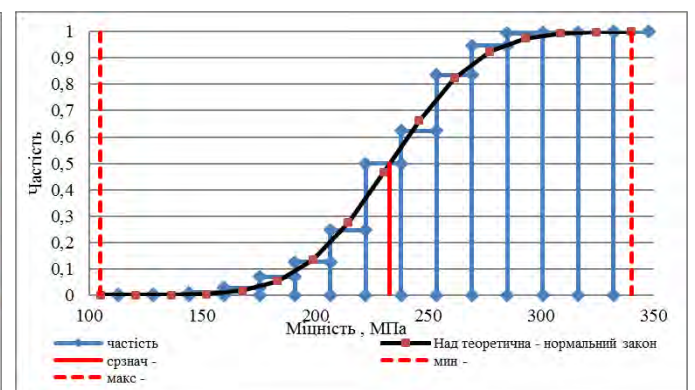
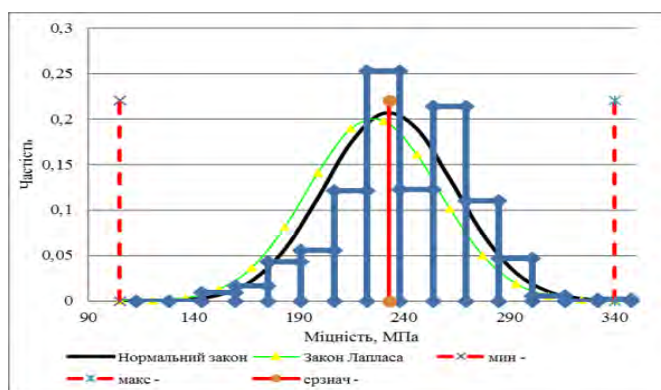


б) напрямок зворотній

Рисунок 4.1 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д М-14 Одеса - Мелітополь - Новоазовськ (на Таганрог) у межах Миколаївської області



а) напрямок прямий



б) напрямок зворотній

Рисунок 4.2 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д Р-06 Ульяновка – Миколаїв (через Вознесенськ) у межах Миколаївської області,

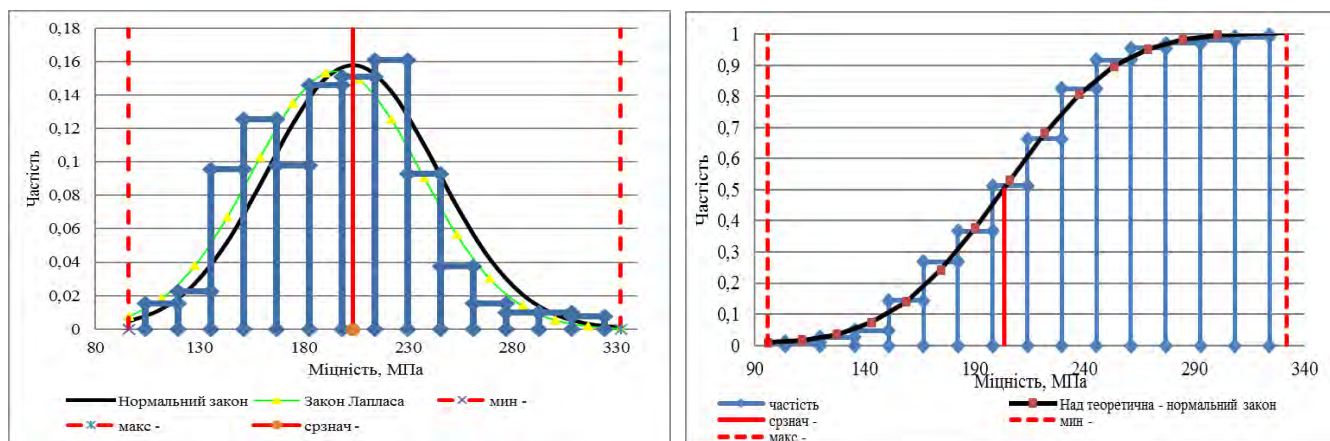


Рисунок 4.3 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д Р-55 Одеса – Вознесенськ – Новий Бугу межах Миколаївської області

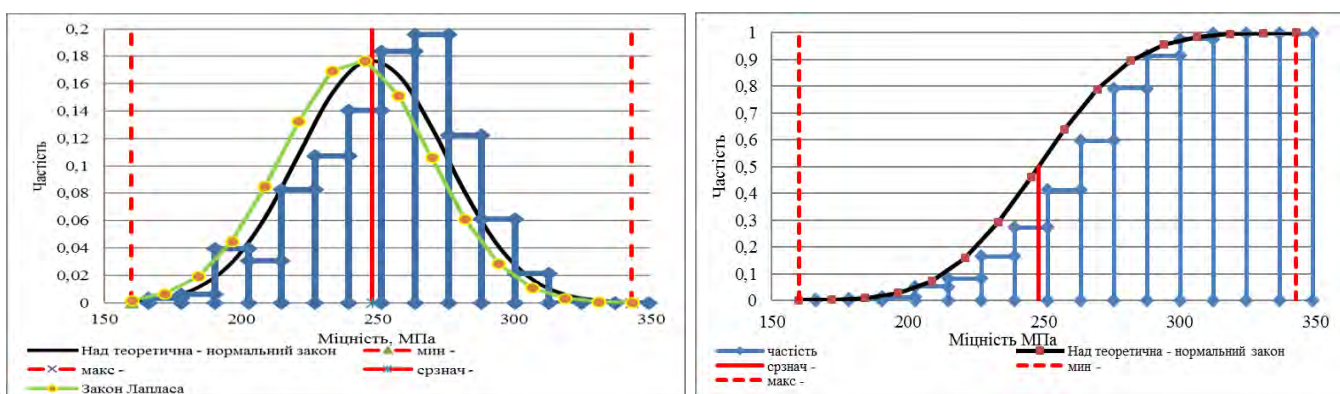


Рисунок 4.4 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д Р-75 КПП "Тимкове"– Балта – Первомайськ-Доманівка – Олександрівка у межах Миколаївської області

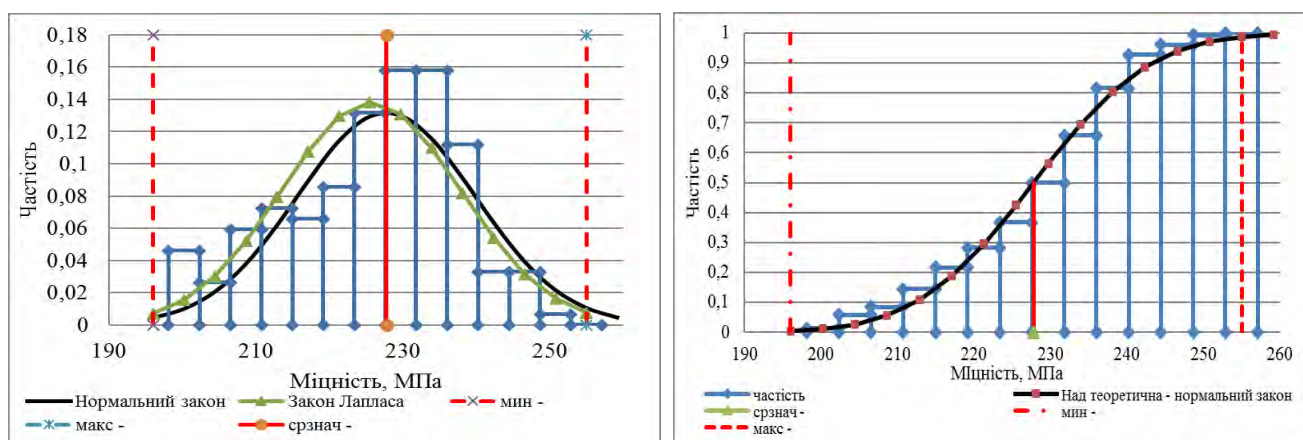


Рисунок 4.5 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д М-06, Закарпатська область

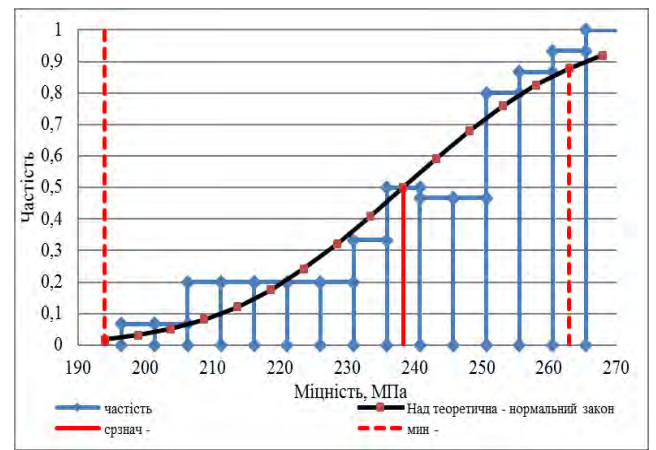
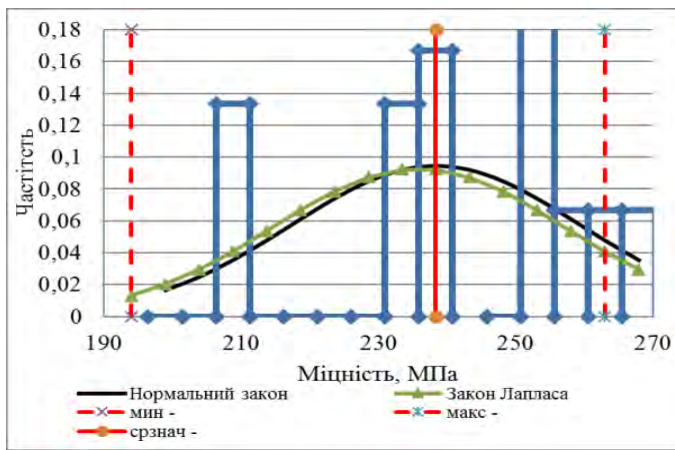


Рисунок 4.6 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д М-08, Закарпатська область

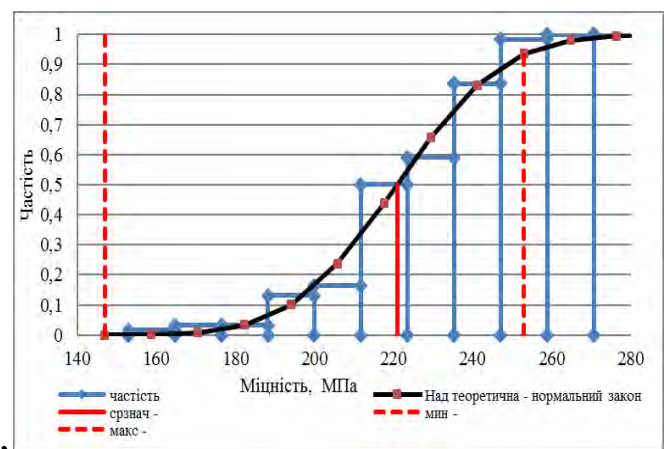
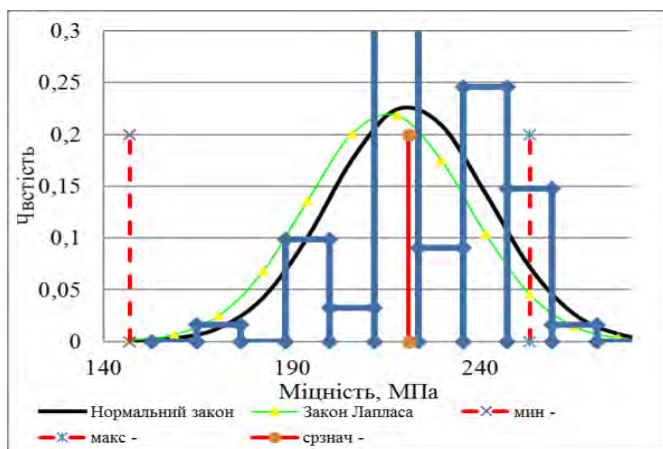


Рисунок 4.7 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д М-23, Закарпатська область

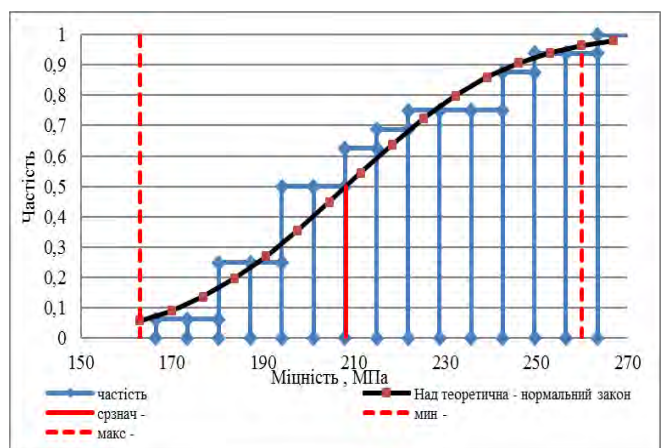
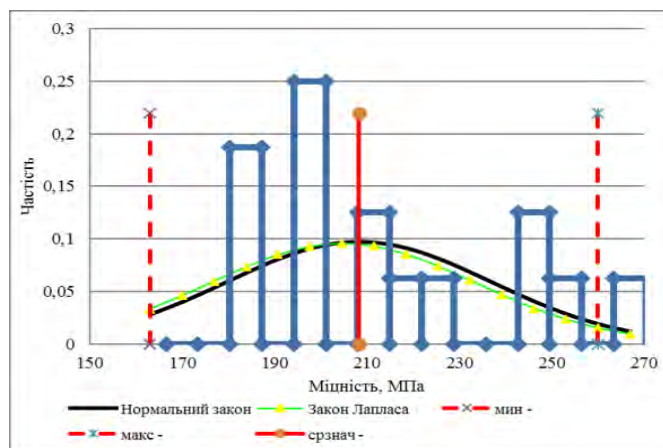


Рисунок 4.8– Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д М-24, Закарпатська область

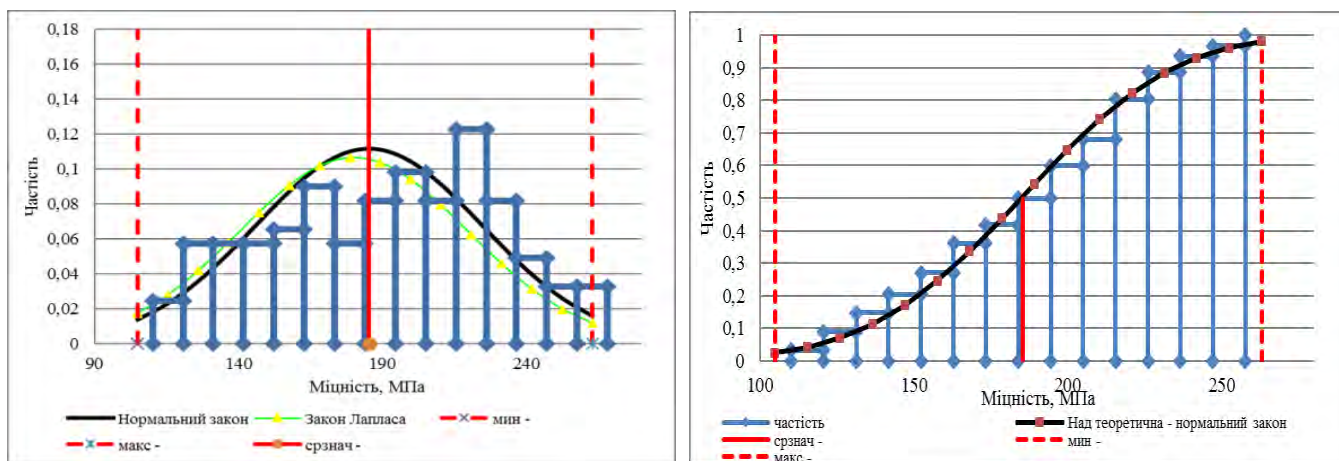


Рисунок 4.9 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д М-25, Закарпатська область

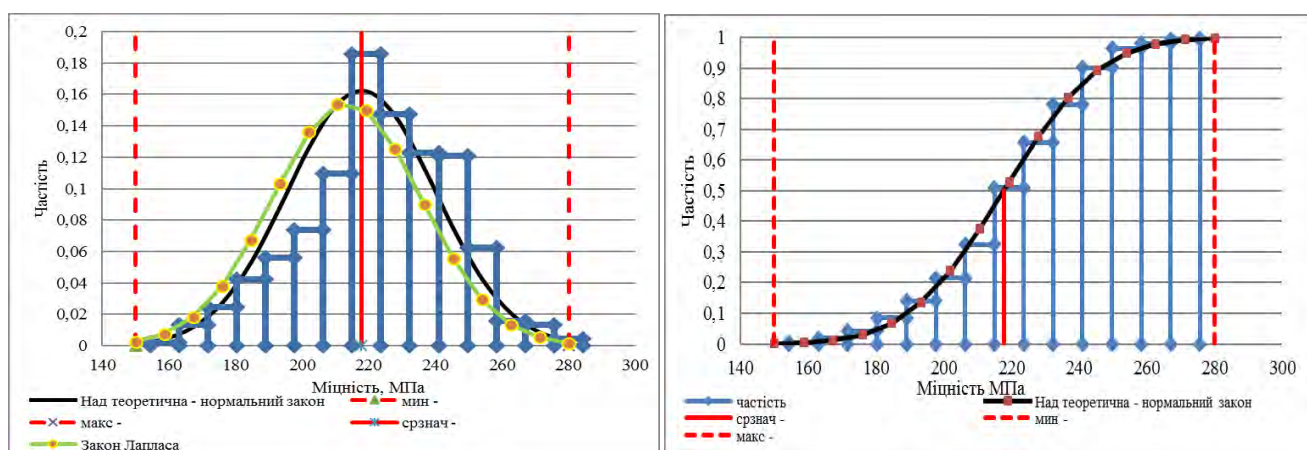


Рисунок 4.10 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д Н-09, Закарпатська область

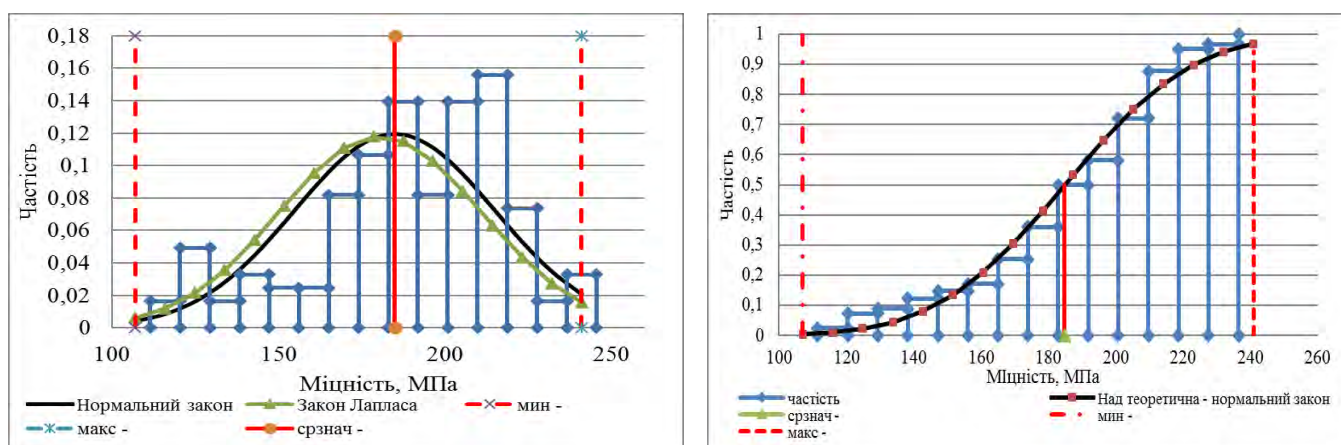


Рисунок 4.11 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д Н-13, Закарпатська область

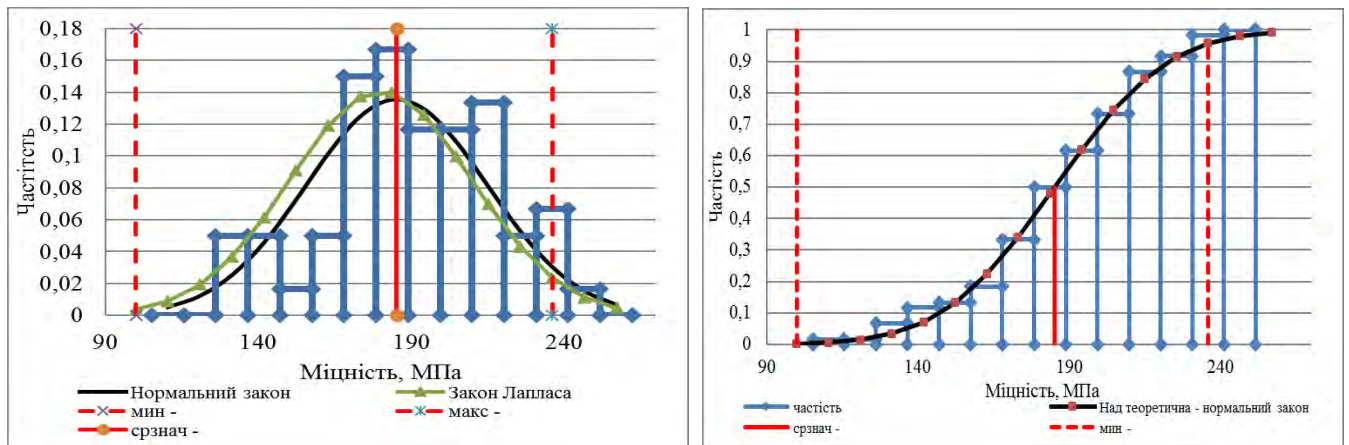


Рисунок 4.12 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності модуля міцності дорожнього покриття, а/д Р-21, Закарпатська область

4.2 Розрахунок надійності дорожнього одягну для конкретних випробуваних ділянок

Результати розрахунку надійності для конкретних випробуваних ділянок з урахуванням коефіцієнта варіації C_V за даними випробувань із розділу 3 зведено в таблицях 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Результати визначення коефіцієнту запасу та розрахунку надійності ДО до ремонту

Параметри	М-14 лп_звіт	М-14 прямий	М-14 зворотній	Р-06 прямий	Р-06 зворотній	Р-55 лп	Р-75 лп
Дата, 2014 рік	21.11	18.11	21.11	17.11	15.11	23.11	27.11
Температура покриття в час випробувань	4	4	4	4	4	4	6
Загальний модуль пружності приведенний до температури +10 град С	329	296	316	319	345	302	257
Приведена до розрах. автомобіля інтенсивність руху	3676	3676	3676	3676	3676	-	2104
Потрібний модуль пружності, $E_{потр}$	338	338	338	338	338	-	324
Коефіцієнт варіації потрібного модуля пружності, $V_{Епотр}$	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	-	3,9
Коефіцієнт запасу	0,97	0,88	0,94	0,94	1,02	-	0,79
Характеристика безпеки β	0,83	0,84	0,90	0,79	0,78	0,98	0,86
Надійність, K_n	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5

Таблиця 4.2 – Результати визначення коефіцієнту запасу та розрахунку надійності ДО за критерієм загального модуля пружності до та після ремонту

Параметри	М 06	М 08	М 23	М 24	М 25	Н 09	Н 13	Н 21
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До ремонту								
Кількість значень	152	15	61	16	152	447	122	40
Мін. значення, Езагмін	221	219	147	180	221	150	107	100
Макс.е значення Езагмах	293	304	253	300	293	280	241	220
Загальний модуль пружності, Езаг	260,0	273,1	220,9	236	260,0	217,7	184,9	181,9
Середньоквадратичне відхилення (СКВ), $S_{Езаг}$	14,87	25,96	21,09	35,58	14,87	22,14	30,05	27,92
Коефіцієнт варіації, $V_{Езаг}$	5,72	9,50	9,54	15,08	5,72	10,17	16,25	15,35
Товщина шарів асфальтобетону, см	25	20	18	17	17	17	17	17
Потрібний модуль пружності, $E_{потр}$	319,1	263,2	267,1	282,5	191,9	274,15	257,4	245,2
Коефіцієнт варіації потрібного модуля пружності, $V_{Епотр}$	6,40	28,76	2,34	22,24	8,63	8,94	15,23	6,43
СКВ середньоквадратичне $S_{Епотр}$	20,42	75,69	6,25	62,82	16,56	24,52	39,21	15,76
Коефіцієнт запасу, $K_{МЦЕ}$	0,81	1,04	0,83	0,84	1,36	0,79	0,72	0,74
Характеристика безпеки β	-2,34	0,12	-2,10	-0,64	3,06	-1,71	-1,47	-1,97
Надійність, K_n	< 0,5	0,55	< 0,5	0,55	0,99	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Після ремонту								
Загальний модуль пружності, Езаг	640,0	530,0	390,0	320	290,0	530,0	360,0	320,0
Середньоквадратичне відхилення (СКВ), $S_{Езаг}$	34,76	47,85	35,35	45,84	15,75	51,19	55,59	46,66
Коефіцієнт варіації, $V_{Езаг}$	5,43	9,03	9,07	14,32	5,43	9,66	15,44	14,58
Коефіцієнт запасу, $K_{МЦЕ}$	2,01	2,01	1,46	1,13	1,51	1,93	1,40	1,31
Характеристика безпеки β	7,96	2,98	3,42	0,48	4,29	4,51	1,51	1,52
Надійність, K_n	0,999	0,999	0,999	0,685	0,999	0,999	0,934	0,936

Обидва показники $K_n(\beta)$ та K_m характеризують безвідмовність роботи при заданій інтенсивності прикладення навантажень, однак, коефіцієнт надійності, на відміну від коефіцієнта запасу міцності, враховує не лише розрахункові значення несної здатності, а й варіацію їх розподілу. З даних табл. 4.5 видно, що при збільшенні однорідності несної здатності конструкції – підвищується її ресурс в перспективі при зростанні інтенсивності руху та кількості циклів прикладення навантажень.

4.3 Аналіз впливу факторів на надійність нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг

Аналіз впливу факторів на коефіцієнт безпеки та надійність дорожнього одягу за критеріями граничного стану наведено нижче:

- для критерію зсуву (формули 2.1-2.6),
- критерію згину монолітних шарів (формули 2.7-2.9) та
- критерію загального модуля пружності (формули 2.10-2.15).

На рис. 4.13 наведено залежність коефіцієнта безпеки $\beta_{E_{zag}}$ від товщини асфальтобетонних шарів, для категорій Іб, ІІ та ІІІ.

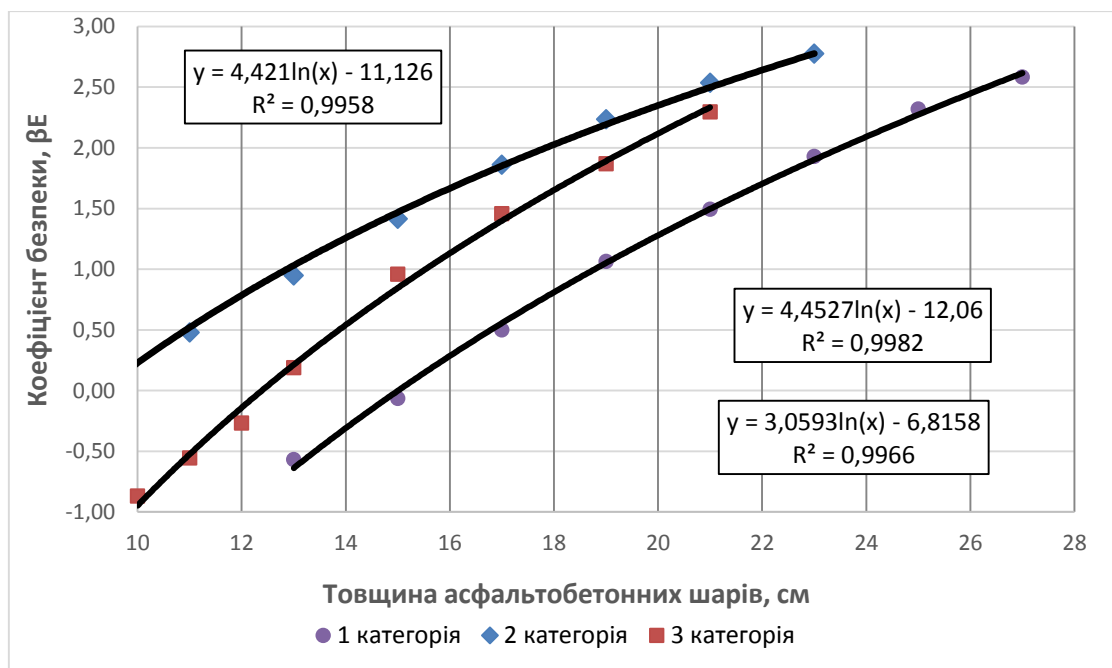


Рисунок 4.13 – Залежність коефіцієнта безпеки $\beta_{E_{zag}}$ від товщини асфальтобетонних шарів, для категорій Іб, ІІ та ІІІ

Коефіцієнта безпеки $\beta_{E_{zag}}$ від товщини асфальтобетонних шарів достатньо точно ($R^2 > 0,995$) апроксимується нормлогарифмічною залежністю.

Залежність надійності за критерієм загального модуля пружності E_{zag} від товщини асфальтобетонних шарів, для категорій Іб, ІІ та ІІІ (рис. 4.14), при прийнятих вихідних даних, описується характерною сигмоїдальною кривою. Для забезпечення нормативного значення надійності автомобільної дороги за цим критерієм на рівні 0,90 товщина асфальтобетонних шарів має бути не менше 16 см для ІІІ – тьї категорії, 0,95 для ІІ – гої категорії 16 – 18 см, та 0,97 для Іб категорії – 22 см.

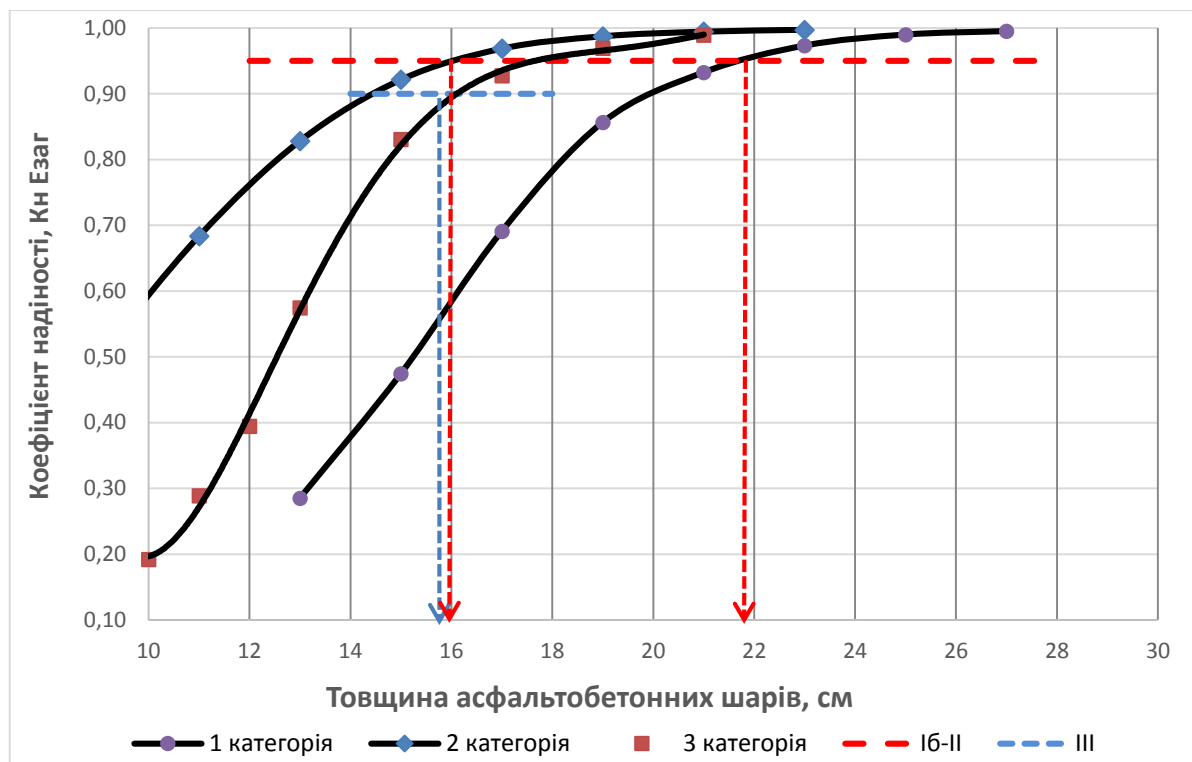


Рисунок 4.14 – Залежність надійності за критерієм загального модуля пружності E_{zag} від товщини асфальтобетонних шарів, для категорій I6, II та III

На рис. 4.15 наведено залежність вартості (грн/1м²) КДО від надійності за критерієм загального модуля пружності E_{zag} для категорій I6, II та III

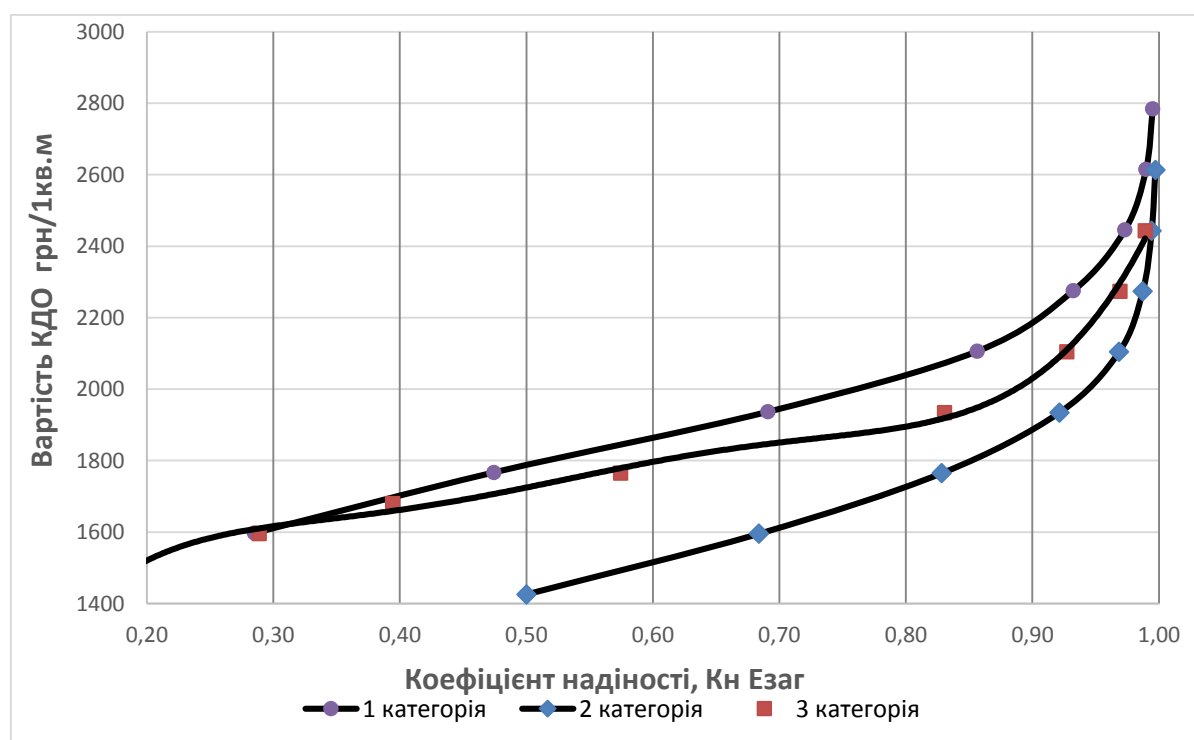


Рисунок 4.15 – Залежність вартості (грн/1м²) КДО від надійності за критерієм загального модуля пружності E_{zag} для категорій I6, II та III

Аналіз рис. 4.15 вказує на необхідність значного збільшення вартості (за експоненційною залежністю) при необхідності забезпечення надійності більше 0,90 для III – тьї категорії, 0,92 – для II – гої та 0,95 для категорії Iб.

Залежність коефіцієнта безпеки дорожнього одягу за критерієм згину монолітних шарів $\beta_{R_{32}}$ від товщини асфальтобетонних шарів для категорій Iб, II та III (рис. 4.16) повторює загальні закономірності, отримані для критерію загального модуля пружності з відмінностями в абсолютних значеннях.

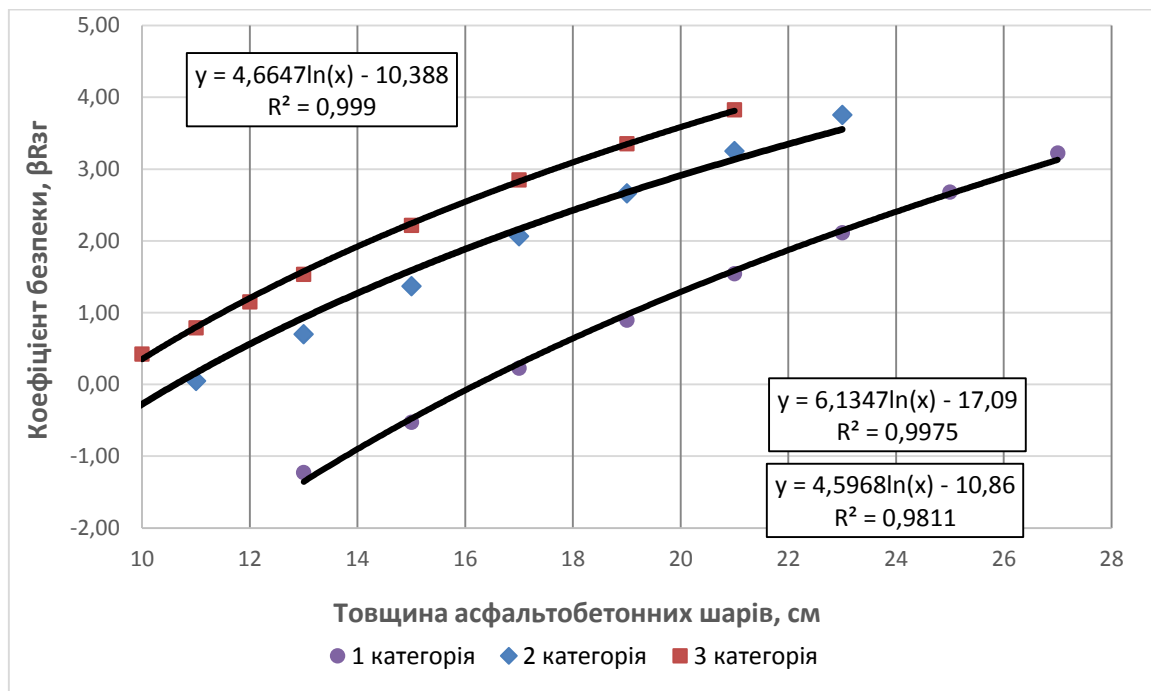


Рисунок 4.16 – Залежність коефіцієнта безпеки дорожнього одягу за критерієм згину монолітних шарів $\beta_{R_{32}}$ від товщини асфальтобетонних шарів для категорій Iб, II та III

Із залежності коефіцієнта надійності дорожнього одягу за критерієм згину монолітних шарів $K_{nR_{32}}$ від товщини асфальтобетонних шарів для категорій Iб, II та III (рис. 4.17) знайдено, що для забезпечення нормативного значення надійності автомобільної дороги за цим критерієм на рівні 0,90 товщина асфальтобетонних шарів має бути не менше 16 см для III – тьї категорії, 0,95 для II – гої категорії 12 см (так як розглядається варіант посилення існуючого дорожнього одягу), та 0,97 для Iб категорії – 21 см.

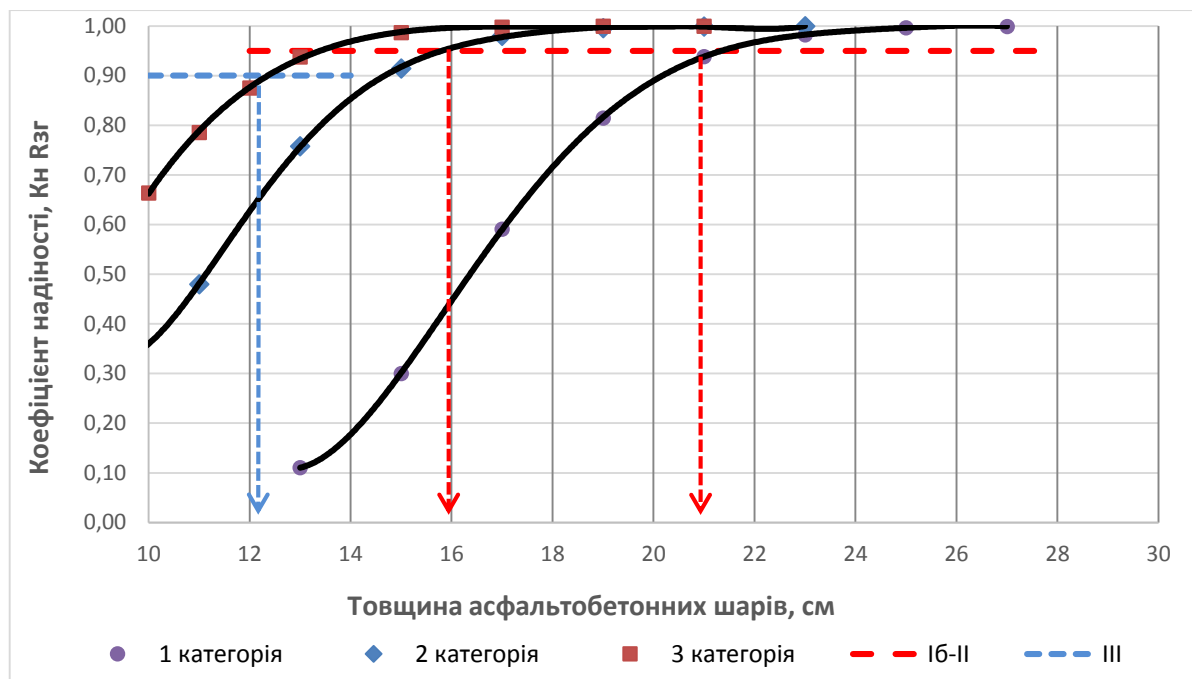


Рисунок 4.17 – Залежність коефіцієнта надійності дорожнього одягу за критерієм згину монолітних шарів $K_{nR_{3г}}$ від товщини асфальтобетонних шарів для категорій Іб, II та III

На рис. 4.18 наведено залежність вартості грн/1м² ДО за критерієм згину монолітних шарів $K_{nR_{3г}}$, для категорій Іб, II та III.

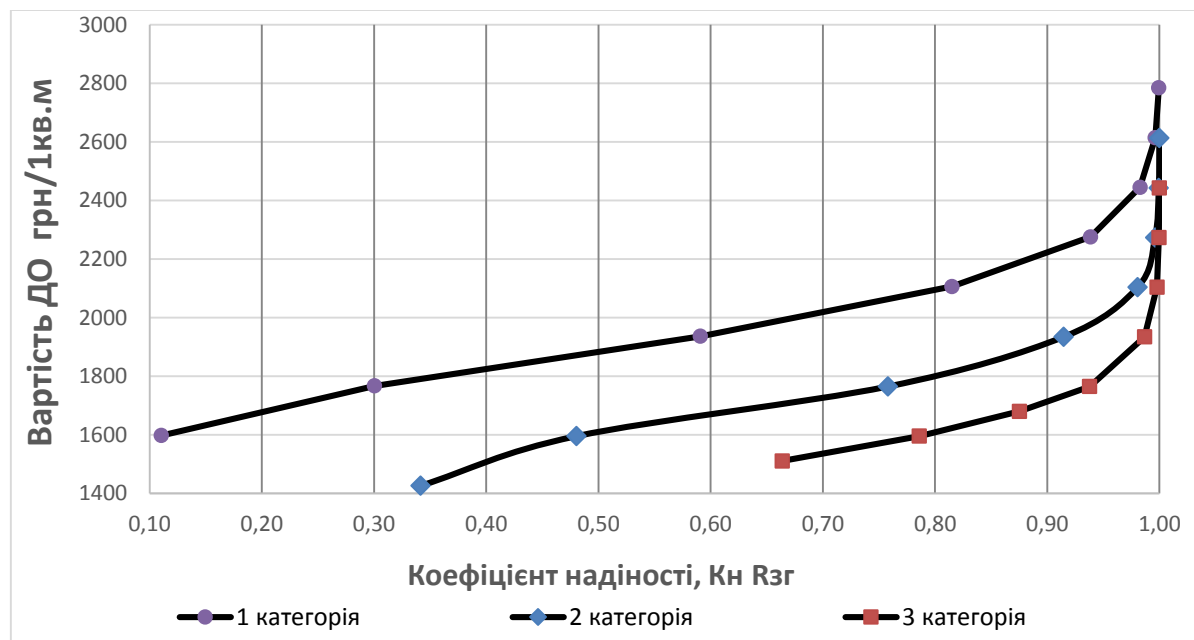


Рисунок 4.18 – Залежність вартості грн/1м² ДО та за критерієм згину монолітних шарів $K_{nR_{3г}}$, для категорій Іб, II та III

На рис. 4.19 – 4.20 наведено результати впливу товщини на коефіцієнт безпеки та надійність дорожнього одягу за критерієм згину по зсуву в ґрунті $K_{нтгр}$, для категорій Іб, II та III

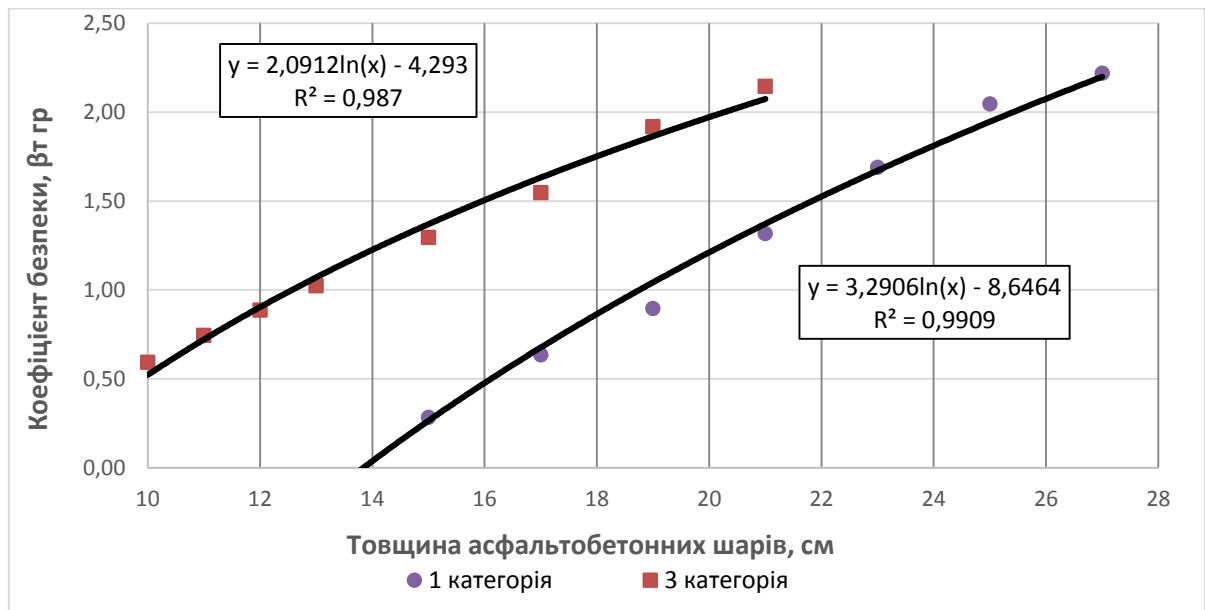


Рисунок 4.19 – Залежність коефіцієнта безпеки дорожнього одягу за критерієм згину по зсуву в ґрунті $K_{нтгр}$ від товщини асфальтобетонних шарів, для категорій Іб, II та III

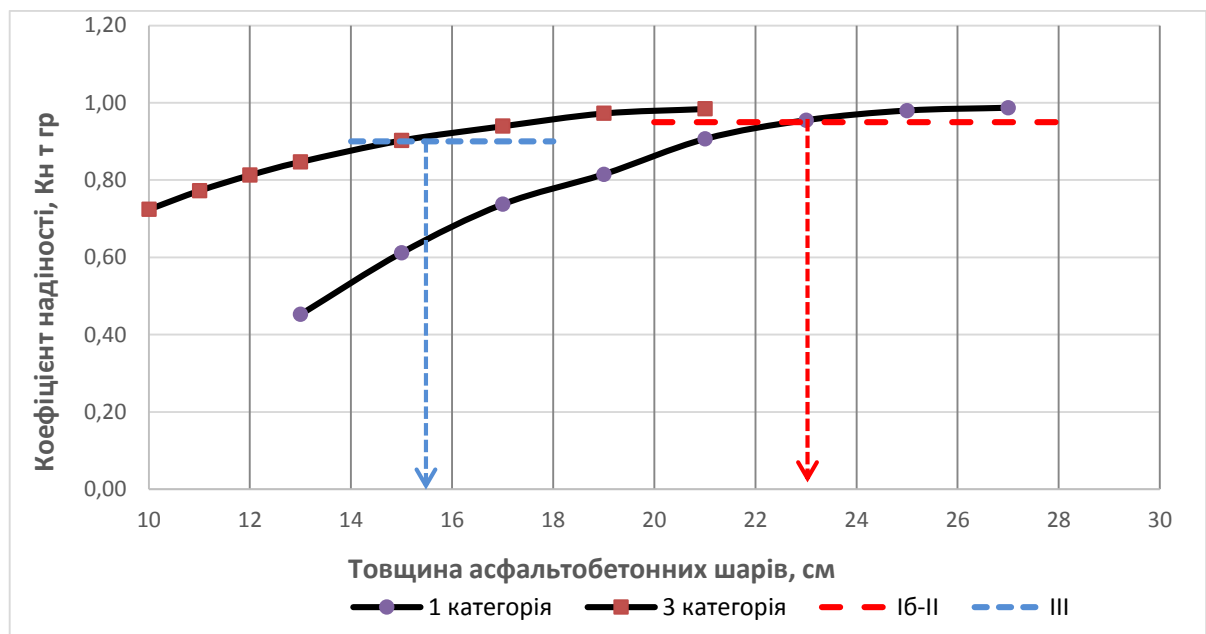


Рисунок 4.20 – Залежність коефіцієнта надійності дорожнього одягу за критерієм по зсуву в ґрунті $K_{нтгр}$ від товщини асфальтобетонних шарів, для категорій Іб, II та III

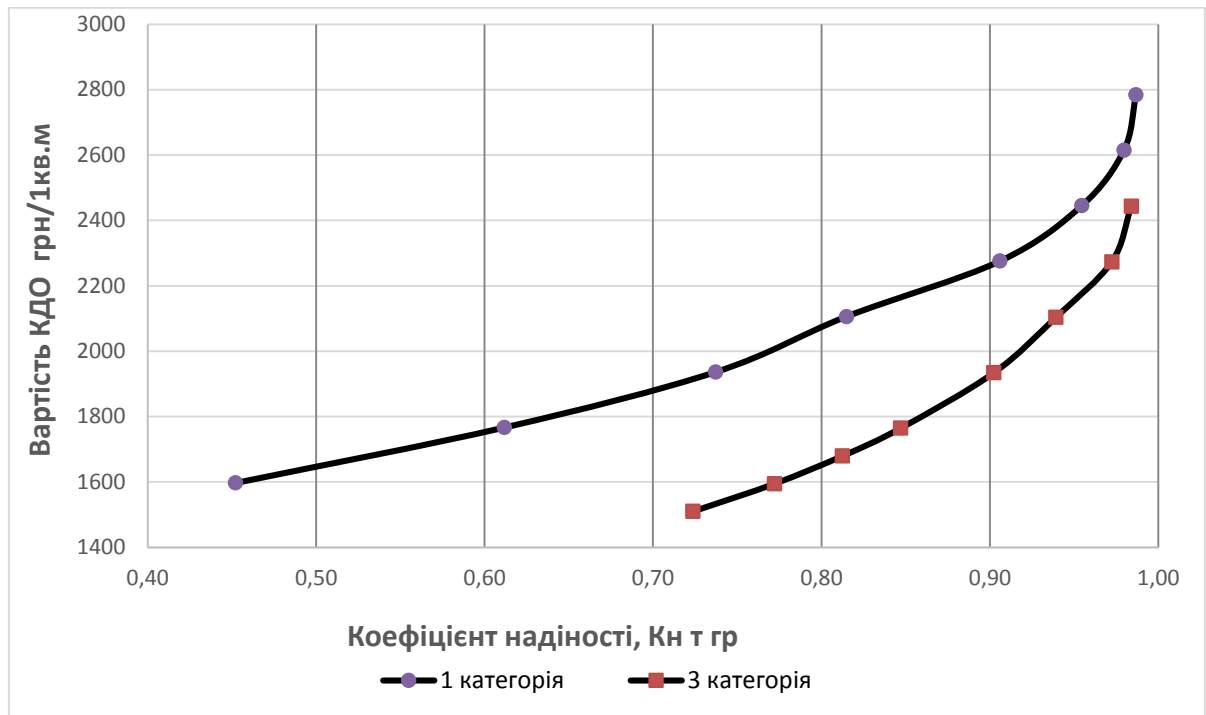


Рисунок 4.21 – Залежність вартості грн/1м² ДО та за критерієм згину монолітних шарів $K_{нтгр}$, для категорій Іб, ІІ та ІІІ

На рис. 4.22 наведено аналіз впливу сумарної кількості прикладань навантаження $\sum N_p$ на надійність дорожнього одягу за критерієм згину монолітних шарів.

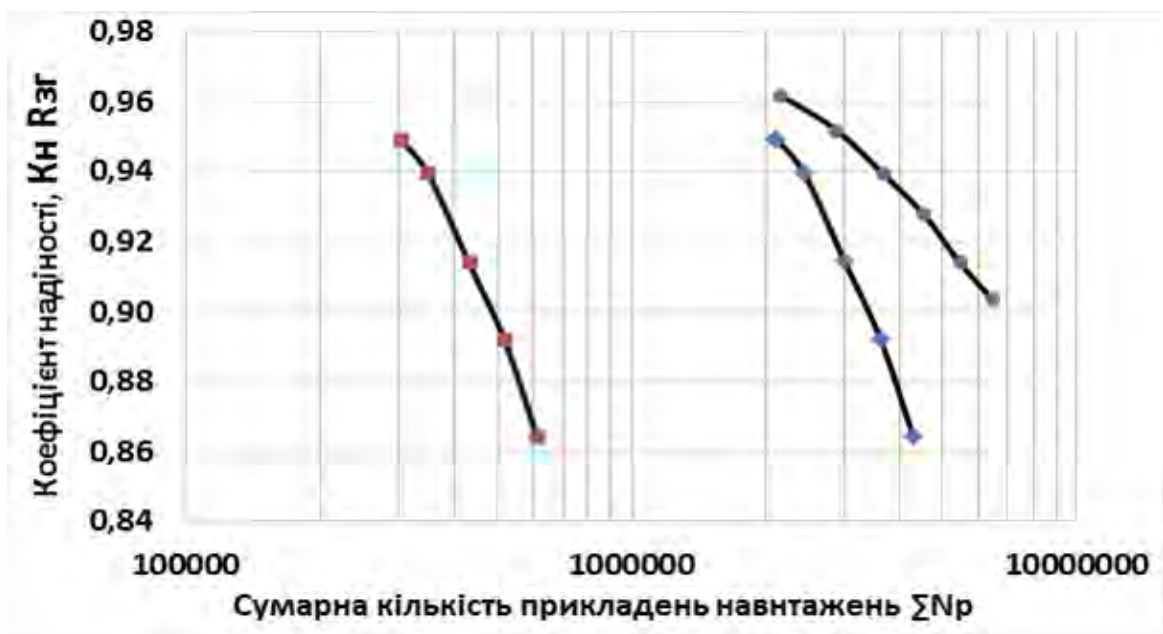


Рисунок 4.22– Зв'язок коефіцієнта надійності за критерієм згину монолітних шарів для категорій доріг Іб, ІІ та ІІІ від: сумарної кількості прикладань навантаження $\sum N_p$

Закономірності зміни показників надійності від факторів впливу для всіх критеріїв граничного стану мають подібні закономірності і відрізняються за абсолютними значеннями.

Висновки. За результатами розрахунків встановлено, що за критерієм загального модуля пружності основний вплив на надійність має товщина стабільних шарів, та її розкид, розкид модуля пружності напівпростору, що знаходиться під асфальтобетонним покриттям та відношення значень модуля асфальтобетону до модуля основи чи ґрунту земляного полотна.

Аналогічний аналіз, виконаний для всіх критеріїв міцності показує, що максимальний ефект на надійність конструкції дорожнього одягу по критерію згину монолітних шарів має параметр b (показник втоми в кривій витривалості). Іншими важливими показниками є товщина асфальтобетону та її коефіцієнт варіації, навантаження на вісь (інтенсивність навантаження та діаметр відбитку колеса) та модуль основи під покриттям.

За критерієм зсуву важливе значення на надійність має загальна товщина дорожнього одягу, модуль ґрунту земляного полотна та його розкид.

Інструментальне обстеження показали, що незважаючи на великий запас міцності існуючого дорожнього одягу, рівного 1,4 - 1,6 спостерігаються ділянки з пониженою міцністю, що пов'язано з великою неоднорідністю конструкції (коефіцієнт варіації на рівні 35 – 45 %).

При неоднорідності існуючого дорожнього одягу більше 25 - 30% підвищення надійності конструкції шляхом зменшення неоднорідності за рахунок фрезерування є більш ефективним способом ніж традиційне нарощування шарів [172].

За результатами досліджень розроблено методику оцінки надійності конструкцій нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг загального користування при використанні даних вимірювання загального модуля пружності дорожнього одягу.

4.4 Розробка методики визначення інтенсивності за даними короткочасного обліку

На основі виконаних досліджень наведених у розділах 2 та 3 розроблено стандарт ДСТУ 8824 «Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування» [173]. Цей стандарт установлює правила та вимоги до визначення інтенсивності руху транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування при складанні проектів нового будівництва, реконструкції, ремонтів та утримання автомобільних доріг, їх ділянок, мостів, шляхопроводів, естакад та елементів дорожнього сервісу (площадки відпочинку, АЗС, СТО).

Інтенсивність руху транспортного потоку визначається як середньорічна добова у транспортних одиницях та одиницях приведених до легкового автомобіля та розрахункового А-11.

Визначати інтенсивність руху транспортного потоку потрібно для:

- розроблення схем розвитку мережі автомобільних доріг;
- обґрунтування категорії автомобільної дороги або її ділянки у відповідності до ДБН В.2.3-4;
- встановлення потреби у влаштуванні додаткових смуг руху на примиканнях чи пересіченнях автомобільних доріг;
- розрахунку та встановлення мінімального модуля пружності конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу згідно ВБН В.2.3-218-186 для автомобільної дороги та транспортних розв'язок у різних рівнях;
- проектування елементів сервісного обслуговування пасажирів і водіїв та технічного обслуговування автомобільного транспорту;
- виконання екологічних вишукувань та визначення впливу транспортного потоку на навколишнє середовище (викиди в атмосферу, рівні шуму);
- визначення вартості експлуатаційного утримання автомобільних доріг;
- аналізу місць концентрації ДТП;
- та інших розрахунків для об'єктів дорожньої інфраструктури [121,158,174-179].

Інтенсивність руху визначається та розраховується:

- на рік виконання техніко-економічних вишукувань, використання матеріалів яких згідно ДБН А.2.1-1 встановлено до 5 років;
- на 20 років після завершення проектів нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільної дороги, її ділянки та транспортної розв'язки у різних рівнях згідно ДБН В.2.3-4;
- на рік першого капітального ремонту після реалізації проекту та вводу дороги, її ділянки чи транспортної розв'язки в експлуатацію.

Визначення інтенсивності руху транспортних потоків для розроблення схем та техніко-економічних обґрунтувань (ТЕО), техніко-економічних розрахунків (ТЕР) розвитку мережі автомобільних доріг або окремих автомобільних доріг та споруд на них (мостів, шляхопроводів, тощо)

а) існуюча інтенсивність руху, яка визначається за формою (додатки А(1) та А(2) ДСТУ 8824) за допомогою автоматичних лічильників та/або при виконанні техніко-економічних вишукувань;

б) перспективна на 20-й рік після завершення розробки схем або ТЕО;

На мережі магістральних, національних та регіональних автомобільних доріг державного значення візуальні обліки руху виконують протягом 2-х годин (120 хв.).

При виконанні техніко-економічних вишукувань, техніко-економічних обґрунтувань (ТЕО), техніко-економічних розрахунків (ТЕР) та проектів нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту автомобільних доріг загального користування та штучних споруд на них, візуальні обліки руху транспортних потоків виконують на автомобільних дорогах державного значення по 3 - 4 години, а на інших дорогах - 2 години.

Отримані дані годинних (1 – 4 год) візуальних обліків руху потрібно привести до середньорічної добової інтенсивності руху транспортного потоку за допомогою коефіцієнтів приведення, отриманих з лічильників автоматичного обліку руху. При цьому використовується найближчий лічильник.

За даними автоматичного лічильника обліку руху, який працював не менше одного календарного року, встановлюють поправочні коефіцієнти, які враховують

місяць, день тижня та годину обліку руху. Крім того, враховуються типи транспортних засобів згідно міжнародної класифікації ЄВРО 6. За допомогою отриманих коефіцієнтів розраховується середньорічна добова інтенсивність руху за формулою:

$$N_{\text{доб}} = N_{\text{год}} / K_1 \times K_2, \quad (4.1)$$

де $N_{\text{доб}}$ – середньорічна добова інтенсивність руху;

$N_{\text{год}}$ – інтенсивність візуального обліку руху за годину;

K_1 – коефіцієнт, який враховує вплив місяця року проведення візуального обліку руху на середньорічну добову інтенсивність;

K_2 – коефіцієнт, який враховує вплив години проведення візуального обліку.

4.5 Рекомендований тиск у шинах вантажних транспортних засобів

За даними виробника автомобільних шин встановлено математичні моделі зв'язку між тиском в шині та максимальним навантаженням на колесо автомобіля (індекс навантаження) для визначення максимального навантаження на вісь.

Визначення навантаження на вісь визначається за формулою (4.2).

$$Q(p, I) = p \cdot (a \cdot I - b) + (c \cdot I - d), \quad (4.2)$$

де a, b, c, d – коефіцієнти відповідно до таблиці; I – індекс навантаження, кг; p – тиск в шині, bar.

Таблиця 4.3 – Таблиця коефіцієнтів для формули 4.2

Радіус колеса	Одиночне колесо (передня вісь)				Спарені колеса (задня вісь)			
	$A(p)=a \cdot I - b$		$B(p)=c \cdot I - d$		$A(p)=a \cdot I - b$		$B(p)=c \cdot I - d$	
	a	b	c	d	a	b	c	d
Сідельні тягачі, автобуси								
19,5	13,85	1440	25,38	2675,1	26,154	2665	47,446	4880,4
20	16,56	17509	29,78	3222,2	29,182	29817	53,622	5637
22,5	16,13	17598	33,21	3803,1	20,632	1846	46,879	4757,4
Вантажні автомобілі								
17,5	8,831	927,3	27,24	1693,7	13,335	12676	85,825	7751,5
Причепи								
15	11,36	1109	21,53	2082,3	21,582	2069	43,293	4194,3
17,5	10,89	1063	24,04	2439,9	21,145	2046	45,597	4527,0
19,5	17,03	1919	37,05	4286,1	23,158	2284	54,632	5769,6
22,5	21,87	2658	46,28	5715	40,000	4720	72,42	8341,3

Таблиця 4.4 – Рекомендований тиску в шинах вантажних автомобілів з одинарним балоном

Одинарні колеса (звичайно передня вісь)												
Розмір колеса/шини	Тиск повітря в бар при різних навантаженнях на вісь (навантаження вказане в 1000 кг)											Макс. навантаження на вісь, кг
	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	
10.00R20 (PR 16)		5,5	6,3	7	7,8							6000
11.00R20 (PR 16)		5,8	6,5	7	7,7							6700 при 8.0 бар
12.00R20 (PR 16)		5,4	6	6,7	7,2	8	8,5					7500 при 8,5 бар
12.00R24 (PR 18)			4,8	5,4	5,9	6,4	7	7,5				8000
11R22.5 (PR 16)		6,2	6,9	7,5								6300 при 8.0 бар
12R22.5 (PR 16)			6,4	7,1	7,7	8,4						7100 при 8.5 бар
13R22.5 (PR 18)				6,2	6,7	7,5	8					7500
275/80R22.5		5,7	6,5	7,2	8	8,8						6500 при 8.75 бар
295/60R22.5			6,8	7,5	8,2	9						6500
295/80R22.5			5,7	6,4	7	7,7	8,4					7100 при 8.5 бар
315/60R22.5				6,8	7,5	8,2	8,8					7100 при 9.0 бар
315/70R22.5		5	5,6	6,4	7,1	7,7	8,4	9				7.500 при 9.0 бар
315/80R22.5					6,3	6,8	7,5	8	8,5			8000
385/65R22.5							6,9	7,5	8	8,5	9	9000

Таблиця 4.5 – Рекомендований тиску в шинах вантажних автомобілів з спареним балоном

Здвоєнні колеса (звичайно задня вісь)									
Розмір колеса/шини	Тиск повітря в бар при різних навантаженнях на вісь (навантаження вказане в 1000 кг)								Макс. навантаження на вісь, кг
	7	8	9	10	11	12	13	14	
10.00R20 (PR 16)	-	5,5	6,3	7,10	-	-	-	-	10900 при 7.8 бар
11.00R20 (PR 16)	-	-	5,8	6,50	7,25	8	-	-	12000 при 8.0 бар
12.00R20 (PR 16)	-	-	5,5	6,25	7	7,8	8,5	-	13000
12.00R24 (PR 18)	-	-		4,8	5,5	6	6,6	7,2	14600 при 7,5 бар
11R22.5 (PR 16)	-	5,25	6	6,8	7,5	-	-	-	11600 при 8,0 бар
12R22.5 (PR 16)	-	-	5,8	6,5	7,25	8	-	-	12600 при 8,5 бар
13R22.5 (PR 18)	-	-		6,2	6,5	7,5	7,8	-	13400 при 8.0 бар
27S/80R22.5	-	-	6,6	7,4	8,3	-	-	-	11600 при 8.8 бар
295/60R22.5	-	-	6,5	7,3	8,2	9	-	-	12000 при 9.0 бар
295/80R22.5	-	-	5,8	6,5	7,3	8	-	-	12600 при 8.5 бар
315/60R22.5	-	-	6	6,5	7,3	8	8,6	-	13400 при 9,0 бар
315/70R22.5	-	-	-	6,5	7,4	8,2	-	-	12600 при 8,5 бар
315/80R22.5	-	-	5,2	5,75	6,4	7,1	7,75	-	13400 при 8,0 бар

Розрахункове значення параметру навантаження з заданою надійністю визначається за формулою:

$$P_{роз} = P_{cp} (1 + t_{Kn} \cdot C_v), \quad (4.3)$$

P_{cp} – середнє значення тиску в пневматиках коліс;

C_v – коефіцієнт варіації параметру;

t_{Kn} – нормоване відхилення (квантиль) для одностороннього рівня значимості

K_n

$$K_n = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx. \quad (4.4)$$

За даними проведено аналізу в таблицях 4.5-4.6 встановлені розрахункові параметри навантаження на вісь, тиску в шинах та площі контакту шини із покриттям, які необхідно включити до змін вихідних параметрів при розрахунках дорожніх одягів та перегляді діючих нормативних документів.

Таблиця 4.6 – Розрахункові значення навантаження на вісь

Тип ТЗ	1 вісь, кг	2 вісь, кг	3 вісь, кг	4 вісь, кг	5 вісь, кг	6 вісь, кг	Загальна маса
5.2	8597,0	16145,9	-	-	-	-	24332,1
5.3	8348,6	16133,65	15552,9	-	-	-	38827,3
5.5	8234,3	9126,11	15181,5	15214,1	-	-	46720,8
5.8	7527,69	11855,15	10362,6	9886,9	10396,6	-	46483,9
5.9	8155,8	12094,2	13293,9	10542,9	8978,0	8055,04	52080,5
5.11	7658,3	13366,6	10070,3	10196,7	-	-	38901,5
5.12	7388,0	13575,4	10088,7	9110,6	9405,9	-	46186,2
5.14	7040,5	9964,0	9888,8	10063,5	11494,6	-	42084,1
5.15	7280,7	12508,8	12546,7	12299,1	11376,5	11902,97	61015,4

Діаметр розрахункового відбитка шини D визначають із залежності:

$$D = \sqrt{\frac{40 \times Q_{розр}}{\pi \times p}} \cdot \text{см}. \quad (4.5)$$

де, $Q_{розр}$ – розрахункова величина навантаження, що передається колесом на поверхню покриття. кН; p – тиск повітря в шинах МПа.

Таблиця 4.7 – Розрахункові значення тиску в шинах на вісь

Тип транспортного засобу	1 вісь, бар	2 вісь, бар	3 вісь, бар	4 вісь, бар	5 вісь, бар	6 вісь, бар
5.2	8,03	8,00	-	-	-	-
5.3	12,31	12,60	12,29	-	-	-
5.5	8,78	9,08	9,42	9,41	-	-
5.8	7,79	7,23	6,89	7,82	7,93	-
5.9	7,83	7,27	7,63	8,18	7,55	8,21
5.11	8,57	8,75	9,12	9,09	-	-
5.12	8,54	8,73	8,89	8,84	8,85	-
5.14	8,56	7,34	7,17	8,71	10,02	-
5.15	8,50	8,17	8,36	9,30	8,97	9,30

Висновки. Значення D і p для розрахункового навантаження за результатами досліджень рекомендовано внести в ДБН В.1.2-15 (табл. 4.8). При розрахунках стійкості насипів земляного полотна та підпірних стінок тип навантаження приймається згідно з в залежності від технічної класифікації автомобільних доріг: НК-100 – на автомобільних дорогах I, II і III категорій. НК-80 – на автомобільних дорогах IV і V категорій.

При проектуванні конструкції дорожнього одягу для автомобільних доріг. на яких у складі транспортних потоків очікується понад 10 % великовантажних транспортних засобів. параметри навантаження від яких перевищують розрахункові параметри навантаження табл. 4.8 (зерновозів. контейнеровозів. рефрижераторів тощо) за навантаження від розрахункового автомобіля призначають навантаження від найважчого транспортного засобу, систематична експлуатація якого прогнозується на об'єкті дорожнього будівництва.

Таблиця 4.8 – Розрахункові параметри навантаження

Ч. ч.	Категорія дороги	Тип дорожнього одягу	Група розрахункового навантаження	Нормативне статичне навантаження на вісь, кН	Нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля, $Q_{розр.}$ кН	Розрахункові параметри		
						Тиск повітря в шині p , МПа	Діаметр відбитка колеса D_n , м	Діаметр відбитка колеса рухомого автомобіля, D_d , м
1	I-а	Капітальний	A ₂	115 (130)	57,5 (65,0)	0,80 (0,90)	0,303 (0,303)	0,345 (0,346)
2	I-б	Капітальний	A ₂	115 (130)	57,5 (65,0)	0,80 (0,90)	0,303 (0,303)	0,345 (0,346)
3	II	Капітальний	A ₂	115	57,5	0,80	0,303	0,345
4	III	Капітальний	A ₂	115	57,5	0,80	0,303	0,345
		Полегшений	A ₃	100	50,0	0,70	0,302	0,344
5	IV	Капітальний	A ₃	100	50,0	0,70	0,302	0,344
		Полегшений	A ₃	100	50,0	0,70	0,302	0,344
6	V	Полегшений	A ₃	100	50,0	0,70	0,302	0,344
		Перехідний	B	60	30,0	0,50	0,276	0,315

Примітка 1. За відповідного техніко-економічного обґрунтування розрахункове навантаження на найбільш завантажену вісь дорожньо-транспортного засобу для автомобільних доріг I-а, I-б та II категорії можна приймати групу розрахункового навантаження A₁: розрахункове навантаження на найбільш завантажену вісь 130 кН, нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля – 65 кН, тиск повітря в шині – 0,9 МПа, діаметр відбитка колеса – 0,303 м, діаметр відбитка колеса рухомого автомобіля – 0,346 м.

4.6 Комплексна оцінка стану поверхні асфальтобетонного покриття

Визначення міри ураження конструкції дорожнього одягу виконується у відповідності з СОУ 45.2-00018112-042, однак в цьому документі відсутнє поняття – комплексна оцінка стану поверхні покриття.

У відповідності з вимогами СОУ 45.2-00018112-042 у СУСП встановлена форма збору даних про руйнування поверхні дорожнього одягу (табл. 4.8).

Оцінку міри ураження ділянки автомобільної дороги пропонується виконувати за такою формулою (4.6) на основі даних СУСП:

$$K_{\text{стан}} = \sum_{i=1}^i \left(\begin{array}{l} 1 \text{ рівень руйнувань } \sum_{i=1}^i D_i \cdot \frac{0,25}{100} \\ 2 \text{ рівень руйнувань } \sum_{i=1}^i D_i \cdot \frac{0,25}{100} + 0,25 \\ 3 \text{ рівень руйнувань } \sum_{i=1}^i D_i \cdot \frac{0,5}{100} + 0,5 \end{array} \right), \quad (4.6)$$

де, D_i – відсоток руйнування по i -му виду руйнування для кожного рівня міри ураження, визначення візуальним методом у відповідності до наведеного ДСТУ з визначення стану покриття;

Таблиця 4.9 – Форма збору даних про руйнування поверхні дорожнього одягу

Код дороги

(місцевий):

М-14

Назва дороги:

Одеса - Мелітополь - Новоазовськ (на м. Таганрог)

Господарство:

Служба автомобільних доріг у Одеській області

Від		До		Тип руйнування конструкції	Міра ураження ділянки і протяжність в % від довжини ділянки			Дата отримання даних
км	+ (м)	км	+ (м)		Рівень 1	Рівень 2	Рівень 3	
A	B	C	D	E	F	G	H	I
17	0	18	0	2	2	2	0	28.09.2017
17	0	18	0	6	18	18	18	28.09.2017
17	0	18	0	7	0	2	2	28.09.2017
17	0	18	0	11	0	4	4	28.09.2017
17	0	18	0	12	0	8	8	28.09.2017
17	0	18	0	13	0	6	6	28.09.2017

$K_{\text{стан}}$ – комплексна оцінка міри ураження дорожнього покриття, для 1 км автомобільної дороги.

За результатами розрахунків за формулою (4.6) в табл. 4.10 наведено приклад аналізу даних для окремих ділянок автомобільної дороги М 14.

Таблиця 4.10 – Комплексна оцінка руйнування дорожнього одягу

Від		До		Комплексна оцінка стану покриття	Дата отримання даних
км	+ (м)	км	+ (м)		
A	B	C	D	E	I
17	0	18	0	2,035	28.09.2017
17	0	18	0	3,19	28.09.2017
17	0	18	0	3,245	28.09.2017

На рис. 4.23 наведено аналіз ділянки автомобільної дороги М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на м. Таганрог) на ділянці км 260+000 – км 460+000 за

показником комплексної оцінки покриття та нерівністю дорожнього покриття за міжнародним індексом нерівності *IRI*.

За даними аналізу даних по всій протяжності автомобільної дороги М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на м. Таганрог) в межах Одеської, Миколаївської, Запорізької та Донецької областей (загальною протяжністю 618 км) встановлено залежність між показником комплексної оцінки покриття та нерівністю дорожнього покриття за міжнародним індексом нерівності *IRI*. Результати аналізу наведено на рис. 4.24 та встановлено залежність за формулою (4.7).

$$IRI = 0,7483 \cdot K_{стан}^{0,6032}, \quad (4.7)$$

де $K_{стан}$ – комплексна оцінка міри ураження покриття.

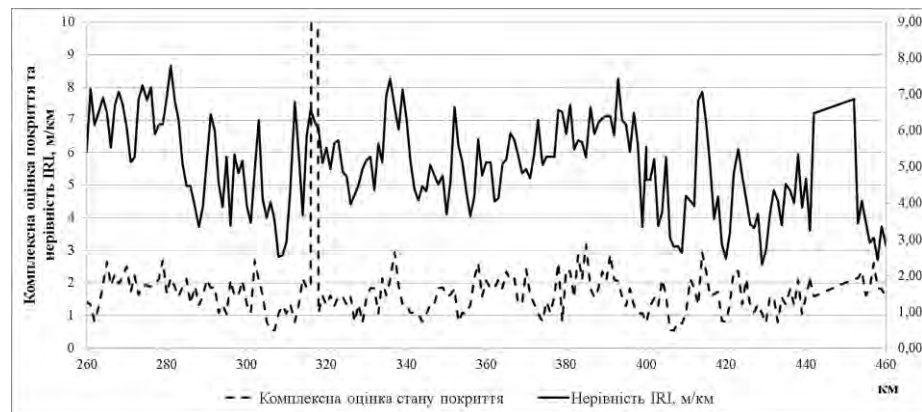


Рисунок 4.23 – Аналіз ділянки автомобільної дороги М-14 за показником комплексної оцінки покриття та нерівністю дорожнього покриття за міжнародним індексом нерівності *IRI*

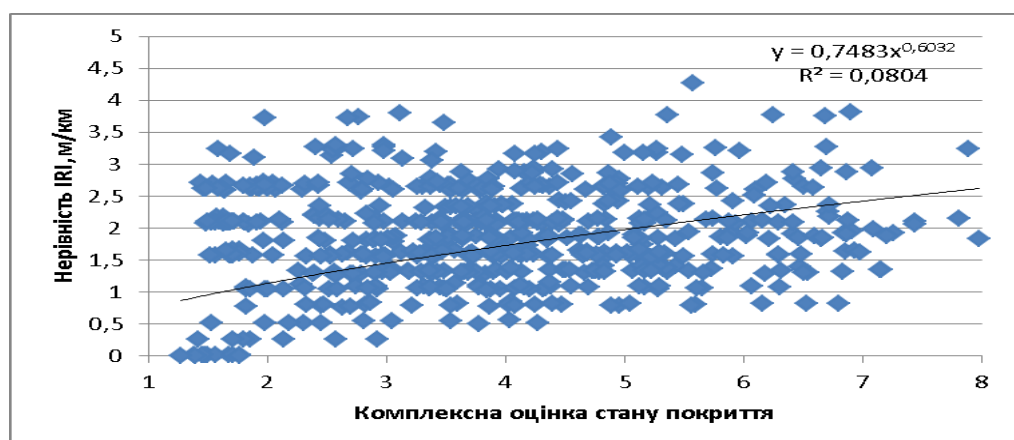


Рисунок 4.24 – Залежність міжнародного індексу нерівності *IRI* з комплексною оцінкою покриття

Висновок. За даними проведеного аналізу, комплексна оцінка міри ураження дорожнього покриття може використовуватись, як додатковий комплексний показник для призначення виду ремонтних робіт.

4.7 Удосконалення методики призначення ремонту нежорсткого дорожнього одягу

На сьогоднішній день, дані вимірювань загального модуля пружності та коефіцієнту запасу конструкції дорожнього одягу (КДО), фактичних показників рівності та зчеплення за період 2004 – 2018 занесені в базу даних СУСП і використовуються тільки для прийняття рішення про необхідність виконання ремонту, і фактично не впливають на розрахунок конструкції дорожнього одягу за трьома критеріями граничного стану. Якщо дані для посилення дорожнього одягу не містять інформації про швидкість руху, стан покриття, то такого розрахунку виконати неможливо.

Для знаходження інтенсивності зміни нерівності в процесі експлуатації відомі залежності розроблені та описані Патерсоном [180], С.С. Кизимою [181], В.О. Красіковим [182] та іншими. Аналіз цих залежностей показує, що розрахунки зміни рівності терміном до 8 років дають практично однакові результати і можуть використовуватися в якості моделі зміни рівності в процесі експлуатації автодоріг.

Починаючи з 2008 року є можливість отримувати інформацію про стан автомобільних доріг по індексу IRI, який пропонується в якості міжнародного стандарту від Світового банку.

З використанням моделі погіршення транспортно-експлуатаційного стану по нерівності у відповідності з HDM IV [183], з урахуванням загального модуля пружності та сумарної інтенсивності руху залежність міжнародного індексу рівності від товщини має вид [184]:

$$IRI_T = 1.04 \cdot e^{mt} \cdot \left(IRI_0 + 263 \left(1 + 0.2132 \cdot (E_{zag}(h))^{0.5043} \right)^{-5} \cdot \left(0.7 \cdot N_d \cdot 10^{-6} \cdot k_p \cdot T_d \cdot \frac{(q^t - 1)}{q - 1} \right) \right), \quad (4.8)$$

де m – коефіцієнт, який враховує вплив кліматичних умов, приймається рівним 0,02 для умов Півночі України; IRI_0 – початкова рівність покриття після будівництва

дороги або капітального ремонту, м/ км; N_d – добова інтенсивність руху, приведена до розрахункового навантаження 8,0 т/ вісь, одиниць ESA; q – коефіцієнт щорічного приросту інтенсивності руху.

Враховуючи залежність для перерахунку рівності по поштовхоміру в значення міжнародного індексу рівності [180, 183] та використовуючи дані роботи [181] отримаємо формулу для розрахунку зміни швидкості руху від рівності.

$$V(IRI) = A \cdot \left(\frac{IRI - 1,51}{0,0665} \right)^{-0,6295} - \Delta V, \quad (4.9)$$

де A – коефіцієнт регресії, ΔV - поправка на вплив інтенсивності руху і складу транспортного потоку на залежність швидкості руху від рівності за результатами досліджень А.П. Васильєва.

Розрахунок сумарних експлуатаційних транспортних витрат, що враховують вартість окремих типів транспортних засобів, встановлено на основі моделі HDM-IV, в якій єдиним фактором, який впливає на транспортний засіб є нерівність (виражена м/км в одиницях міжнародного індексу нерівності IRI). HDM-4 була випробувана з різними значеннями рівності, та вибрані найкращі регресійні залежності для кожного типу транспортних засобів. Модель має наступну форму (витрати на авт/км) [180, 183]:

$$\begin{aligned} & \text{- для } IRI \geq 3: TE3 = a + b \cdot IRI + c \cdot IRI^2, \\ & \text{- для } IRI < 3: TE3 = TE3(IRI-3) - (a + b \cdot (3-IRI) + c \cdot (3-IRI)^2), \end{aligned} \quad (4.10)$$

де a , b та c - коефіцієнти регресії, значення яких залежать від типу автомобільних доріг (магістральні, територіальні чи районні).

З метою удосконалення методики та визначення функцій розподілу транспортно-експлуатаційних показників стану проїзної частини було створено базу даних автомобільних доріг державного значення та встановлення розрахункових значень загального модуля пружності, коефіцієнту запасу конструкції дорожнього

одягу, фактичних показників рівності та зчеплення із заданою надійністю для призначення ремонтних заходів.

Дана методика реалізована при призначенні ремонтів на автомобільній дорозі М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на Таганрог).

Найбільш повно дані бази даних про техніко – експлуатаційний стан мережі автомобільних доріг України, в тому числі автомобільної дороги М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на Таганрог) було зібрано в 2012 – 2017 зусиллями ДП «Укрдїпродор» та кафедри аеропортів Національного транспортного університету в рамках виконання науково-дослідних робіт [12].

Всю автомобільної дороги було розбито на 28 ділянок у відповідності зі зміною інтенсивності руху, складу транспортного потоку та геометричних параметрів.

Методику визначення фактичної інтенсивності руху та складу транспортного потоку наведено у роботі [7].

Інтенсивність руху на різних ділянках М 14 змінюється від 2192 авто/добу до 12354 авто/добу.

Згідно п. 6.2.2 ГБН В.2.3-37641918-559 розрахункове навантаження групи А₁ приймають до розрахунку дорожнього одягу на автомобільних дорогах І-а, І-б, якщо у розрахунковий період передбачається рух транспортних засобів з навантаженням на вісь понад 120 кН у кількості більше ніж 500 авт/добу, а для ІІ категорій – понад 150 авт/добу.

На ділянках кількість тягачів та автопоїздів становить (690 – 2557 авто/добу), що дозволяє стверджувати про необхідність прийняття розрахункового навантаження 130 кН/вісь та проведення додаткових досліджень, стосовно визначення перевантаження з результатами зважування на вагових комплексах.

Розрахунок потрібного модуля пружності $E_{номр}$ конструкції дорожнього одягу приведений до розрахункового навантаження у відповідності до ДБН В.2.3-4 для групи А₂ (на вісь 115 кН/м) та визначено за формулою (6.13) ГБН В.2.3-37641918-559. Результати аналізу коефіцієнтів запасу міцності наведено в табл. 4.13.

За результатами досліджень розроблено методику розрахунку надійності конструкцій нежорстких дорожніх одягів АДЗК при використанні даних вимірювання загального модуля пружності дорожнього одягу.

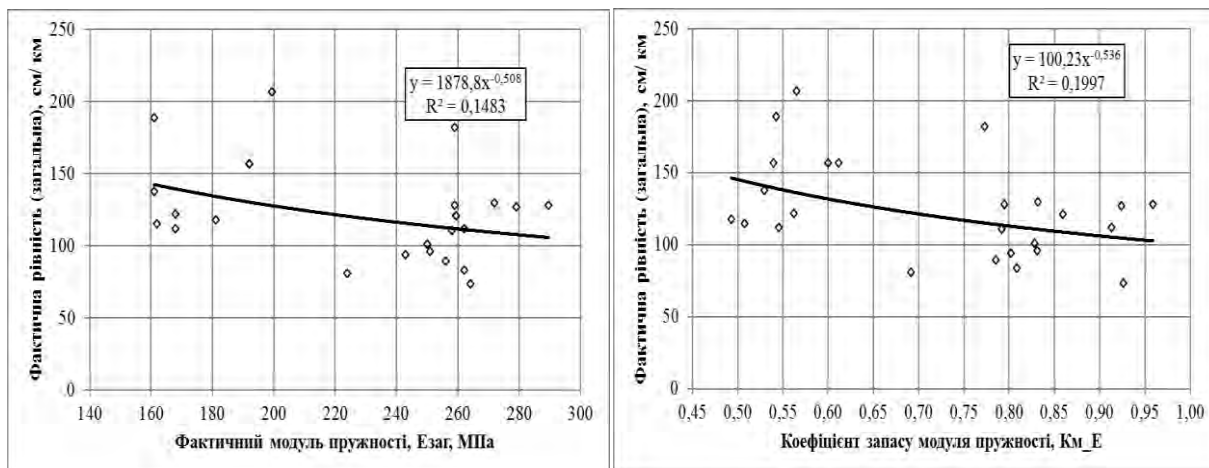
У роботі запропоновано удосконалений метод розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії навантаження за даними багаторічних спостережень/досліджень, що спирається на інформацію про будову та неоднорідність дорожнього одягу, розрахунок нежорсткого дорожнього одягу за критеріями граничного стану і дозволяє оцінити надійність конструкції дорожнього одягу з урахуванням удосконаленої моделі навантаження та його неоднорідності, запасу міцності конструкції та її неоднорідності (рис. 4.27).

Приклад результатів аналізу коефіцієнтів запасу рівності та зчеплення наведено в табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Статистичний аналіз розрахунку коефіцієнтів запасу міцності показників ТЕС на ділянках автомобільної дороги М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на Таганрог) (на Таганрог)

Показник	Допустима рівність, см/км	Фактична рівність	Фактичний коефіцієнт зчеплення	Коефіцієнт запасу рівності	Коефіцієнт запасу зчеплення
Мінімальне	90	73,5	0,31	0,736	0,886
Максимальне	110	207	0,43	2,300	1,229
Середнє	104,3	128,20	0,39	1,239	1,101
СКВ	9	35	0,030	0,376	0,087
Коеф. варіації	8,8	27,2	7,9	30,3	7,9

Незважаючи на значну неоднорідність результатів випробувань (коефіцієнт варіації модуля пружності рівний 20,1 %, а фактичної рівності 27,2 %) прослідковується ступенева залежність між фактичною нерівністю покриття по поштовхоміру від фактичного (загального) модуля пружності на поверхні конструкції дорожнього одягу (рис. 4.25).



а)

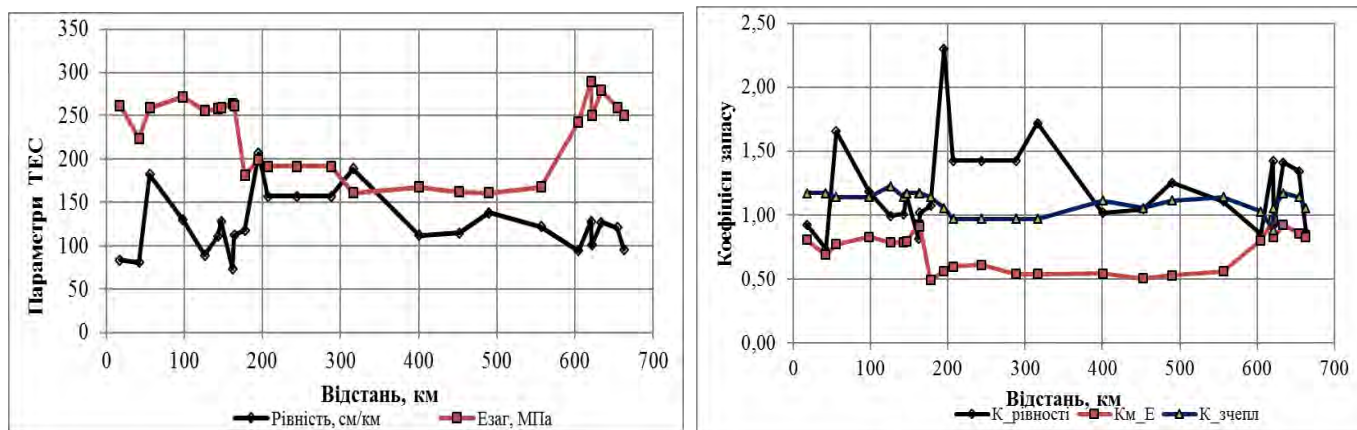
б)

Рисунок 4.25 – Залежність фактичної рівності покриття по поштовхоміру:

а) від фактичного (загального) модуля пружності на поверхні конструкції дорожнього одягу, б) від коефіцієнта запасу

Встановлена закономірність (рис. 4.25 б) більш якісно дозволяє розглядати зв'язок між фактичною рівністю покриття та коефіцієнтам запасу модуля пружності на поверхні конструкції дорожнього одягу.

Зміну параметрів транспортно-експлуатаційного стану дорожнього одягу за загальним модулем пружності та показником рівності по поштовхоміру наведено на рис. 4.26 а), зміну коефіцієнтів запасу, наведено на рис. 4.26 б).



а)

б)

Рисунок 4.26 – Зміна загального модуля пружності та рівності по довжині АД М 14 (а), та коефіцієнтів запасу (б)

Встановлено кореляційну залежність “нерівність по поштовхоміру – міжнародний індекс нерівності IRI” за формулою (4.11).

$$PT = 13,457 \cdot IRI^{2,0469}, \quad (4.11)$$

$$IRI = 0,2808 \cdot PT^{0,4885}, \quad (4.12)$$

де PT – нерівність за поштовхоміром, см/км, IRI – нерівність за міжнародним індексом нерівності IRI.

Результати статистичної обробки даних випробувань нерівності наступні: максимальна нерівність – 2,41 м/км, середнє значення – 1,68 м/км, розрахункове значення – 1,13 м/км, коефіцієнт варіації – 19,8 %.

Отримані значення нерівності для ділянок обстеження знаходяться в межах похибки вимірювань, тому в подальшому були об’єднані в генеральну сукупність даних для якої виконано статистичний аналіз. Графіки порівняння гістограми нерівності отримані за даними з нормальним законом розподілу наведено на (рис. 4.27).

Аналіз результатів польових випробувань міцності дорожнього одягу. Результати польових випробувань міцності дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на Таганрог) у межах Миколаївської області, з врахуванням калібрувального коефіцієнта наступні: міцність знаходиться в межах (175 – 302 МПа), середнє значення – 251 МПа, розрахункове значення – 222 МПа, коефіцієнт варіації – 9,05.

Використовуючи залежність міжнародного індексу нерівності з показником експлуатаційного стану $PSI = 4,9596 \cdot \exp(-0,18 \cdot IRI)$ є можливість призначення ремонтів, згідно методики наведеної в [12].

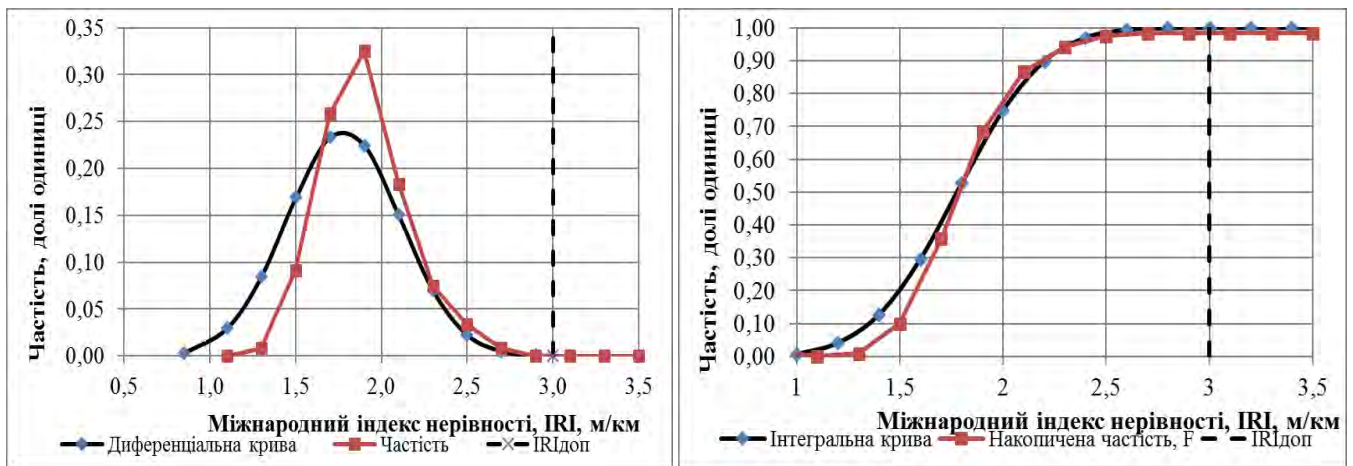
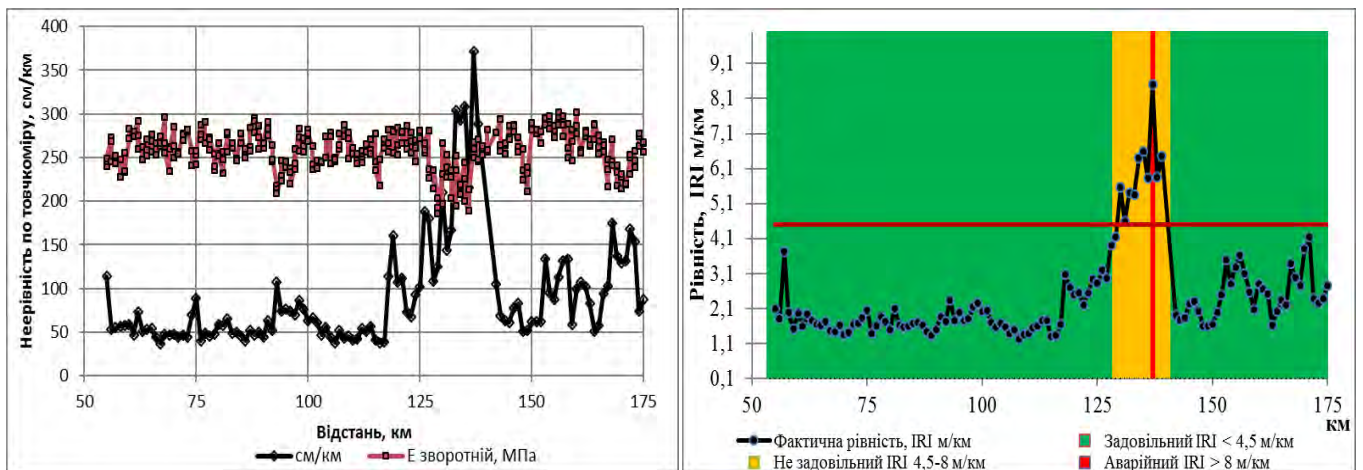


Рисунок 4.27 – Диференційна крива та полігон частотей міжнародного індексу нерівності IRI для прямого напрямку АД М 14 за даними 2014 року



а)

б)

Рисунок 4.28 – а) Зміна модуля пружності та міжнародного індексу нерівності IRI”, б) оцінка стану покриття за даними рівності

Висновки.

Необхідно для опису даних рівності використовувати закон Вейбулла. За даними табл. 21.2 ДБН В.2.3-4 виконано аналізу за критерієм нерівності та міцності. Результатом досліджень встановлена потреба в ремонтах на різних ділянках автомобільної дороги М-14 Одеса - Мелітополь - Новоазовськ (на Таганрог) (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 – Потреба у видах ремонтних заходів автомобільної дороги М-14

Область	Ділянка		Протяжність, км	Показник експлуатаційного стану покриття, PSI	Міжнародний індекс нерівності IRI	Потреба в ремонті
	Від	До				
1	2	3	4	5	6	7
Одеська	17,555	55,550	37,995	2,21	4,49	капітальний ремонт
Миколаївська	55,550	177,531	108,33	2,95	2,89	утримання
Херсонська	177,531	400,531	201,20	2,31	4,24	капітальний ремонт
Запорізька	400,531	604,086	194,06	2,29	4,29	капітальний ремонт
Донецька	604,540	698,704	75,39	2,79	3,20	утримання

Розрахунок загальної надійності автомобільної дороги

Загальна надійність автомобільної дороги включає в себе надійність окремих її елементів. Елементами автомобільної дороги є окремі ділянки, однорідні за конструкцією дорожнього одягу, навантаженнями та властивостями матеріалів (перегони). Елементами конструкції дорожнього одягу є шари дорожнього одягу, які за призначенням можна об'єднати в такі системи: - покриття (верхній шар); - основа (може бути багат шарова); - додаткова основа (морозозахисний і або дренажний шар); - земляне полотно (грунт штучної та природної основи).

Після підрахунку часткової надійності за трьома критеріями (якщо враховувати морозостійкість та дренажну здатність то елементів буде п'ять) кожного з елементів, загальна надійність КДО може бути знайдена за формулами теореми про множення ймовірностей [185]:

$$P = \prod_{i=1}^m P_i(t) \quad (4.13)$$

$$P = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i(t)), \quad (4.14)$$

відповідно при послідовному та паралельному з'єднанні елементів (тут m - кількість елементів у системі).

1. *Послідовне (основне) з'єднання* відповідає випадку, коли при відмові одного елемента відмовляє вся конструкція чи споруда в цілому (рис. 4.29).

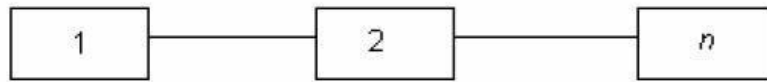


Рисунок 4.29 – Послідовне (основне) з'єднання елементів конструкції чи споруди на всій протяжності автомобільної дороги

Послідовне з'єднання рекомендується застосовувати при аналізі загальної надійності автомобільної дороги на всій її протяжності.

2. Паралельно навантажене з'єднання відповідає випадку, коли конструкція зберігає працездатність, до тих пір, поки працездатний хоча б один з n включених в роботу елементів (рис. 4.30).

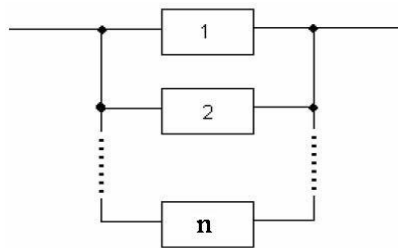


Рисунок 4.30 – Паралельне навантажене з'єднання для окремого однорідного перегону

Паралельне з'єднання можна застосовувати при аналізі надійності окремих однорідних ділянок, що характеризуються різними коефіцієнтами надійності за критеріями граничного стану.

Паралельну схему з'єднання елементів також слід використовувати при роботі конструкції на етапі руйнування (чи пластичного деформування), коли розтріскування верхнього шару приводить до підвищення напружень і деформацій та включення в роботу шарів, що розташовані нижче. Наприклад, якщо за критеріями граничного стану отримано значення коефіцієнта надійності $P_{Ezag}=0,90$, $P_{Rz}=0,85$, $P_{tnisky}=0,87$, $P_{tgruntu}=0,95$, то надійність такої конструкції дорожнього одягу за формулою (4.14) буде $P_{kdo}=1-(1-0,90) \cdot (1-0,85) \cdot (1-0,87) \cdot (1-0,95)=1-0,10 \cdot 0,15 \cdot 0,13 \cdot 0,05=0,9999$. Тобто, незважаючи на значно менші від нормативних значень ймовірності безвідмовної роботи за окремими критеріями граничного стану конструкція має надзвичайно високу надійність в загальному, що пояснює роботу мережі доріг в останні десятиліття без ремонту в стадії руйнування.

Для КДО автодоріг I - II категорії, які повинні працювати в пружній стадії, найбільш адекватним є послідовне з'єднання елементів, при якому для того щоб система "конструкція дорожнього одягу автомобільної дороги" працювала безвідмовно необхідно щоб усі підсистеми (окремі ділянки) працювали безвідмовно. Якщо прийняти, що відмови незалежні одна від іншої, то отримаємо добуток ймовірностей і надійність системи не перевищує надійність найменш надійного елементу. Наприклад, якщо при розрахунку надійності на стадії проектування, отримали надійності елементів конструкцій на окремих ділянках на маршрутів від пункту *A* до пункту *E* відповідно: $P_{AB}=0,99$, $P_{BC}=0,97$, $P_{CD}=0,96$, $P_{DE}=0,95$, то загальна надійність КДО автомобільної дороги на всій протяжності за формулою (4.13) буде $P=0,99 \cdot 0,97 \cdot 0,96 \cdot 0,95=0,875$, що можна трактувати як задовільна. Таким чином, обґрунтовується маршрутний принцип ремонту автомобільних доріг.

Надійність автомобільної доріг вищих категорій доцільно розглядати як послідовність окремих перегонів, зв'язаних за послідовною схемою, а в межах окремого перегону за паралельною схемою (рис. 4.31).

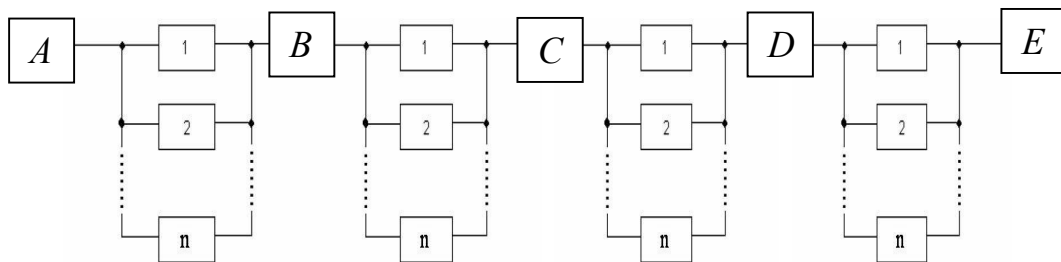


Рисунок 4.31 – Схема для розрахунку загальної надійності автомобільної дороги на всій протяжності для доріг вищих категорій при роботі в пружній стадії

В загальному слід розглядати надійність автомобільної доріг як окремих перегонів, зв'язаних за послідовною схемою, а в межах окремого перегону схеми з'єднань можуть змінюватися в залежності від діючого навантаження, кількості то товщини шарів, якості матеріалів, погодно-кліматичних факторів тощо і потребують окремого розгляду в добовому та річному циклі експлуатації дорожнього одягу.

Аналіз показав, що для кожного з критеріїв міцності вплив параметрів неоднозначний: для критерію згину монолітних шарів на надійність КДО найбільше впливає показник витривалості, навантаження на вісь, товщина асфальтобетону та її коефіцієнт варіації; для критерію загального модуля пружності – товщина покриття, модуль основи під покриттям, чи модуль ґрунту земляного полотна та їх розкид; для критерію зсуву - загальна товщина дорожнього одягу, характеристики ґрунту земляного полотна та їх розкид.

Висновки до розділу 4.

Аналіз статистичних даних за останні 10 років, отриманих на пунктах вагового контролю автомобільних доріг I і III технічної категорії на території Київської та Чернігівської, Миколаївської та Херсонської області, дозволяє зробити наступні висновки:

1. Істотно до 45% збільшилася частка автомобілів з вантажопідйомністю понад 8 тон і автопоїздів у складі вантажного транспортного потоку.

2. Найбільш поширені конструктивні схеми багато вісних вантажних автомобілів: тривісний вантажний автомобіль, двовісний тягач з трьохосним напівпричепом.

3. Весь потік транспортних засобів залежно від завантаження можна розділити на 3 основні типи:

- транспортні засоби з навантаженням в спорядженому стані (без вантажу);
- транспортні засоби з навантаженням, що не перевищує допустимі значення;
- транспортні засоби з навантаженням, що перевищує допустимі значення.

Якщо виділити з усього потоку транспортні засоби з перевантаженнями, то 54 % з них припадає на п'яти осьові автомобілі різних конструктивних схем .

4. Аналіз розподілу навантаження між осями п'яти осьового автопоїзда в складі сідельного тягача і напівпричепа показав, що найбільш завантаженою є друга вісь, де досить часто (в 16 % випадків) спостерігаються навантаження понад 100 кН. Три осі (тридем) напівпричепа хоч і мають навантаження (60 – 70 кН), але при проїзді призводять до складної картини деформування асфальтобетонного покриття за рахунок близького їх розташування (1,2 – 1,5 м) і взаємного впливу.

5. Залежно від зміни загальної маси багато осевого вантажного автомобіля змінюється розподіл навантажень по осях. Величина перевантаження здвоєних осей на ВТЗ вітчизняних перевізників значно більша, порівняно з зарубіжними.

6. Швидкісні режими руху різних типів багато вісних транспортних засобів змінюється від 40 до 120 км /год, при середній швидкості руху 80 км / год.

7. Аналіз впливу факторів на надійність вказує, що різні критерії доповнюють один одного для досягнення різних ефектів: - забезпечення суцільності матеріалу покриття та недопущення залишкових деформацій.

Таким чином, аналіз розроблених моделей показує їх відповідність експериментальним даним роботи конструкцій дорожніх одягів при експлуатації.

Отримані значення навантажень на вісь транспортних засобів необхідно використовувати при:

- розрахунках конструкцій дорожніх одягів за ГБН В.2.3-37641918-559;
- контролі на пунктах вагового контролю (стаціонарних та пересувних);
- удосконаленні конструктивних схем автомобілів;
- розрахунку мостів та труб;
- розробці нормативних документів, так як на даний момент в Україні відсутній стандарт, який регулює нормативні навантаження та габарити автотransпортних засобів, що рухаються автомобільними дорогами України.

Дані виконаних досліджень використовувались в програмному комплексі СУСП при призначенні видів ремонту та виборі ділянок автомобільних доріг з визначеними видами ремонтів протягом 2006 – 2018 рр. В тому числі за 2017 – 2018 рр. виконано обстеження 23 тис. км доріг на загальну вартість 24 млн. грн. Загальна сума коштів необхідних для виконання поточного та капітального ремонтів становила 5 млрд. грн. (в цінах 2018 р.). Рациональний розподіл ресурсів на ремонт автомобільних доріг за даними вітчизняних та зарубіжних дослідників (Національний транспортний університет, ДП «Укрдіпродор» та ДП ДерждорНДІ», НДМ IV) дозволяє економити від 12 до 20 % коштів. Тому орієнтовний економічний ефект становить

Основні результати четвертого розділу опубліковані в матеріалах [2, 3, 13, 14, 16, 17, 19, 173, 186].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основний науковий результат дисертаційного дослідження полягає у розвитку теоретичних і практичних положень методу розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії навантаження від пневматичних коліс транспортних засобів.

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

1. Виконаний аналіз існуючих методів розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу при дії навантажень від транспортних засобів на покриття АДЗК показав, що при розрахунку надійності недостатньо враховано зміну таких параметрів навантаження, як: розподіл навантаження на вісь, тиск в пневматику, зміна інтенсивності руху та складу транспортного потоку.

2. Досліджено режими руху транспортних засобів автомобільними дорогами України за період 2005 – 2018 рр.

Удосконалено методику приведення короткочасної інтенсивності руху до середньодобової річної та встановлення сумарної кількості прикладання розрахунково-нормативного навантаження та встановлення необхідного модуля пружності.

Розроблено математичну модель визначення та прогнозування інтенсивності та складу транспортних потоків за результатами короткострокових спостережень (зміна інтенсивності руху протягом доби, тижня, в річному циклі, в багаторічному циклі в процесі експлуатації) та встановлено мінімальну (1 годину) та оптимальну тривалість (2 години) спостережень в залежності від необхідної точності розрахунків.

Удосконалено методику приведення короткочасної інтенсивності руху до середньодобової річної, яка полягає в підвищенні точності отримання достовірності даних з 50 % до 5 %, для подальшого встановлення сумарної кількості прикладання розрахункового нормативного навантаження та встановлення необхідного модуля пружності.

Отримано коефіцієнти приведення (за години обліку, дні тижня, в які виконують спостереження і місяці року) (1200 коефіцієнтів для кожного

автоматичного лічильника обліку транспортних засобів) для встановлення середньодобової річної інтенсивності руху для конкретного перегону автомобільної дороги.

Уточнено коефіцієнти приросту ($K_{прир}$) вантажних легких автомобілів коливається до 5 разів в різні роки відносно першого року експлуатації та має тенденцію до зменшення або практично не змінюється по роках. $K_{прир}$ вантажних середніх автомобілів зменшився більше як в 6 разів. В результаті аналізу встановлено, що за останні 10 років відбулась зміна складу парку транспортних засобів, зросла кількість вантажних важких автомобілів з напівпричепами з 2,81 до 7,37%, а з причепами знизилась з 3,41 до 1,51%.

Отримані результати використовують для встановлення сумарної кількості прикладання розрахунково-нормативного навантаження та розрахунку необхідного модуля пружності.

3. Розроблено моделі навантаження на конструкції дорожнього одягу на основі аналізу і синтезу даних зміни складу парку транспортних засобів, розподілу швидкості руху, частоти проїзду (інтервалу) різних типів чи груп транспортних засобів через дану ділянку дороги, та розроблено методику встановлення фактичних параметрів навантаження на покриття (розподіл навантаження на осі, тиск у пневматику тощо).

За результатами досліджень встановлено, що фактичні розподіли навантаження на вісь та тиск в пневматику відповідають нормальному закону (Гауса). Розрахункове навантаження на вісь становить: на одиночну вісь (115 – 135) кН, на здвоєну (180 – 210) кН та на строєну (240 – 260) кН при коефіцієнтах варіації відповідно 18,6 %, 19,4– 24 % та 15,1 – 18,6 %.

Розрахунковий тиск у пневматику коліс відповідно становить: (0,84 – 0,90) МПа при коефіцієнті варіації (3,2 – 9,4) %.

4. Експериментально визначено транспортно-експлуатаційні показники (виду та ступеня розвитку руйнувань, загальний модуль пружності, нерівності та коефіцієнта зчеплення) та їх неоднорідність на мережі автомобільних доріг для

підтвердження адекватності моделі оцінювання надійності з урахуванням моделі навантаження від сучасних ТЗ.

В процесі досліджень у ДП «Укрдіпродор» за період 2008 – 2017 рр. виконано обстеження покриття загальною протяжністю – 156920 км, а також у ДП «ДерждорНДІ» за період 2019 – 2020 рр – обстежень понад 700 км.

Встановлено середні значення та коефіцієнти варіації загального модуля пружності обстежених ділянок доріг. Встановлено що модуль пружності при коефіцієнті варіації до 15 % відповідають нормальному закону. Нерівність покриття за показником IRI не відповідає нормальному закону, так як коефіцієнт варіації (27 – 30) % та апроксимується законом Вейбулла. Дані використані у системі СУСП для призначення ремонтних заходів за період 2005 – 2018 рр.

Результати досліджень використовуються для підтвердження адекватності моделі розрахунку надійності з урахуванням моделі навантаження від сучасних транспортних засобів.

5. Удосконалено ймовірнісний метод оцінювання стану нежорсткого дорожнього одягу на основі даних багаторічних вимірювань, що дозволяє врахувати неоднорідність геометричних і фізико-механічних параметрів конструкції та їх зміну у часі за критеріями граничного стану (критерієм зсуву в ґрунті земляного полотна та незв'язних шарах, за критерієм розтягу при згині монолітних шарів, за критерієм допустимого пружного прогину (загального модуля пружності) з урахуванням розробленої моделі навантаження).

Виконано числовий експеримент оцінки впливу факторів на надійність дорожнього одягу за критеріями граничного стану на основі розроблених моделей навантаження та встановлені закономірності зміни коефіцієнта безпеки та коефіцієнта надійності від сумарної інтенсивності руху та товщини асфальтобетонних шарів. Отримані дані підтверджують закономірності руйнування дорожнього одягу в процесі експлуатації.

Встановлено, що найбільший плив на підвищення надійності дорожнього одягу має товщина асфальтобетонних шарів.

Найбільший вплив на зменшення надійності нежорсткого дорожнього одягу має навантаження на вісь та сумарна кількість прикладень розрахункового навантаження за термін служби дорожнього покриття.

6. Результати досліджень впроваджено при розробленні державних та галузевих нормативних документів, зокрема

ДСТУ 8824:2019 Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку (співавтор); М 02070915-711:2012 Методика з розрахунку зміни жорсткості та міцності пакету асфальтобетонних шарів в залежності від стохастичної зміни температурного режиму повітря в річному циклі; Р В.2.3-218-02070915-716:2007. Рекомендації з забезпечення експлуатаційної надійності конструкцій нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг України; Р В.2.3 – 21476215-803:2012 Рекомендації з розрахунку температурних полів і напружень в асфальтобетонних покриттях конструкцій нежорстких дорожніх одягів; МР В.2.3 – 02070915-848:2014 Методичні рекомендації встановлення параметрів розрахункового навантаження для проектування дорожніх одягів.

Результати наукових досліджень впроваджено у навчальний процес Національного транспортного університету під час підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» у лекційні курси з дисциплін «Матеріали та вироби для будівництва та експлуатації автомобільних доріг та аеродромів», «Надійність дорожніх споруд», лабораторні та практичні заняття, курсове і дипломне проектування, науково-дослідну роботу студентів.

Очікуваний економічний ефект від удосконалення методу оцінювання надійності дорожнього одягу на основі багаторічних спостережень за зміною інтенсивності руху та складу транспортного потоку та випробувань забезпечується скороченням транспортно-експлуатаційних витрат, збільшенням строку служби дорожнього одягу через повноту даних та урахування фактичної міцності та неоднорідності, можливістю оцінювання надійності конструкції дорожнього одягу, що забезпечує достовірність оцінки фактичного стану дорожнього одягу та сприяє розробленню обґрунтованих проектних рішень.

При необхідності збільшення коефіцієнту надійності понад 0,95, витрати на виконання ремонтних заходів зростають за експоненційною залежністю. Наприклад з 0,95 до 0,97 витрати зростають більше ніж на 20 %.

Запропонований метод підвищує точність розрахунку надійності нежорсткого дорожнього одягу та обґрунтованість проєктних рішень завдяки врахуванню багаторічних даних спостережень про ТЕС та неоднорідності конструкції дорожнього одягу з урахуванням уточненої моделі навантаження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

2. 1. Кушнір О.В., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Клімов Ю.М. Проектування конструкції дорожнього одягу для перевезення великовагових та великогабаритних вантажів дорогами України. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VIII(30), Issue: 244, 2020 Dec. С 53-58..
3. Gameliak I.P., Raikovsky V.F Оценка общего модуль упругости дорожной одежды по результатам полевых испытаний. *Modern Scientific Researches. Yolnat PE*, Minsk, Belarus Issue №12, Part 1, May 2020. С 53- 58.
4. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Аналіз транспортно-експлуатаційних показників стану автомобільних доріг державного значення. *Автошляховик України*. 2014. №1'237. С. 24 – 28.
5. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Експериментальне визначення навантаження на вісь транспортних засобів. *Автошляховик України*. 2014 № 3'239. С. 24 – 28.
6. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Встановлення експериментальних залежностей між параметрами навантаження на вісь і тиском у шинах транспортних засобів. *Автошляховик України*. 2014 № 6/242. С. 27 – 34.
7. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Аналіз зміни коефіцієнтів приросту інтенсивності транспортних засобів в часі для автомобільних доріг України. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. К.: НТУ, Вип. 94. 2015. С. 226 – 238.
8. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Встановлення параметрів режиму руху транспортних засобів для проектування дорожнього одягу. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. 2010. № 662. С 118 – 125.
9. Гамеляк І. П., Дмитриченко А. М., Нагайчук В.М., Райковський В.Ф., Биковець М. М. Особливості технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону. *Дороги і мости*. 2020. Вип. 22. 2020. С 63-78. DOI:<https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.063>.

10. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. К.: НТУ, Вип. 107. 2019. С. 13 – 22.
11. Журавський Д.Л., Райковський В.Ф. Методика оцінки якості фрезерованого асфальтобетону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. К.: НТУ, Вип. 68. 2003. С. 57-61.
12. Kerali, H.R., Robinson R., and Paterson W.D.O., (1998) The Role of New HDM-4 in Road Management. *Fourth International Conference on Managing Pavements, Durban, May 1998*. South Africa: University of Pretoria.
13. Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Якименко Я.М. Надійність конструкцій дорожнього одягу: К.: 2012. 206 с.
14. Ржаницын А.Р. Развитие в СССР вероятностных методов расчета сооружений. *Строительная механика и расчет сооружений*. 1967. № 4.
15. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. Москва : Стройиздат, 1978. 239 с.
16. Райзер В.Д. Теория надёжности сооружений: научное издание. Москва : Издательство АСВ, 2010. 384 с.
17. Кудзис А.П. Оценка надежности железобетонных конструкций. Вильнюс: Моклас, 1985. 155 с.
18. Дривинг А.Я. Рекомендации по применению экономико-статистических методов при расчетах сооружений с чисто экономической ответственностью. Москва : ЦНИИСК, 1972, 61 с.
19. Гамеляк І.П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу : автореф. дис. д-ра техн. наук. Київ, 2005. 33 с.
20. А. с. № 70301 від 07.02.2017. Методика встановлення загального модуля пружності (деформації) дорожнього одягу за результатами експериментальних випробувань / І.П. Гамеляк, Д.В. Волощук, Т.І. Коваль. Рішення про реєстрацію авторського права на твір № 70890 від 09.12.2016.
21. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. Київ, 2016. 75 с.

22. Чирков В.П. Вероятностные методы расчета мостовых железобетонных конструкций. Москва : Транспорт, 1980. 134 с.
23. Рокас С.Ю. Статистический контроль качества в дорожном строительстве. Москва : Транспорт, 1977. 152 с.
24. Золотарь И.А., Некрасов В.К., Коновалов С.В., Яковлев Ю.М., Коганзон М.С. *Повышение надежности автомобильных дорог*. Москва : Транспорт, 1977. 183 с.
25. Коганзон М.С., Яковлев Ю.М. Качество и надежность дорожного строительства: учебное пособие. Москва : МАДИ, 1981. 89 с.
26. Семенов В.А., Аксенов Б.Г., Козлов С.П. Расчет однородности дорожных одежд. Строительство и эксплуатация автомобильных дорог. Москва, 1979. № 170. С. 45-52.
27. Золотарь И.А. Методика количественной оценки надежности автомобильных дорог по прочности дорожных одежд // *Актуальные вопросы механики дорожных одежд*. - М.: Транспорт, 1977. - 183с.
28. Лантух-Лященко А.І. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. 1999. Вип. 57. С. 183-188.
29. Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании. Москва : Стройиздат, 1988. 584 с.
30. Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем. Москва : Мир, 1980. 604 с.
31. ISO 2394:2015. General principles on reliability for structures. 4th ed. 2015-03-01. URL: <https://www.sis.se/api/document/preview/918604/>.
32. Лантух-Лященко А.И. Развитие идей надежности в строительной. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2015. Вип 1. С. 2-8.
33. Стрелецкий Н.С. Об исчислении запасов прочностисооружений. *Труды Моск. инж.-строит. ин-та*. 1938. Вип 1. С. 4–32.
34. Стрелецкий Н.С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений. Москва : Стройиздат, 1947. С. 94.

35. Ржаницын А.Р. Применение статистических методов в расчетах сооружений на прочность и безопасность. *Строительная промышленность*. 1952. Вып. 6.
36. Ржаницын А.Р. Расчет сооружений с учетом пластических свойств материала. Москва : Стройвоенмориздат. 1949.
37. Ржаницын А.Р. Статистический метод определения допускаемых напряжений при продольном изгибе. Москва : Стройиздат. 1951. Вып. 3.
38. Mayer M. Die Sicherheit der Bauwerte und ihre Berechnung nach Granz kraften statt nach zulassigen Spannungen. *Springer Verlag*. Berlin. 1926.
39. Чирков В.П. Вероятностные методы расчета мостовых железобетонных конструкций. Москва : Транспорт, 1980. 133 с.
40. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике. Москва : Стройиздат, 1965.
41. Cornell C.A. A Probability Based Structural Code. *ACI-Journal*. 1969. Vol. 66, No. 12. P. 974–985.
42. Melchers R.E. Structural Reliability Analysis and Prediction. Second Edition. New York : John Wiley & Sons. 1999.
43. Melchers R.E. Reliability of parallel structural systems. J. Structural Div., ASCE. 1983. № 109 (11). P. 2651–2665.
44. Gnedenko B.V. Sur la distribution limit du terme maximum dune serie aleatoir. *Ann. of Math.*, 1943. № 44. P. 423–453.
45. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. Москва : Наука, 1988. 448 с.
46. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. Москва : Наука, 1965. 524 с.
47. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. Москва: Машиностроение, 1984.
48. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Москва: Стройиздат, 1971.
49. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. Москва : Машиностроение, 1984.

50. Коваленко И.Н. Исследования по анализу надежности сложных систем. Київ: Наукова думка, 1975. 181 с.
51. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического уравнения. Изд. 3-е, испр. Москва : Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1962. 883 с.
52. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. Москва: Наука, 1968. 464 с.
53. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. Москва : Ассоциация строительных вузов, 1998. 304 с.
54. Freudenthal F.M. Safety, reliability and structural design. J. of Structural. Div. Proc. ASCE, 87 ST3, 1961.
55. Rzhantzyn R. It is Necessary to Improve the Standards of Building Structures, A Statistical Method of Design of Building Structures. Allan, D.E. (transl.), Technical Translation No. 1368, National Research Council of Canada, Ottawa, 1957.
56. Basler E. Untersuchungen über den Sicherheitsbegriff von Bauwerken. *Schweitzer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik*, 1961, № 4.
57. Thoft-Christensen P., Baker M.J. Structural Reliability Theory and Its Applications. Springer Verlag : Berlin Heidelberg, 1982. DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-642-68697-9>.
58. Ditlevsen O., Madsen H.O. Structural Reliability Methods. John & Wiley Sons Ltd, 1996. 384 p.
59. EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design. European Committee for Standardization. Brussels: 2002. 119 p.
60. A.M. Hasofer, M.C. Lind. An Exact and Invariant First Order Reliability Format. *Journal of Engineering Mechanics*, 1974. Vol. 100. P. 111–121.
61. Venziano D. New index of reliability. *Journal of Engineering Mechanics*. 1979. Vol. 105. P. 277-296.
62. Turkstra C. Theory and Structural Design. SM Study No. 2. Solid Division Mechanics : University of Waterloo. Canada. 1970.

63. Veneziano D. Contributions to Second Moment Reliability Theory. Res. Rept. R 74-33. Dept. of Civil Eng., MIT. Cambridge. USA. 1974.
64. Хоциалов Н.Ф. Запасы прочности. Строительная промышленность. Москва. 1929. Вып. №10. С. 10-15.
65. H.O. Madsen, S. Krenk, N.C. Lind. Methods of Structural Safety. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall. 1986. P. 403.
66. Jörg Schneider, Ton Vrouwenvelder. Introduction to Safety and Reliability of Structures. 3rd reviewed and extended Edition. IABSE. Zurich, 1997. 164 p.
67. Богданофф Дж., Козин Ф. Вероятностные модели накопления повреждений. Москва : Мир. 1989. 344 с.
68. Bogdanoff J.L., Kozin F. Probabilistic models of cumulative damage. New York : Wiley-Interscience. 1985. 352 p.
69. D. Sorensen. Reliability Based Optimization of Structural Systems. *System Modelling and Optimization* : Proceedings of the 13th IFIP conference. Tokyo, Japan. 31 Aug - 4 Sep 1987. Vol. 113.
70. J.D. Sorensen, I.B. Kroon, M.H. Faber. Optimal Reliability Based Code Calibration. *Structural Safety*. 1994. Vol. 15. Issue 3. P. 197–208. URL: [https://doi.org/10.1016/0167-4730\(94\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0167-4730(94)90040-X).
71. M. Stewart, R.E. Melchers. Probabilistic Risk Assessment of Engineering Systems. Springer Netherlands : Springer Science+Business Media B.V. 1997. 274 p.
72. M.H. Faber, J.D. Sorensen. Reliability based code calibration: The JCSS approach. *Applications of statistics and probability in civil engineering* : Proceedings of the 9th international conference on applications of statistics and probability in civil engineering. San Francisco, Californien. 6-9 Jul 2003. Vol. 2. P 927-935. URL: <http://www.jcss.byg.dtu.dk>.
73. J. Ferry Borges, M. Castanheta. Structural Safety. Lisbon: Laborat rio Nacional de Engenharia Civil, 1971. 326 p.
74. J. Schneider, Hanspeter Schlatter. Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. Grundwissen für Ingenieure. VDF Hochschul-Verlag an der ETH Zürich. 1996. URL: <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/153215>.

75. R. Rackwitz. Static properties of reinforcing steel. Working notes, JCSS Probabilistic Model Code. Part 3 : Resistance model, 1996 <http://www.jcss.byg.dtu.dk>.
76. Probabilistic Model Code ISBN 978-3-909386-79-6. URL: <https://www.jcss-lc.org/jcss-probabilistic-model-code/>.
77. ISO 2394: 1998. General principles on reliability for structures. 2nd ed. 1998-06-01. 73 p. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/0c1346b1-d70c-4c56-a967-2aa55ee1e50e/iso-2394-1998>.
78. I. M. Holicky, J. Markova, M. Sykora. Partial factors for assessment of existing reinforced concrete bridges. Proceedings of the 6th International Probabilistic Workshop. Darmstadt, Germany. 2008. P. 117-133.
79. Rationalization of Safety and Serviceability Factors in Structural Codes. CIRIA : report 63. 1977. URL: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:bc37e528-35de-47c7-a944-5a13dff80623>.
80. Ditlevsen O. Generalized second moment reliability index. Journal of Structural Mechanics. 1979, Vol. 7. Issue 4. pp. 435–451. URL: <https://doi.org/10.1080/03601217908905328>.
81. J.A. Calgaro. Introduction aux Eurocodes. Securite des Construction et Bases de la Theorie de la Fiabilite. Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées. 1996. 337 p.
82. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Київ. 2009. 32 с
83. ДСТУ-Н Б EN 1990:2008 Єврокод. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT). Київ. 2009.
84. ДСТУ-Н Б.В.1.2-16:2013 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва. Київ. 2013. 32 с.
85. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ. 2013.
86. Гордеев В.Н., А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. 3-е изд., перераб. Москва : Издательство С. 2009. 528 с.

87. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций : научное издание. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов. 2007. 254 с.
88. Пичугин С.Ф. Махинько А.В. Ветровая нагрузка на строительные конструкции : монография. Полтава : Издво«АСМІ», 2005. 342 с.
89. Пичугина С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий. Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов. 2011. 456 с.
90. Урдзік С.М. Оцінювання стану нежорсткого дорожнього одягу із залученням георадарної діагностики : дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2019. 300 с.
91. Урдзік С.М. Батракова А.Г. Моделювання впливу заходів щодо посилення конструкцій дорожніх одягів з підповерхневими тріщинами. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2018. № 4(94). С 110 – 116.
92. Alsherri. A. and George K. P. (1988). Reliability Model for Pavement Performance.” *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 114, No. 2, pp. 294-306.
93. Baecher, G. B. and Christian, J. T. (2003b). *Reliability and statistics in geotechnical engineering*. Wiley, Chichester, U. K.
94. Burmister, D. M. (1945). “The general theory of stresses and displacements in layered system.” *J. Appl. Phys.*, 16, pp. 89-94.
95. Bush, D. *Incorporation of Reliability into mechanistic-empirical pavement design in Washington and California*. <http://courses.washington.edu/kckapur/526/526projects/Dbush.pdf>, last visited: 15th may, 2004.
96. Brunton, J. M., Brown, S. F. and Pell, P. S. (1987). “Development to the Nottingham analytical design method for asphalt pavements.” *Proceedings of 6th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements*, Vol. I, ISAP, pp. 366-377.
97. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ. 2012. 59 с.
98. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организация движения : учеб. Москва : Транспорт, 1977. 303 с.
99. Рутенбург М.С., Павлова А.К., Романов М.Б. Метод определения интенсивности движения транспортных средств по выборочному учету.

Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов. Минск : Наука и техника. 1971. С. 246 - 252.

100. Малышев А.В., Гречнева М.В. Методические указания по определению интенсивности движения на автомобильных дорогах Сибири. Омск, 1986. С. 3 – 4.

101. Толстиков Н.П., Ивасик В.Б. Определение интенсивности движения статистическим методом. Автомобильные дороги. 1988. Вып. № 10. С. 15 - 17.

102. Ситников Ю.М. Учет особенностей смешанного движения при обеспечении безопасности движения на дорогах с двумя полосами движения. *Труды Московского автомобильно-дорожного института.* Москва, 1970. Вып. № 30. С. 9 - 19.

103. Шилакадзе Т.А., Левит А.А., Жданов В.К., Бериашвили Г.К. Определение суточной интенсивности движения экспресс способом. *Автомобильные дороги.* 1988. Вып. № 6. С. 15.

104. Кожемяко М.В. Методика учета и определения суточной интенсивности движения. *Автомобильные дороги и аэродромы.* 1969. Вып. № 6. С. 22 - 23.

105. 1 Менделев Г.А. Закономерности изменения во времени интенсивности городского автомобильного движения. *Сборник научных трудов МАДИ (ГТУ): «Проектирование автомобильных дорог».* Москва, 2002. С. 105 - 110.

106. Кизима С.С., Лихоступ М.М. Створення системи управління станом дорожнього одягу із цементобетонним покриттям. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.* Київ, 2017. Вип. 99. С. 77-89.

107. Кизима С.С., Лихоступ М.М. Рекомендації по використанню СУСП для планування ремонтних робіт. Київ : Укравтодор. 2002. 18 с.

108. Кизима С.С., Канін О.П., Лихоступ М.М., Андрєєв С.І. Загальна характеристика української системи управління станом нежорстких дорожніх одягів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : науково-технічний збірник.* Київ, 2001. Вип. 62. С. 76-80.

109. Канін О.П., Діденко В.В. Аналіз вартості життєвого циклу автомобільних доріг. Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. Київ, 2012. Вип. 9. С. 67-71.

110. Канін О.П. Інформаційно-аналітична система управління дорожнім господарством на основі веб-технології. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. Київ, 2016. Вип. 95. С. 129-142.
111. Ігнатюк В.В. Управління програмами ремонтів дорожнього одягу автомобільних доріг : автореф. дис. канд. техн. Наук. Київ, 2015. 23 с.
112. Шуляк І.С. Обґрунтування параметрів випробувального обладнання для оцінювання колієстійкості дорожніх конструкцій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. Київ, 2017. Вип. 99. С. 114-124.
113. Christopher R. Bennett, William D.O. Paterson. A Guide to Calibration and Adaptation. *HDM-4. Manual, Volume-5*. HDM Global publications. PIARC. 1999. P. 229. URL: <https://ru.scribd.com/document/216302491/2000-Bennett-Paterson-Calibration-Guide>.
114. Oldřich Kropáč, Peter Múcka. Estimation of road waviness using the IRI algorithm. *Strojnícky casopis – Journal of Mechanical Engineering*. 2004. Vol. 55 (5). P. 308-313.
115. Mr Gerrie D van Zyl, Mrs Sophia B Tekie. HDM4 Versus Local Namibian Experience – Best of Both Practices Implemented. 7th International Conference on Managing Pavement Assets, 2008. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.652.5519&rep=rep1&type=pdf>.
116. Смолянчук Р.В., Биценко Ю.П. Роль пересувних дорожніх лабораторій в структурі управління станом автомобільних доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. Київ, 2013. Вип. 90. С. 149-153.
117. Р В.2.3-218-02071168-385-2004. Рекомендації щодо оцінки рівності дорожніх покриттів у відповідності з міжнародним індексом рівності IRI. Харків – Київ. 2004.
118. ТР 218-02071168-325:2008. Технологічний регламент з діагностики автомобільних доріг методом сканування. Харків - Київ. 2008.
119. Смолянчук Р.В., Смолянчук Н.В., Штефан О.М. Визначення рівності дорожнього покриття на штучних спорудах. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. Київ, 2017. Вип. 99. С. 98-105.

120. Савенко В.Я., Кияшко Д.И., Смоляннюк Р.В. Международный опыт оценки ровности поверхности дорожных покрытий. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. Київ, 2011. Вип. 82. С. 34-42.
121. Р В.3.1-218-02071168-733:2008. Рекомендації з технології сканування покриттів автомобільних доріг. Харків - Київ. 2008.
122. СОУ 45.2-00018112-042:2009. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів. Київ. 2009.
123. Tim Breemersch, Sebastiaan Boschmans (Transport & Mobility Leuven), Valerii Vyrozhemskyi, Taras Pechonchyk, Vitalii Raikovskiy, Petro Koval, Ihor Gameliak (DNDI), Simona Fontul, João Lourenço Cardoso, Sandra Vieira Gomes (LNEC), Iain Knight (Apollo Vehicle Safety) Overweight vehicles. Impact on road infrastructure and safety. Report for: PIARC La Grande Arche – Paroi Nord – Niveau 2 92055 La Défense Cédex France.
124. Райковський В.Ф. Аналіз стану автомобільних доріг за критерієм нерівностей (Міжнародний індекс IRI). *Сучасні матеріали та технології для будівництва та ремонту автомобільних доріг* . Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції. 6-7 листопада 2019 м. Київ. С. 44 - 46.
125. Коновалов С.В., Радовский Б.С., Билан О.О. Применение метода статистических испытаний к оценке надежности и качества дорожных одежд. *Автомобильные дороги в дорожном строительстве*. Киев, 1977. Вып. 21. С. 63–67.
126. Пузакова Н.А., Золотарь И.А., Сиденко В.М. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Москва : Транспорт, 1971. 416 с.
127. Пахомов А.А., Радовский Б.С. О влиянии вариации модулей упругости и толщины слоев на напряженно-деформированное состояние многослойной дорожной одежды. В кн. Совершенствование методов проектирования дорожных одежд нежесткого типа. Москва, 1983. С. 129–133.
128. Коновалов С.В., Радовский Б.С. К оценке надежности дорожных покрытий с учетом повторности воздействия нагрузок. Москва : *Труды МАДИ*, 1974. Вып. 84. С.11–18.
129. Семенов В.А. Качество и однородность автомобильных дорог. Москва : Транспорт, 1989. 125 с.

130. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска. Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 1994. Ч 2. 232 с.
131. Столяров В.В. Введение в теорию риска. *Повышение эффективности эксплуатации транспорта* : межвуз. науч. сб. Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2003. С. 118–139.
132. Радовский Б.С. Сердюк А.В. Прогнозирование закономерностей изменения состояния дорожной одежды. *Автомобильные дороги*. 1994. № 7. С. 19–22.
133. Батракова А.Г., Урдзик С.Н. Критерии оценки состояния дорожных одежд по результатам диагностики. *Вісник ХНАДУ* : зб. наук. пр. Харків, 2015. Вип. 68. С. 92 – 98. (Видання входить до наукометричної бази Index Copernicus).
134. Батракова А.Г. Показатель технико-эксплуатационного состояния дорожных одежд транспортных сооружений. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, ХОТБ АБУ, 2016. № 1(83). С.130-134.
135. Батракова А.Г. Оцінка техніко-експлуатаційного стану дорожнього одягу. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*: науково-технічний збірник. Київ, 2016. Вип. 98, С. 11-21.
136. Батракова А.Г., Урдзик С.Н., Батраков Д.О. Моделирование и оценка состояния дорожных одежд со сквозными трещинами в покрытии. *Вісник ХНАДУ*: зб. наук. пр., 2019. Вип. 85. С. 49-58.
137. Батракова А.Г., Урдзик С.Н., Батраков Д.О. Динамические и эконометрические модели прогнозирования состояния автомобильных дорог. *Вісник ХНАДУ*: зб. наук. пр., 2019. Вип. 85. С. 59-65.
138. Батракова А.Г., Урдзик С.Н. Постановка задачи оценки состояния нежесткой дорожной одежды. *Вісник ХНАДУ*: зб. наук. пр., 2020. Вип. 90. С. 125-134. (категорія «Б» <https://openscience.in.ua/ab-journals>, Index Copernicus).
139. Angelika G. Batrakova, Vladimir V. Troyanovsky, Dmitry O. Batrakov, Maryna O. Pilicheva. Prediction of the Road Pavement Condition Index Using Stochastic Models. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*. Warsaw : Road and Bridge Research Institute, 2020. № 19. Vol 3. P. 225-242.

140. Angelika Batrakova, Dmitry Batrakov, Mariya Antyufeyeva, Maryna Pilicheva. UWB Signal Processing for the Road Pavements Assessment. *Proceedings 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. Lviv, Ukraine, 2019, July 2-6. P. 192-195. DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879866.
141. Батракова А.Г. Методологія моніторингу дорожніх одягів нежорсткого типу із застосуванням георадіолокаційних технологій : дис. ... д-ра техн. наук. Харків, 2014. 390 с.
142. Батракова А.Г., Урдзик С.Н. Влияние положения нагрузки на напряженно-деформированное состояние конструкции дорожной одежды. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві* : зб. наук. пр. Луцьк, 2017. Вип. 6. С. 16 – 25.
143. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. Москва : Транспорт, 1982. 250 с.
144. Білятинський О.А., Старовойда В.П., Хом'як Я.В. Проектування автомобільних доріг : підруч. у 2 ч. Ч 2. Київ : Вища школа, 1998. 350 с.
145. Гамеляк І.П. Надійність встановлення розрахункових параметрів навантаження на конструкції дорожніх одягів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. Київ, 2009. Вип. 76. С. 3-13.
146. Радовський Б.С., Супрун А.С., Козаков И.И. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей. Киев : Издательство «Будівельник», 1989. 168 с.
147. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. Київ : Знання України, 2008. 175 с.
148. Лозниця В.В., Вортингтон Дж., Буланов О.К. Автоматизований облік транспортних потоків. *Автошляховик України*. Київ, 2000. №3. С. 46-47.
149. ДБН В.2.3-4: 2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 113 с.
150. Углова Е.В., Николенко Д.А., Конорев А.С. Методы оценки динамических перегрузок. *Известия Орловского ГТУ*, Серия «Строительство. Транспорт». 2008. № 4/20 (551). С. 82-87.

151. Дровалева О.В., Конорев А.С., Шилов О.А. Учет влияния характеристик транспортного потока при оценке усталостной долговечности асфальтовых покрытий. *«Строительство - 2010»* : Международная научно-практическая конференция. Ростов-на-Дону : РГСУ, 2010. С. 26 - 27.
152. Конорев А.С. Анализ характеристик транспортного потока для совершенствования методики учета нагрузок от транспортных средств при расчете дорожных конструкций. *Вестник Волгогр. государственного архитектор-строит. ун-та*. Волгоград, 2011. Вып. 22 (41). С. 26-32.
153. Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation. *Final report*.
154. Райковський В.Ф. Частота проїзду (інтервал) транспортних засобів на автомобільних дорогах загального користування. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ : НТУ, 2020. С. 224.
155. ГОСТ 5513-97. Шины пневматические для грузовых автомобилей, прицепов к ним, автобусов и троллейбусов. Технические условия. Минск, 1997. 30 с.
156. Таблица соответствия нагрузки скорости и давления в шинах. URL: <http://www.all-tyres.ru/news/detail.php?ID=137696>.
157. Про автомобільні дороги: Закон України від 08.09.2005 N 2862-IV, редакція від 17.10.2019 N 200-IX. База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2862-15#Text>.
158. Протяжність і характеристика автомобільних доріг загального користування на 1 січня 2011 року. *Бюлетень Державної служби автомобільних доріг України "Укравтодор"*. Київ, 2011.
159. ДСТУ 3587–97 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. Київ, 1997. 24 с.
160. Ilchenko V., Mischenko R., Kozar V., Kozar L. (2016). Operational quality control methods improvement for evenness of road pavement surface. *Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка*. Полтава, 2016. Вип. 1(46). С. 239-245.

161. Talakh S., Dubyk O., Lysnytska K., Ilchenko V. (2019). Numerical simulation of hard airdrome coatings stress-strain state when interacting with weak ground base. *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво.* – П.: ПолтНТУ, 2019. – № 1 (52). – С. 124-132.
162. Talakh S., Dubyk O., Bashynska O., Ilchenko V. (2020) Some Technical Solutions for the Use of Aerodrome Pavements in the Soft Soil Conditions. *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations «ICBI 2019». Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 73. 303-311
163. Кіяшко І.В., Смоляннюк Р.В., Новаковський Д.М., Пархоменко О.Ю., Діагностика стану покриттів новітніми ходовими дорожніми лабораторіями: сучасний стан та перспективи розвитку. *Автошляховик України*. Київ, 2018. № 67. С. 31-36.
164. ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. Київ, 2019. 63 с.
165. Gameliak I.P., Raikovsky V.F. Change of coefficients of growth and composition Of the flow of transport in transport of Ukrainian roads. *Міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні конструкції та інноваційні будівельні матеріали»* (14 травня 2020 року м. Херсон). Херсон, 2020. С 8-12.
166. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Уточнення методики приведення транспортних засобів до розрахункового навантаження. *LXX НТК професорсько-викладацького складу, аспірантів студентів та співробітників НТУ: тези доповідей*. К.: НТУ, 2014. С. 197.
167. Гамеляк І.П., Райковський В.Ф. Встановлення параметрів розрахункового навантаження для проектування дорожніх одягів. *LXXI НК професорсько-викладацького складу, аспірантів студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів НТУ: тези доповідей*. К.: НТУ, 2015. С. 217.
168. М 02070915-711:2012 .Методика з розрахунку зміни жорсткості та міцності пакету асфальтобетонних шарів в залежності від стохастичної зміни температурного режиму повітря в річному циклі. Київ, 2012.

169. Р В.2.3 – 21476215-803:2012 Рекомендації з розрахунку температурних полів і напружень в асфальтобетонних покриттях конструкцій нежорстких дорожніх одягів. Київ, 2012.

170. Райковський В.Ф. Апробація технології віброрезонансного руйнування цементобетонного покриття на об'єктах великого будівництва. *Сучасні інноваційні рішення для реалізації національної програми «Велике будівництво»*. Міжнародна науково-практична конференція. 11-12 листопада 2020 м. Київ.

171. Райковський В.Ф. Встановлення параметрів розрахункових навантажень на конструкції дорожнього одягу. *LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів студентів та структурних підрозділів НТУ*: тези доповідей. К.: НТУ, 2010. С. 134.

172. МР В.2.3–02070915-848:2014. Методичні рекомендації зі встановлення параметрів розрахункового навантаження для проектування дорожніх одягів. Київ, 2014. 34 с.

173. Гамеляк І.П., Островерхий О.Г. Чисельний аналіз напружено-деформованого стану тонкошарових покриттів дорожнього одягу. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. Київ, 2001. Вип. 61. С. 118-126.

174. ДСТУ 8824:2019. Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2019.

175. ПОР-218-141-2000. Порядок обліку руху транспортних засобів на автомобільних дорогах загального користування. Київ, 2001. 12 с.

176. М 218 05416892-409-2004. Методика економічних вишукувань для проектування автомобільних доріг. Київ, 2004.

177. М 218-02070915-674:2010. Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг. Київ, 2010.

178. МР А.2.1-218-02070915-729:2008. Методичні рекомендації з визначення існуючої та прогнозування перспективної інтенсивності руху. Київ, 2008.

179. М 218-02070915-458:2006. Методика оцінки вихідних даних для розробки техніко-економічних обґрунтувань будівництва та реконструкції автомобільних доріг. Київ, 2006.
180. М 218-02070915-660:2009. Методика соціально-економічного обґрунтування реконструкції та капітального ремонту окремих ділянок автомобільних доріг. Київ, 2009.
181. Технічна підтримка Укравтодору та приватних будівельних компаній. EDUR 9701. Технічний звіт 21. "Економічні аспекти системи управління дорожніми одягами". Київ, 2000. 36 с.
182. Кизима С.С., Андреев С.І. Призначення робіт по ремонту дорожніх покриттів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. Київ, 1992. Вип. 50. С. 29-33.
183. Красиков О.А. Обоснование стратегии ремонта нежестких дорожных одежд : автореф. дис д-р.техн.наук. Москва, 2000. 44 с.
184. Henry G.R. Kerali. HDM – 4. Highway Development & Management. Volume one. Overview of HDM – 4. PIARC : World Bank Association, 2000. 53 p. URL: https://docuri.com/download/volume-1_59c1ca8af581710b28605fd2_pdf
185. Гамеляк І.П. Методика оптимізації надійності конструкцій дорожніх одягів. *Вісник Національного транспортного університету та Транспортної академії України*. Київ, 2002. Вип. 6. С. 69–75.
186. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей.- М.: Радио и связь, 1983. 416 с.
187. Р В.2.3-218-02070915-716:2007. Рекомендації з забезпечення експлуатаційної надійності конструкцій нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг України. Київ. 2007.
188. Рейцен Е.А. Надежность обследований интенсивности движения в городах. Градостроительство. Киев : Будівельник, 1983. Вып. 35. С. 87-90.
189. Рейцен Е.А. Проведение обследований интенсивности движения транспорта в городах Украины. *Материалы XI Международной (четырнадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции*. Екатеринбург, 2004.

190. Радовский Б.С., Мерзликин А.Е., Попов Ю.Н. ОДМ 218.2.062-2015 Рекомендации по определению параметров расчетных нагрузок для современных транспортных средств. Москва: РосдорНИИ, 2014. 31 с.

191. Теляев П.И., Смирнов Ю.И. Обоснование значений динамического коэффициента к нагрузке применительно к расчету дорожных одежд. *В кн.: Совершенствование конструкций и методов проектирования дорожных одежд.* Москва: Труды Союздорнии, 1979. с.19-27.

192. Papagiannakis A.T., Masad E.A. Pavement materials and design. Hoboken, N.J.: John Wiley, 2008. 542 p.

193. Речицкий В.И. Весогабаритный контроль автотранспорта. Москва : Фонд «Наука и жизнь», 2014. 196 с.

194. Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation. Final report

ДОДАТОК А

ПРИВЕДЕННЯ ВІЗУАЛЬНОГО ОБЛІКУ ДО СЕРЕДНЬОРІЧНОЇ ДОБОВОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ КОЕФІЦІЄНТІВ ПРИВЕДЕННЯ ДАНИХ ОТРИМАНИХ З ЛІЧИЛЬНИКІВ АВТОМАТИЧНОГО ОБЛІКУ РУХУ

Запропонована методика приведення коротко часового візуального обліку (від однієї години) до середньорічної добової інтенсивності руху за допомогою коефіцієнтів приведення даних отриманих з лічильників автоматичного обліку руху встановлених на автомобільних дорогах державного значення України у кількості 220 шт. Дана методика знайшла своє відображення в ДСТУ 8825 (у якому дисертант є співавтором).

За даними лічильника яких пропрацював 1 рік отримують 1200 коефіцієнтів, які враховують місяць, день тижня, годину обліку та тип транспортного засобу згідно міжнародної класифікації Євро 6 за допомогою яких можна отримати середньодобову річну інтенсивність руху транспортних засобів, як по типах так і по потоку транспортних засобів. Дана кількість лічильників надає адекватну картину інтенсивності руху на протязі року та охоплює 40 % мережі автомобільних доріг.

Також з даних лічильників можна отримати дані про розподіл швидкості транспортних засобів та їх довжини.

A.1 Порядок проведення визначення коротко стокової інтенсивності.

1. Визначення інтенсивності руху (складу транспортного потоку) необхідно заповнити бланк обліку транспортних засобів рис 1 - назву дороги, місцезнаходження обліковця (км+м), дату, день тижня, час початку спостереження.

2. Після закінчення слід відмітити час та тривалість підрахунку.

3. Для підрахунку інтенсивності руху достатньо однієї людини, а у випадку інтенсивного руху на дорогах з 4 та більше смугами руху – двох людей.

4. Під час стаціонарних підрахунків слід рахувати ТЗ прямого і зворотного напрямків руху. Під час підрахунку із автомобіля який рухається – тільки зустрічні автомобілі в т.ч. і ті що стоять на узбіччі.

5. Для зручності обліку використовують умовні знаки (крапки та риси «закритого конверту»), кожен з яких відображає 10 автомобілів «приклад наведено на рисунку А.1»

6.



4 автомобілі



6 автомобілів



10 автомобілів

Примітка: ● або — відповідають 1 автомобілю

Рисунок А.1 – Умовні позначення для підрахунку інтенсивності руху.

7. Після закінчення спостереження підраховують сумарну кількість автомобілів за період спостереження (за необхідності визначення складу руху, інтенсивність обліковують окремо по типах ТЗ та визначають їх відсоток). Інтенсивність руху за добу ($N_{\text{добу}}$) розраховується за формулою (А.1):

$$N_{\text{добу}} = \frac{N_{\text{год}}}{K_1 \cdot \sum K_3}, \quad (\text{А.1})$$

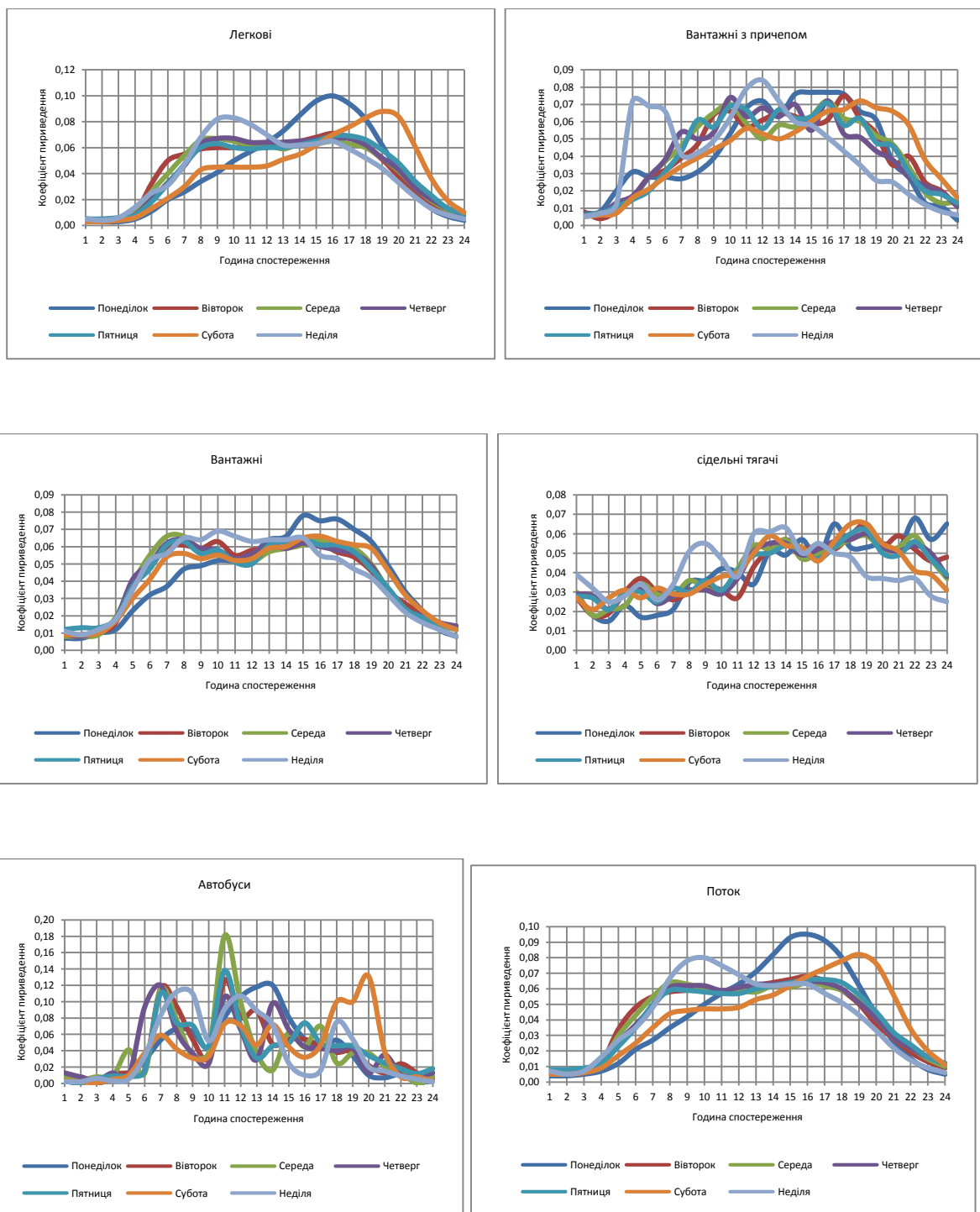
де $N_{\text{год}}$ – інтенсивність за годину, авт/годину;

K_1 – коефіцієнт зміни інтенсивності руху за місяцями року.

K_3 – коефіцієнт зміни інтенсивності руху за годинами доби та днях тижня.

8. Визначення середньодобової інтенсивності руху виконується камерально з використанням поправочних коефіцієнтів K_1 та K_3 . Щоб похибка вимірювань не перевищувала 5 % вимірювання необхідно проводити протягом двох годин [153].

Примітка: Стационарно – підраховують всі автомобілі в двох напрямках, а під час руху (автомобіль рухається із швидкістю потоку) – тільки зустрічні автомобілі, в тому числі і ті, що стоять на узбіччі.



б) K_3 — зміна годинних коефіцієнтів по днях тижня

Рисунок А.3 – Зміна коефіцієнтів приведення K_1 та K_2 для даних отриманих з лічильника автоматичного обліку руху транспортних засобів на автомобільній дорозі Н-07 Київ – Суми - Юнаківка (на Курськ), км - 77, Нова Басань

Склад транспортного потоку визначавсь за формулою

$$N_{\text{тип_трансп}} = \frac{N_i}{N_{\text{поток}}} \cdot 100\% , \quad (\text{A.2})$$

де $N_{\text{тип_трансп}}$ – відсоток певного типу транспортних засобів в складі руху, %;

N_i – кількість i -тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) на розрахунковій ділянці, авт./добу;

$N_{\text{поток}}$ – загальна кількість транспортних засобів на розрахунковій ділянці, авт./добу.

Зміну складу транспортного потоку по роках визначалась за формулою

$$N_{\text{прир_інт}} = \frac{N_i \%}{N_{i-1} \%}, \quad (\text{A.3})$$

де: $N_{\text{прир_інт}}$ – коефіцієнти приросту по типу i -тих транспортних засобів по відношенню до попереднього року;

$N_i \%$ – кількість i -тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) за розрахунковий рік, %;

$N_{i-1} \%$ – кількість i -тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) за попередній рік, %.

Зміну складу транспортного потоку до початкового року спостереження роках визначалась за формулою

$$N_{\text{прир_інт_поч}} = \frac{N_i \%}{N_{\text{баз_спост}} \%}, \quad (\text{A.4})$$

де: $N_{\text{прир_інт_поч}}$ – коефіцієнти приросту по типу i -тих транспортних засобів по відношенню до базового (початкового) року;

$N_i \%$ – кількість i -тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) за розрахунковий рік, %;

$N_{\text{баз}_\text{спост}}$ – кількість i -тих транспортних засобів розрахункового типу (легкові, автобуси, вантажні тощо) за базовий (початковий) рік, %.

Про розкид коефіцієнтів перерахунку на середньорічну добову інтенсивність руху можна робити висновки з таблиці, де для прикладу приведено обробку даних для а/д Н-07 Київ-Суми-Юнаківка, км. 77, с. Нова Босань, Чернігівській обл.

На даний час спостерігається коливання інтенсивності руху та навантаження на вісь з подальшою зміною складу автопарку, що призводить до зміни вимог до транспортно-експлуатаційних показників які необхідно переглядати.

В даній роботі для виконання статистичної обробки використовувались дані:

1. Визначення інтенсивності, що виконується візуальним способом, шляхом заповнення форми наведеної на рис. А.2.

Інтенсивність визначається протягом 2 год.

Приведення годинної інтенсивності до середньодобової річної визначається за формулою ДП «Укрдіпродор» (А.5)

$$N_{\text{доб}} = \frac{N_{\text{год}}}{K_1 \cdot K_3}, \quad (\text{А.5})$$

де $N_{\text{год}}$ – інтенсивність годинна;

K_1 – коефіцієнт що враховує помісячний розподіл інтенсивності (додаток Б таблиця Б.2);

K_3 – коефіцієнт який враховує розподіл інтенсивності в залежності від години обліку та дня тижня (додаток Б таблиця Б.2);.

Якщо інтенсивність визначалась протягом декількох годин то необхідно скласти коефіцієнти K_3 .

А.2. Оцінка точності визначення інтенсивності руху

Оцінка точності визначення середньорічної добової інтенсивності руху існуючими методами виконана на основі даних спостережень за рухом

автотранспорту на основних автомобільних дорогах Волгоградської області (рис. А.1.2).

Отримані результати дозволяють виконати аналіз існуючих методів по виділеним групам:

Розрахункові методи першої групи. Помилка точності розрахунку методу М. С. Рутенбурга, А. К. Павлова, М. Б. Романова становить (1 – 6) %. Незначні відхилення фактичних значень від справжніх говорять про подібність закономірностей зміни інтенсивності на дорогах Казахстану і Волгоградської області, а так само розрахунок інтенсивності руху з урахуванням сезонів року і категорії дороги.

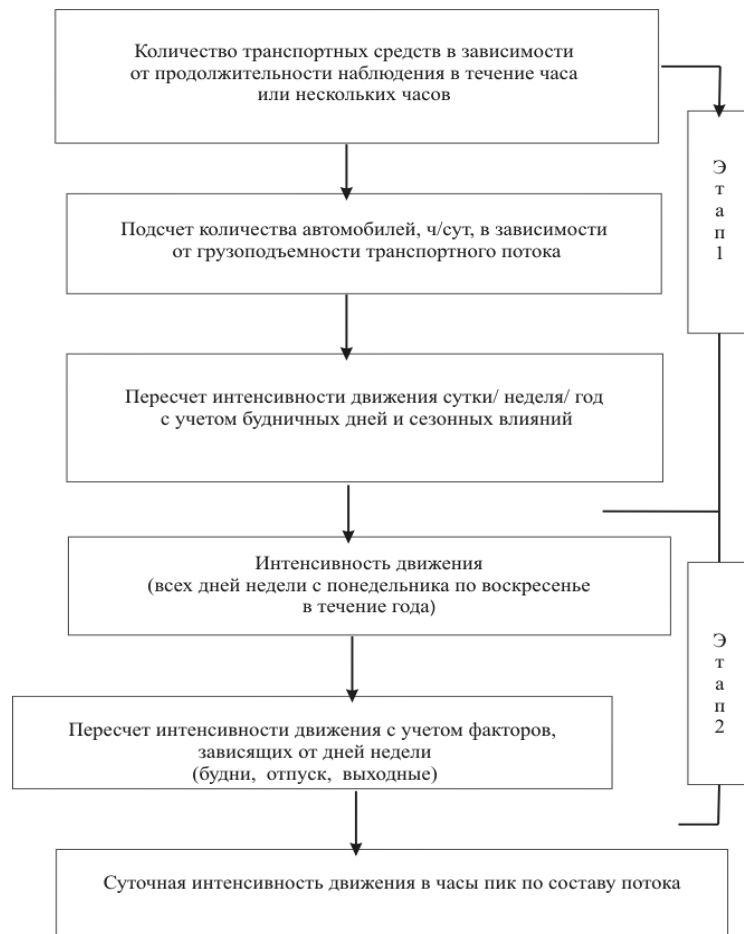


Рисунок А.4 – Алгоритм розрахунку інтенсивності за результатами короткострокових спостережень (DTV)

Помилка точності розрахунку методу А. В. Малишева і М. С. Гречаної [99] становить від 7 до 37%. Значна помилка у визначенні інтенсивності руху пояснюється регіональним характером методу: зміна інтенсивності протягом години, днів тижня і

сезонів року на дорогах Північного Казахстану відбувається більш динамічно, ніж у Волгоградській області.

Помилка точності розрахунку методу Н.П. Толстикова і Д.В. Івасика [100] становить від 17 до 25%. Дослідження закономірностей зміни інтенсивності руху для цього методу проводилися 15-20 років тому і засновані на бімодальному законі. В даний час у зв'язку зі зміною складу транспортного потоку і збільшенням інтенсивності руху змінилися і закономірності руху, недооблік яких призводить до помилки в розрахунках. Помилка точності розрахунку методу Ю.М Ситникова [101] становить від 38 до 53%. Для розрахунку інтенсивності руху за цим методом використовується максимальна годинна інтенсивність протягом доби. Значна помилка розрахунку пояснюється регіональним характером методу: пікові значення інтенсивності руху для

Помилка точності методу Е.А. Рейц [187, 188] становить (0 – 9) %. Відхилення фактичних значень від справжніх говорить про регіональний характер даного методу. Даний метод захоплює лише часові виміри, хоча дослідження, проведені в даній роботі показують, що для зниження помилки у визначенні інтенсивності і складу потоку необхідно як мінімум дві години проведення вимірювань.

Аналіз існуючих методів визначення інтенсивності дорожнього руху за результатами короткострокових спостережень на автомобільних дорогах показав, що помилка у визначенні кількості транспортних засобів, що пройшли через перетин дороги, досягає 100%. Таке відхилення фактичних значень від справжніх говорить про можливість застосування методів тільки для областей, де проводився облік кількості транспортних засобів, що пройшли через перетин дороги. Найменшу помилку у визначенні інтенсивності руху дають методи першої та третьої груп. Викликано це тим, що в першому випадку для більшої достовірності визначення інтенсивності в методиках враховуються категорія дороги і сезон року, у другому випадку - час проведення спостережень протягом години, днів тижня і сезонів року. Найбільш перспективним є застосування методів третьої групи.

ДОДАТОК Б.
ФОРМА ОБЛІКУ РУХУ ДТЗ

Візуальний облік руху дорожніх транспортних засобів

Автомобільна дорога: _____ Місце обліку _____ СХЕМА:

Дата: _____ Обліковець: _____ : _____ Час: від _____ до _____
(прізвище, ініціали)

[illegible]

ДОДАТОК В

КОЕФІЦІЄНТИ ПЕРЕРАХУНКУ НА СЕРЕДНЬОРІЧНУ ДОБОВУ ІНТЕНСИВНІСТЬ РУХУ М-19 ДОМАНОВЕ-КОВЕЛЬ-ЧЕРНІВЦІ- ТЕРЕБЛЕЧЕ, КМ 320 ВИЇЗД НА ЛУЦЬК

За місяць (К ₁)							
Місяць	Коеф. переходу						Потік
	Не класифіковані ТЗ	Легкові	Вантажні з причепом	Вантажні	Сідельні тягачі	Автобуси	
Січень	0,70	0,91	0,59	0,84	0,83	1,47	0,89
Лютий	0,38	0,23	0,12	0,26	0,26	0,38	0,24
Березень	1,21	1,04	1,12	1,04	1,02	0,13	1,04
Квітень	1,25	1,04	1,08	0,95	0,96	0,18	1,02
Травень	0,84	1,05	1,12	1,08	1,06	0,24	1,06
Червень	1,18	1,13	1,15	1,23	1,24	0,21	1,16
Липень	1,32	1,20	1,28	1,19	1,22	0,17	1,20
Серпень	1,34	1,16	1,25	1,14	1,21	0,33	1,15
Вересень	1,19	1,15	1,09	1,08	1,05	2,63	1,13
Жовтень	0,89	1,11	1,17	1,12	1,10	2,49	1,11
Листопад	0,95	1,01	1,00	1,07	1,05	1,98	1,03
Грудень	0,76	0,98	1,03	1,01	0,99	1,79	0,99
Погодинні (К ₃) Не класифіковані ТЗ							
	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1 ⁰⁰ -2 ⁰⁰	0,050	0,093	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2 ⁰⁰ -3 ⁰⁰	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064
3 ⁰⁰ -4 ⁰⁰	0,000	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4 ⁰⁰ -5 ⁰⁰	0,050	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5 ⁰⁰ -6 ⁰⁰	0,050	0,046	0,000	0,055	0,060	0,000	0,000
6 ⁰⁰ -7 ⁰⁰	0,050	0,046	0,064	0,055	0,060	0,075	0,064
7 ⁰⁰ -8 ⁰⁰	0,058	0,046	0,080	0,066	0,071	0,075	0,064
8 ⁰⁰ -9 ⁰⁰	0,071	0,052	0,064	0,055	0,060	0,075	0,064
9 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	0,057	0,081	0,082	0,055	0,060	0,000	0,000
10 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	0,062	0,046	0,064	0,094	0,060	0,075	0,064
11 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	0,062	0,052	0,064	0,064	0,060	0,094	0,064
12 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	0,055	0,046	0,064	0,073	0,074	0,090	0,109
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	0,050	0,052	0,085	0,062	0,060	0,075	0,106
14 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	0,068	0,046	0,080	0,068	0,079	0,075	0,082
15 ⁰⁰ -16 ⁰⁰	0,054	0,055	0,080	0,055	0,060	0,075	0,064
16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	0,050	0,046	0,064	0,082	0,060	0,113	0,064
17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	0,050	0,046	0,080	0,055	0,060	0,100	0,064
18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	0,062	0,058	0,064	0,055	0,060	0,000	0,064
19 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	0,050	0,046	0,064	0,000	0,060	0,000	0,000
20 ⁰⁰ -21 ⁰⁰	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,075	0,064
21 ⁰⁰ -22 ⁰⁰	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000	0,000
22 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	0,050	0,046	0,000	0,055	0,000	0,000	0,000
23 ⁰⁰ -24 ⁰⁰	0,000	0,000	0,000	0,055	0,000	0,000	0,000

Погодинні (Кз) Легкові						
Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
0,007	0,005	0,006	0,007	0,006	0,009	0,010
0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,007	0,009
0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,006	0,008
0,005	0,007	0,003	0,004	0,004	0,005	0,012
0,010	0,011	0,005	0,005	0,005	0,007	0,019
0,030	0,028	0,009	0,012	0,011	0,015	0,025
0,052	0,046	0,026	0,031	0,026	0,030	0,032
0,063	0,062	0,053	0,055	0,050	0,045	0,042
0,070	0,071	0,065	0,068	0,060	0,056	0,052
0,070	0,072	0,073	0,073	0,065	0,064	0,060
0,071	0,072	0,076	0,073	0,070	0,070	0,071
0,070	0,070	0,073	0,072	0,072	0,073	0,083
0,070	0,072	0,072	0,073	0,072	0,077	0,093
0,070	0,073	0,077	0,075	0,076	0,078	0,087
0,069	0,074	0,076	0,079	0,079	0,083	0,071
0,069	0,071	0,074	0,076	0,081	0,079	0,068
0,066	0,069	0,076	0,070	0,078	0,072	0,066
0,059	0,042	0,068	0,067	0,070	0,060	0,056
0,046	0,052	0,055	0,054	0,056	0,047	0,045
0,034	0,035	0,039	0,038	0,041	0,036	0,033
0,024	0,024	0,026	0,025	0,027	0,028	0,023
0,017	0,016	0,018	0,016	0,019	0,021	0,016
0,012	0,011	0,012	0,012	0,013	0,016	0,012
0,008	0,008	0,009	0,009	0,010	0,014	0,008

Погодинні (Кз) Вантажні з причепом						
Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
0,017	0,018	0,020	0,016	0,015	0,022	0,034
0,016	0,025	0,021	0,016	0,022	0,022	0,031
0,023	0,041	0,025	0,013	0,024	0,018	0,023
0,021	0,048	0,026	0,032	0,024	0,042	0,039
0,031	0,042	0,034	0,050	0,032	0,052	0,031
0,039	0,036	0,033	0,050	0,032	0,038	0,047
0,042	0,038	0,033	0,040	0,030	0,043	0,042
0,055	0,048	0,048	0,046	0,046	0,046	0,031
0,057	0,054	0,051	0,043	0,044	0,055	0,032
0,059	0,049	0,047	0,053	0,063	0,042	0,042
0,065	0,055	0,060	0,053	0,047	0,051	0,055
0,071	0,072	0,069	0,056	0,066	0,059	0,044
0,065	0,077	0,071	0,058	0,066	0,051	0,058
0,061	0,077	0,073	0,078	0,068	0,073	0,097
0,070	0,067	0,066	0,093	0,075	0,087	0,074
0,058	0,058	0,069	0,072	0,077	0,073	0,057
0,045	0,033	0,064	0,057	0,055	0,054	0,050
0,037	0,037	0,046	0,049	0,048	0,040	0,033

Погодинні (Кз) Вантажні						
Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
0,004	0,009	0,006	0,009	0,006	0,009	0,011
0,003	0,008	0,006	0,007	0,005	0,009	0,013
0,004	0,007	0,007	0,007	0,006	0,009	0,016
0,007	0,010	0,009	0,008	0,008	0,009	0,019
0,016	0,020	0,009	0,011	0,011	0,016	0,024
0,034	0,030	0,014	0,024	0,017	0,028	0,033
0,051	0,045	0,030	0,038	0,033	0,044	0,046
0,062	0,057	0,045	0,053	0,046	0,050	0,054
0,072	0,065	0,057	0,064	0,055	0,060	0,052
0,075	0,072	0,071	0,070	0,066	0,071	0,052
0,076	0,071	0,076	0,074	0,072	0,070	0,058
0,074	0,072	0,073	0,072	0,073	0,068	0,074
0,073	0,073	0,073	0,067	0,069	0,069	0,078
0,070	0,073	0,074	0,068	0,077	0,072	0,071
0,072	0,077	0,077	0,077	0,087	0,081	0,071
0,069	0,072	0,078	0,080	0,085	0,081	0,068
0,066	0,067	0,078	0,073	0,081	0,069	0,070
0,054	0,039	0,067	0,065	0,064	0,057	0,063
0,018	0,020	0,023	0,021	0,021	0,019	0,019
0,012	0,013	0,015	0,013	0,012	0,013	0,010
0,011	0,008	0,012	0,008	0,008	0,008	0,008
0,012	0,007	0,011	0,008	0,007	0,007	0,006
Погодинні (Кз) Сідельні тягачі						
Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
0,008	0,011	0,016	0,011	0,012	0,017	0,019
0,008	0,009	0,009	0,009	0,010	0,012	0,020
0,009	0,009	0,008	0,008	0,010	0,011	0,014
0,013	0,011	0,012	0,010	0,009	0,010	0,016
0,014	0,015	0,010	0,010	0,010	0,015	0,018
0,021	0,024	0,018	0,014	0,014	0,017	0,018
0,031	0,034	0,024	0,027	0,027	0,028	0,018
0,043	0,039	0,035	0,035	0,039	0,038	0,036
0,044	0,047	0,040	0,051	0,041	0,052	0,040
0,056	0,055	0,048	0,055	0,052	0,064	0,041
0,061	0,062	0,064	0,058	0,060	0,067	0,050
0,065	0,068	0,066	0,070	0,065	0,076	0,065
0,066	0,064	0,069	0,067	0,064	0,081	0,074
0,070	0,068	0,072	0,067	0,066	0,082	0,074
0,077	0,072	0,061	0,070	0,072	0,077	0,064
0,077	0,074	0,083	0,072	0,076	0,072	0,057
0,076	0,072	0,079	0,067	0,078	0,066	0,054
0,073	0,047	0,067	0,075	0,080	0,056	0,058
0,057	0,066	0,065	0,062	0,067	0,043	0,048

Погодинні (Кз) Автобуси						
Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
0,023	0,026	0,043	0,025	0,026	0,020	0,028
0,023	0,027	0,025	0,020	0,021	0,026	0,022
0,025	0,023	0,028	0,026	0,024	0,020	0,020
0,025	0,026	0,022	0,025	0,023	0,036	0,025
0,026	0,035	0,034	0,032	0,029	0,032	0,046
0,041	0,040	0,032	0,035	0,042	0,043	0,042
0,051	0,040	0,052	0,049	0,047	0,053	0,048
0,053	0,028	0,059	0,040	0,039	0,044	0,061
0,056	0,032	0,033	0,041	0,044	0,052	0,048
0,054	0,056	0,051	0,050	0,054	0,051	0,064
0,050	0,053	0,050	0,045	0,049	0,045	0,055
0,051	0,054	0,059	0,051	0,060	0,047	0,054
0,048	0,050	0,051	0,058	0,049	0,055	0,051
0,056	0,048	0,046	0,045	0,048	0,060	0,053
0,050	0,069	0,059	0,045	0,054	0,061	0,042
0,048	0,061	0,045	0,053	0,065	0,043	0,038
0,037	0,059	0,047	0,046	0,046	0,047	0,035
0,043	0,048	0,040	0,046	0,057	0,042	0,060
0,056	0,059	0,063	0,083	0,062	0,056	0,066
0,051	0,052	0,045	0,060	0,045	0,041	0,050
0,030	0,033	0,035	0,033	0,031	0,043	0,033
0,026	0,026	0,033	0,027	0,028	0,033	0,021
0,045	0,024	0,027	0,030	0,025	0,029	0,020
0,034	0,030	0,022	0,034	0,033	0,020	0,018

Погодинні (Кз) Потік ТЗ						
Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
0,006	0,006	0,007	0,007	0,006	0,009	0,010
0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,008	0,009
0,004	0,005	0,005	0,004	0,004	0,006	0,010
0,006	0,008	0,005	0,005	0,005	0,006	0,013
0,012	0,014	0,006	0,007	0,007	0,010	0,020
0,031	0,028	0,011	0,016	0,013	0,018	0,026
0,051	0,045	0,027	0,033	0,028	0,033	0,034
0,062	0,060	0,050	0,053	0,048	0,046	0,044
0,069	0,068	0,062	0,066	0,058	0,057	0,052
0,071	0,071	0,071	0,071	0,065	0,065	0,058
0,072	0,071	0,076	0,073	0,070	0,070	0,068
0,071	0,070	0,073	0,072	0,071	0,072	0,081
0,071	0,072	0,072	0,071	0,071	0,076	0,091
0,070	0,073	0,076	0,073	0,076	0,077	0,084
0,070	0,074	0,076	0,078	0,081	0,083	0,071
0,069	0,072	0,076	0,077	0,082	0,079	0,068
0,066	0,069	0,077	0,071	0,079	0,071	0,066
0,058	0,042	0,068	0,066	0,069	0,059	0,057

ДОДАТОК Г

ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО КОНТАКТНОГО ТИСКУ НА ОСНОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІНИ ТИСКУ В ШИНАХ ВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Якщо проаналізувати параметри розрахункових навантажень, які призначені для розрахунку дорожніх одягів в Радянському Союзі починаючи з 40-х років і до наших днів (таблиця Г.1), то спостерігається майже дворазове збільшення розрахункових осьових навантажень та тиску повітря в шинах. При цьому розрахункове питомий тиск коліс на покриття проектувальники дорожніх одягів збільшили тільки на 20%. В таблиці 1 знак наближення близько значень тиску в шинах проставлений, так як в великому переліку розмірів вантажних шин значення максимального тиску в шинах також змінюється в широких межах. Наприклад, максимальний тиск в сучасних вантажних шинах провідних виробників для осьового навантаження 11,5 тон змінюється від 700 до 900 кПа (таблиця Г.2).

Таблиця Г.1 – Ретроспектива параметрів навантаження для розрахунку дорожніх одягів

Часовий період, роки	Розрахункове навантаження на вісь, кгс (кН)	Тиск в шині, кПа	Площа контакту колеса, см ²	Розрахункові параметри навантаження	
				Тиск колеса на покриття, кПа	Діаметр відбитку шини, см
40-50 XX в	5930 (59,3)	455	593	500	27,5
60 XX в.	9100 (9,1)	455	907	500	34
70-90 XX в.	10000 (100)	600	855	600	33
2001-2003	10000 (100)	700	855	600	33
2003-2014	11500 (115)	800	962	600	35

Логіку збільшення тиску в шинах залежно від збільшуються навантажень на осі можна також простежити за рекомендаціями компаній NOKIAN, GoodYear, CONTINENTAL, MICHELIN і GOODYEAR, а також ГОСТ 5513 «Шини пневматичні для вантажних автомобілів, причепів до них, автобусів і тролейбусів. Технічні умови» (рис 1-6): з ростом навантаження зростає і тиск в шині. Наприклад, при

навантаженні на колесо 50 кН тиск в шинах NOKIAN зараз становить 825 кПа, CONTINENTAL - 800 кПа, Michelin - 780 кПа. Більш того, в ГОСТ 5531 також проглядається аналогічна залежність (рис. 5.1). Так як розрахункові навантаження поступово підвищуються, відповідно повинно бути збільшено розрахунковий тиск на покриття.

Таблиця Г.2 – Тиск у вантажних шинах провідних виробників для осьової навантаження 11, 5 тон

Розмір шин	Тиск в шинах спареного колеса, кПа, для осьового навантаження 11,5 т			
	Goodyear	Continental	Michlen	КАМА
10.00 R15 LPT	850			
11.00 R22.5	800	850	830	830
11.00 R20		800		830
11.00 R22.5	850			
12.00 R20		750		
12.00 R22.5	800	750		
13.00 R22.5	725	700		
275/70 R22.5	900	850	830	900
275/80 R22.5	825			
275/80 R19.5				900
285/70 R19.5 LPT	850	850		
295/60 R22.5	900	850		
295/80 R22.5	750	750		
305/70 R19.5	825	850	830	
305/70 R22.5	775	750		
305/60 R22.5		850		
305/75 R24	725			
315/60 R22.5		800		
315/70 R22.5	750	750		
315/80 R22.5	700	700		800

Як відомо, розрахункове нормальний тиск по площі відбитка є одним з найбільш важливих параметрів навантаження. Воно дорівнює відношенню вертикального навантаження на колесо до контурної площі контакту, то є середньому тиску в контакті.

Однак, з метою спрощення розрахунків і відповідно до принципу Сен-Венана, нерівномірність розподілу тисків в межах загальної площі контакту вважається

другорядною для розрахунку конструкції, що детально розглянуто в першій частині роботи (Радовський Б.С., Мерзлікін О.Ю., 2014) [189].

Тому для простоти зазвичай приймають вертикальний тиск на покриття, розподілений рівномірно по контурній площі відбитка шини.

Середній тиск в контактні колеса з покриттям p приблизно пропорційна тиску повітря в шині $p = k * p_{\text{возд}}$. Коефіцієнт пропорційності k залежить від типу шини, і він може бути як більше, так і менше одиниці [190]. При проектуванні дорожніх одягів його приймають рівним одиниці, тобто вважають середнє контактний тиск рівним тиску повітря в шині. У зв'язку з цим ми проаналізували сучасні тенденції зміни тиску повітря в шинах автомобілів.

Як відомо, понад 30 % енергії, виробленої двигуном автомобіля, витрачається на подолання опору коченню коліс.

Коефіцієнт опору коченню, рівний відношенню горизонтальної сили опору до вертикальної навантаженні, для вантажних автомобілів має порядок (0,005-0,010). Зниження опору коченню на 10% дає зменшення витрати пального (2 – 3) %. Виявляється, що підвищення тиску повітря в шині зменшує коефіцієнт опору коченню (рис. Г.1).

Так, за поданими на рис 5.2 експериментальним даним, отриманим для шини вантажного автомобіля - шина 295/75R22.5 (верхня крива на рис. Г.1), опір коченню приблизно обернено пропорційна квадратному кореню з тиску повітря в шині [191]. Автогонщики, розігріваючи шини перед заїздом, збільшують тиск в них. Іншими словами, підвищивши тиск (600 – 800) кПа, можна зменшити опір коченню на 15,5 %, що може дати економію пального приблизно (4 -5) %.

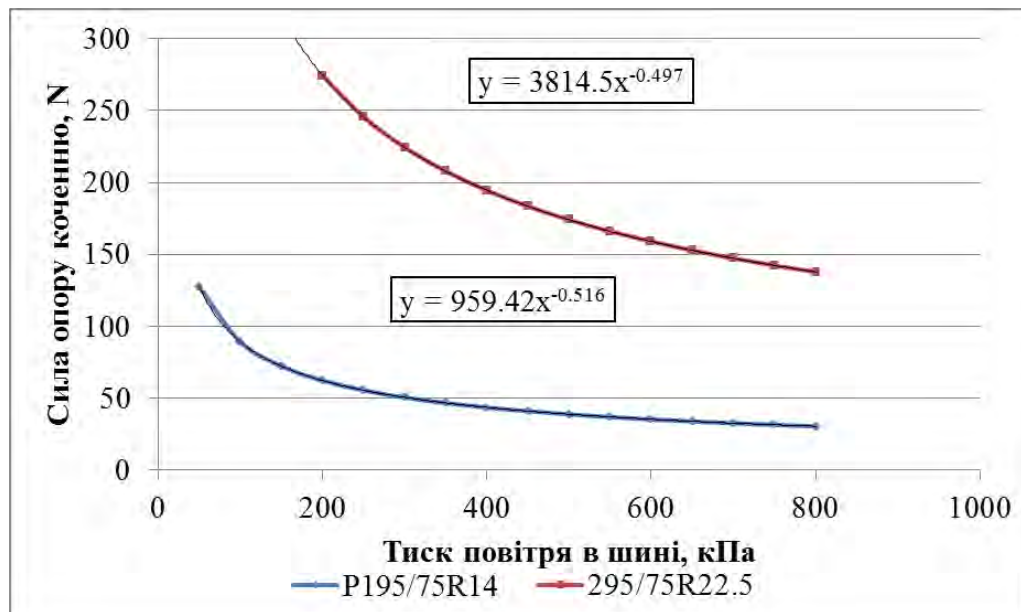


Рисунок Г.1 – Зменшення сили опору коченню з ростом тиску повітря в шині

Таким чином, цілком природно, що автомобілісти з метою зменшення опору коченню прагнуть підвищити тиск повітря в шинах. Можливість збільшити тиск істотно залежить від конструкції шини. Якщо 30 - 40 років тому переважна більшість шин вантажних автомобілів мали кордовий каркас з діагональною навивкою, то в даний час повсюдно використовуються шини з радіальною навивкою (нитки корду розташовані вздовж радіусу колеса). Радіальні шини конструктивно більш жорсткі, в них тиск повітря набагато вище, ніж в діагональних. Тому якщо 30 років тому типове тиск в шині вантажного автомобіля складало 500 кПа, то в даний час воно досягло (800 – 1000) кПа. У зв'язку з цим представляється необхідним збільшити розрахунковий тиск на покриття (800 – 900) кПа.

В США в методі розрахунку дорожніх одягів, розробленому асфальтового інститутом в 1981 р MS-1 [191 - 192], приймалося розрахунковий тиск 483 кПа, а в новому методі розрахунку дорожніх одягів його збільшено до 827 кПа. Очевидно, за даними досліджень є необхідність підвищити розрахункове значення контактного тиску (800 – 900) кПа.

ДОДАТОК Д

ПРИКЛАД РЕЗУЛЬТАТІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕС ДЛЯ ХАРАКТЕРНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ М 05 КИЇВ – ОДЕСА, ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ, КМ 156+000 –КМ 190+000)

Форма збору даних про модуль пружності дорожнього одягу

Код дороги (міжнародний):

Код дороги (місцевий):

М-05

Назва дороги:

Київ - Одеса

Напрямок руху:

Прямий

Господарство:

Служба автомобільних доріг у Черкаській області

Просторові координати		Від		До		Фактичний модуль пружності, МПа	Дата
Х	У	км	+м	км	+м		
49,1681	30,0830	156	0	157	0	302	16.04.2018
49,1590	30,0848	157	0	158	0	359	16.04.2018
49,1504	30,0866	158	0	159	0	323	16.04.2018
49,1417	30,0893	159	0	160	0	325	16.04.2018
49,1339	30,0959	160	0	161	0	330	16.04.2018
49,1304	30,1081	161	0	162	0	318	16.04.2018
49,1270	30,1214	162	0	163	0	311	16.04.2018
49,1238	30,1341	163	0	164	0	305	16.04.2018
49,1172	30,1443	164	0	165	0	316	16.04.2018
49,1086	30,1482	165	0	166	0	327	16.04.2018
49,1003	30,1490	166	0	167	0	282	16.04.2018
49,0908	30,1500	167	0	168	0	320	16.04.2018
49,0823	30,1509	168	0	169	0	323	16.04.2018
49,0729	30,1518	169	0	170	0	317	16.04.2018
49,0641	30,1529	170	0	171	0	321	16.04.2018
49,0550	30,1544	171	0	172	0	311	16.04.2018
49,0462	30,1558	172	0	173	0	308	16.04.2018
49,0369	30,1571	173	0	174	0	317	16.04.2018
49,0284	30,1584	174	0	175	0	323	16.04.2018
49,0191	30,1598	175	0	176	0	293	16.04.2018
49,0102	30,1612	176	0	177	0	324	16.04.2018
49,0014	30,1626	177	0	178	0	279	16.04.2018
48,9926	30,1642	178	0	179	0	296	16.04.2018
48,9836	30,1661	179	0	180	0	302	16.04.2018
48,9766	30,1738	180	0	181	0	311	16.04.2018
48,9699	30,1837	181	0	182	0	299	16.04.2018
48,9641	30,1936	182	0	183	0	305	16.04.2018
48,9579	30,2038	183	0	184	0	314	16.04.2018
48,9505	30,2115	184	0	185	0	248	16.04.2018
48,9430	30,2193	185	0	186	0	207	16.04.2018
48,9354	30,2273	186	0	187	0	244	16.04.2018
48,9282	30,2350	187	0	188	0	246	16.04.2018
48,9211	30,2425	188	0	189	0	317	16.04.2018
48,9126	30,2470	189	0	190	0	282	16.04.2018

Форма збору даних про модуль пружності дорожнього одягу

Код дороги (міжнародний):

Код дороги (місцевий):

Назва дороги:

Напрямок руху:

Господарство:

М-05**Київ - Одеса****Зворотній****Служба автомобільних доріг у Черкаській області**

Просторові координати		Від		До		Фактичний модуль пружності, МПа	Дата
Х	У	км	+м	км	+м		
48,8958	30,2530	191	0	190	0	271	17.04.2018
48,9051	30,2497	190	0	189	0	260	17.04.2018
48,9136	30,2467	189	0	188	0	301	17.04.2018
48,9223	30,2414	188	0	187	0	303	17.04.2018
48,9294	30,2338	187	0	186	0	276	17.04.2018
48,9368	30,2260	186	0	185	0	260	17.04.2018
48,9440	30,2183	185	0	184	0	305	17.04.2018
48,9515	30,2104	184	0	183	0	338	17.04.2018
48,9588	30,2028	183	0	182	0	347	17.04.2018
48,9649	30,1921	182	0	181	0	322	17.04.2018
48,9709	30,1822	181	0	180	0	344	17.04.2018
48,9771	30,1729	180	0	179	0	345	17.04.2018
48,9851	30,1655	179	0	178	0	341	17.04.2018
48,9937	30,1639	178	0	177	0	349	17.04.2018
49,0024	30,1625	177	0	176	0	338	17.04.2018
49,0118	30,1610	176	0	175	0	335	17.04.2018
49,0203	30,1597	175	0	174	0	331	17.04.2018
49,0293	30,1583	174	0	173	0	334	17.04.2018
49,0387	30,1569	173	0	172	0	340	17.04.2018
49,0479	30,1554	172	0	171	0	327	17.04.2018
49,0568	30,1541	171	0	170	0	342	17.04.2018
49,0656	30,1528	170	0	169	0	329	17.04.2018
49,0745	30,1516	169	0	168	0	333	17.04.2018
49,0834	30,1507	168	0	167	0	338	17.04.2018
49,0924	30,1497	167	0	166	0	332	17.04.2018
49,1013	30,1488	166	0	165	0	383	17.04.2018
49,1101	30,1479	165	0	164	0	335	17.04.2018
49,1184	30,1430	164	0	163	0	341	17.04.2018
49,1242	30,1325	163	0	162	0	345	17.04.2018
49,1274	30,1198	162	0	161	0	349	17.04.2018
49,1307	30,1070	161	0	160	0	331	17.04.2018
49,1343	30,0951	160	0	159	0	340	17.04.2018
49,1425	30,0890	159	0	158	0	337	17.04.2018
49,1512	30,0863	158	0	157	0	330	17.04.2018
49,1602	30,0845	157	0	156	0	349	17.04.2018

Форма збору даних показників коефіцієнта зчеплення проїзної частини

Код дороги

(міжнародний):

Код дороги (місцевий): **М-05**Назва дороги: **Київ - Одеса**Господарство: **Служба автомобільних доріг у Черкаській області**

Від		До		Напрямок руху	Смуга руху	Коефіцієнт зчеплення	Дата	Значення коеф. зчеплення по ДСТУ 3587	Відповідність покриття
км	+м	км	+м						
156	0	157	0	Прямий	1	0,481	19.09.2017	0,35	Відповідає
157	0	158	0	Прямий	1	0,403	19.09.2017	0,35	Відповідає
158	0	159	0	Прямий	1	0,463	19.09.2017	0,35	Відповідає
159	0	160	0	Прямий	1	0,513	19.09.2017	0,35	Відповідає
160	0	161	0	Прямий	1	0,495	19.09.2017	0,35	Відповідає
161	0	162	0	Прямий	1	0,550	19.09.2017	0,35	Відповідає
162	0	163	0	Прямий	1	0,466	19.09.2017	0,35	Відповідає
163	0	164	0	Прямий	1	0,416	19.09.2017	0,35	Відповідає
164	0	165	0	Прямий	1	0,389	19.09.2017	0,35	Відповідає
165	0	166	0	Прямий	1	0,482	19.09.2017	0,35	Відповідає
166	0	167	0	Прямий	1	0,583	19.09.2017	0,35	Відповідає
167	0	168	0	Прямий	1	0,460	19.09.2017	0,35	Відповідає
168	0	169	0	Прямий	1	0,454	19.09.2017	0,35	Відповідає
169	0	170	0	Прямий	1	0,394	19.09.2017	0,35	Відповідає
170	0	171	0	Прямий	1	0,543	19.09.2017	0,35	Відповідає
171	0	172	0	Прямий	1	0,486	19.09.2017	0,35	Відповідає
172	0	173	0	Прямий	1	0,555	19.09.2017	0,35	Відповідає
173	0	174	0	Прямий	1	0,554	19.09.2017	0,35	Відповідає
174	0	175	0	Прямий	1	0,495	19.09.2017	0,35	Відповідає
175	0	176	0	Прямий	1	0,396	19.09.2017	0,35	Відповідає
176	0	177	0	Прямий	1	0,423	19.09.2017	0,35	Відповідає
177	0	178	0	Прямий	1	0,496	19.09.2017	0,35	Відповідає
178	0	179	0	Прямий	1	0,407	19.09.2017	0,35	Відповідає
179	0	180	0	Прямий	1	0,371	19.09.2017	0,35	Відповідає
180	0	181	0	Прямий	1	0,438	19.09.2017	0,35	Відповідає
181	0	182	0	Прямий	1	0,417	19.09.2017	0,35	Відповідає
182	0	183	0	Прямий	1	0,460	19.09.2017	0,35	Відповідає
183	0	184	0	Прямий	1	0,457	19.09.2017	0,35	Відповідає
184	0	185	0	Прямий	1	0,389	19.09.2017	0,35	Відповідає
185	0	186	0	Прямий	1	0,565	19.09.2017	0,35	Відповідає
186	0	187	0	Прямий	1	0,429	19.09.2017	0,35	Відповідає
187	0	188	0	Прямий	1	0,552	19.09.2017	0,35	Відповідає
188	0	189	0	Прямий	1	0,435	19.09.2017	0,35	Відповідає
189	0	190	0	Прямий	1	0,405	19.09.2017	0,35	Відповідає
190	0	191	0	Прямий	1	0,415	19.09.2017	0,35	Відповідає

Форма збору даних показників коефіцієнта зчеплення проїзної частини

Код дороги

(міжнародний):

(1

Код дороги (місцевий): **М-05 Л** категорія)Назва дороги: **Київ - Одеса**Господарство: **Служба автомобільних доріг у Черкаській області**

Від		До		Напрямок руху	Смуга руху	Коефіцієнт зчеплення	Дата	Значення коеф. зчеплення по ДСТУ 3587	Відповідність покриття
км	+м	км	+м						
191	0	190	0	Зворотній	2	0,426	20.09.2017	0,35	Відповідає
190	0	189	0	Зворотній	2	0,532	20.09.2017	0,35	Відповідає
189	0	188	0	Зворотній	2	0,546	20.09.2017	0,35	Відповідає
188	0	187	0	Зворотній	2	0,370	20.09.2017	0,35	Відповідає
187	0	186	0	Зворотній	2	0,498	20.09.2017	0,35	Відповідає
186	0	185	0	Зворотній	2	0,373	20.09.2017	0,35	Відповідає
185	0	184	0	Зворотній	2	0,390	20.09.2017	0,35	Відповідає
184	0	183	0	Зворотній	2	0,462	20.09.2017	0,35	Відповідає
183	0	182	0	Зворотній	2	0,547	20.09.2017	0,35	Відповідає
182	0	181	0	Зворотній	2	0,531	20.09.2017	0,35	Відповідає
181	0	180	0	Зворотній	2	0,546	20.09.2017	0,35	Відповідає
180	0	179	0	Зворотній	2	0,371	20.09.2017	0,35	Відповідає
179	0	178	0	Зворотній	2	0,534	20.09.2017	0,35	Відповідає
178	0	177	0	Зворотній	2	0,406	20.09.2017	0,35	Відповідає
177	0	176	0	Зворотній	2	0,452	20.09.2017	0,35	Відповідає
176	0	175	0	Зворотній	2	0,373	20.09.2017	0,35	Відповідає
175	0	174	0	Зворотній	2	0,536	20.09.2017	0,35	Відповідає
174	0	173	0	Зворотній	2	0,429	20.09.2017	0,35	Відповідає
173	0	172	0	Зворотній	2	0,367	20.09.2017	0,35	Відповідає
172	0	171	0	Зворотній	2	0,467	20.09.2017	0,35	Відповідає
171	0	170	0	Зворотній	2	0,404	20.09.2017	0,35	Відповідає
170	0	169	0	Зворотній	2	0,424	20.09.2017	0,35	Відповідає
169	0	168	0	Зворотній	2	0,490	20.09.2017	0,35	Відповідає
168	0	167	0	Зворотній	2	0,378	20.09.2017	0,35	Відповідає
167	0	166	0	Зворотній	2	0,476	20.09.2017	0,35	Відповідає
166	0	165	0	Зворотній	2	0,549	20.09.2017	0,35	Відповідає
165	0	164	0	Зворотній	2	0,547	20.09.2017	0,35	Відповідає
164	0	163	0	Зворотній	2	0,436	20.09.2017	0,35	Відповідає
163	0	162	0	Зворотній	2	0,391	20.09.2017	0,35	Відповідає
162	0	161	0	Зворотній	2	0,503	20.09.2017	0,35	Відповідає
161	0	160	0	Зворотній	2	0,374	20.09.2017	0,35	Відповідає
160	0	159	0	Зворотній	2	0,419	20.09.2017	0,35	Відповідає
159	0	158	0	Зворотній	2	0,378	20.09.2017	0,35	Відповідає
158	0	157	0	Зворотній	2	0,419	20.09.2017	0,35	Відповідає
157	0	156	0	Зворотній	2	0,409	20.09.2017	0,35	Відповідає

Форма збору даних показників рівності дорожнього покриття проїзної частини

Код дороги

(міжнародний):

М-05

Код дороги (місцевий):

П

(1 категорія)

Назва дороги:

Київ-Одеса

Господарство:

Служба автомобільних доріг у Черкаській області

Від		До		Напрямок руху	Смуга руху	Рівність IRI	Рівність см/км	Дата
км	+м	км	+м					
156	0	157	0	прямий	1	2,80	110	01.09.2017
157	0	158	0	прямий	1	2,18	66	01.09.2017
158	0	159	0	прямий	1	2,69	102	01.09.2017
159	0	160	0	прямий	1	1,88	49	01.09.2017
160	0	161	0	прямий	1	2,01	56	01.09.2017
161	0	162	0	прямий	1	1,86	48	01.09.2017
162	0	163	0	прямий	1	1,99	55	01.09.2017
163	0	164	0	прямий	1	2,27	72	01.09.2017
164	0	165	0	прямий	1	1,85	47	01.09.2017
165	0	166	0	прямий	1	1,43	28	01.09.2017
166	0	167	0	прямий	1	2,56	92	01.09.2017
167	0	168	0	прямий	1	1,87	48	01.09.2017
168	0	169	0	прямий	1	1,61	35	01.09.2017
169	0	170	0	прямий	1	1,96	54	01.09.2017
170	0	171	0	прямий	1	2,06	59	01.09.2017
171	0	172	0	прямий	1	1,61	35	01.09.2017
172	0	173	0	прямий	1	1,51	31	01.09.2017
173	0	174	0	прямий	1	1,71	40	01.09.2017
174	0	175	0	прямий	1	1,55	33	01.09.2017
175	0	176	0	прямий	1	2,13	63	01.09.2017
176	0	177	0	прямий	1	2,14	64	01.09.2017
177	0	178	0	прямий	1	2,99	126	01.09.2017
178	0	179	0	прямий	1	3,39	164	01.09.2017
179	0	180	0	прямий	1	3,78	205	01.09.2017
180	0	181	0	прямий	1	3,26	151	01.09.2017
181	0	182	0	прямий	1	3,24	149	01.09.2017
182	0	183	0	прямий	1	2,88	117	01.09.2017
183	0	184	0	прямий	1	2,25	71	01.09.2017
184	0	185	0	прямий	1	4,48	289	01.09.2017
185	0	186	0	прямий	1	6,07	539	01.09.2017
186	0	187	0	прямий	1	4,71	320	01.09.2017
187	0	188	0	прямий	1	4,71	320	01.09.2017
188	0	189	0	прямий	1	5,02	366	01.09.2017
189	0	190	0	прямий	1	3,89	217	01.09.2017
190	0	191	0	прямий	1	5,13	382	01.09.2017
191	0	192	0	прямий	1	4,84	339	01.09.2017

Форма збору даних показників рівності дорожнього покриття проїзної частини

Код дороги

(міжнародний):

М-05

Код дороги (місцевий):

Л

(1 категорія)

Назва дороги:

Київ-Одеса

Господарство:

Служба автомобільних доріг у Черкаській області

Від		До		Напрямок руху	Смуга руху	Рівність IRI	Рівність см/км	Дата
км	+м	км	+м					
191	0	190	0	зворотній	2	4,40	280	01.09.2017
190	0	189	0	зворотній	2	5,85	501	01.09.2017
189	0	188	0	зворотній	2	5,73	479	01.09.2017
188	0	187	0	зворотній	2	4,75	327	01.09.2017
187	0	186	0	зворотній	2	5,37	419	01.09.2017
186	0	185	0	зворотній	2	4,73	324	01.09.2017
185	0	184	0	зворотній	2	4,37	275	01.09.2017
184	0	183	0	зворотній	2	2,42	82	01.09.2017
183	0	182	0	зворотній	2	2,86	115	01.09.2017
182	0	181	0	зворотній	2	2,35	77	01.09.2017
181	0	180	0	зворотній	2	2,44	84	01.09.2017
180	0	179	0	зворотній	2	2,62	96	01.09.2017
179	0	178	0	зворотній	2	2,29	74	01.09.2017
178	0	177	0	зворотній	2	1,76	43	01.09.2017
177	0	176	0	зворотній	2	1,45	29	01.09.2017
176	0	175	0	зворотній	2	1,62	36	01.09.2017
175	0	174	0	зворотній	2	1,25	21	01.09.2017
174	0	173	0	зворотній	2	1,44	28	01.09.2017
173	0	172	0	зворотній	2	1,50	31	01.09.2017
172	0	171	0	зворотній	2	1,17	18	01.09.2017
171	0	170	0	зворотній	2	1,08	16	01.09.2017
170	0	169	0	зворотній	2	1,12	17	01.09.2017
169	0	168	0	зворотній	2	1,02	14	01.09.2017
168	0	167	0	зворотній	2	1,18	19	01.09.2017
167	0	166	0	зворотній	2	1,29	23	01.09.2017
166	0	165	0	зворотній	2	0,93	12	01.09.2017
165	0	164	0	зворотній	2	1,57	34	01.09.2017
164	0	163	0	зворотній	2	1,93	52	01.09.2017
163	0	162	0	зворотній	2	1,53	32	01.09.2017
162	0	161	0	зворотній	2	1,25	21	01.09.2017
161	0	160	0	зворотній	2	1,00	14	01.09.2017
160	0	159	0	зворотній	2	1,58	34	01.09.2017
159	0	158	0	зворотній	2	1,94	52	01.09.2017
158	0	157	0	зворотній	2	2,03	57	01.09.2017
157	0	156	0	зворотній	2	1,89	49	01.09.2017

6. Форма збору даних про руйнування поверхні дорожнього одягу

Код дороги (міжнародний):

Код дороги (місцевий): **М-05**Назва дороги: **Київ-Одеса**Господарство: **Служба автомобільних доріг у Черкаській області**

Від		До		Тип руйнування конструкції	Міра ураження ділянки і протяжність в % від довжини ділянки			Дата отримання даних
км	+ (м)	км	+ (м)		Рівень 1	Рівень 2	Рівень 3	
A	B	C	D	E	F	G	H	I
156	0	157	0	2	0	5	0	01.09.2017
156	0	157	0	6	0	6	0	01.09.2017
156	0	157	0	13	0	10	0	01.09.2017
157	0	158	0	2	0	10	0	01.09.2017
157	0	158	0	6	0	6	0	01.09.2017
157	0	158	0	12	0	5	0	01.09.2017
157	0	158	0	13	0	15	5	01.09.2017
158	0	159	0	2	0	10	5	01.09.2017
158	0	159	0	6	10	0	0	01.09.2017
158	0	159	0	11	0	8	0	01.09.2017
158	0	159	0	12	0	5	0	01.09.2017
158	0	159	0	13	0	15	10	01.09.2017
158	0	159	0	14	0	5	0	01.09.2017
159	0	160	0	2	0	15	0	01.09.2017
159	0	160	0	6	10	0	0	01.09.2017
159	0	160	0	11	0	18	0	01.09.2017
159	0	160	0	12	0	5	0	01.09.2017
159	0	160	0	13	0	15	0	01.09.2017
159	0	160	0	14	0	5	0	01.09.2017
160	0	161	0	2	0	5	0	01.09.2017
160	0	161	0	6	4	0	0	01.09.2017
160	0	161	0	13	0	5	5	01.09.2017
160	0	161	0	14	0	5	0	01.09.2017
161	0	162	0	2	0	5	0	01.09.2017
161	0	162	0	6	4	0	0	01.09.2017
161	0	162	0	13	0	5	0	01.09.2017
162	0	163	0	6	0	5	0	01.09.2017
162	0	163	0	13	0	5	0	01.09.2017
163	0	164	0	6	4	0	0	01.09.2017
163	0	164	0	13	0	0	5	01.09.2017
164	0	165	0	6	4	0	0	01.09.2017
164	0	165	0	12	0	5	0	01.09.2017
164	0	165	0	13	0	5	0	01.09.2017
165	0	166	0	2	5	0	0	01.09.2017

Результати визначення товщини шарів дорожнього одягу та фізико – механічних характеристик зразків - кернів)

За результатами обстеження встановлено, що асфальтобетонне покриття на автомобільній дорозі загального користування державного значення М-05 Київ – Одеса на ділянці км 152+918 – км 191+278 має руйнування та деформації у вигляді викришування, колійності, гребінки, зміщень, поперечних тріщин, повздовжніх тріщин, косих тріщин та сітки тріщин. Результати наведені на рис. Е.1 та в табл. 3.1 – 3.2.



Рисунок Е.1 – Дефекти дорожнього покриття

При проведенні інструментального обстеження існуючого дорожнього одягу співробітниками ДП «ДерждорНДІ» виконано відбір зразків-кернів з визначенням товщини конструктивних шарів дорожнього одягу та їх складів.

Керни відбирались на відстані не менше ніж 1 м від крайки покриття, по лівій і правій стороні проїзної частини з врахуванням вимог ДСТУ Б В.2.7-319.

Зразки-керни, які відібрані на автомобільній дорозі загального користування державного значення М-05 Київ – Одеса на ділянці км 152+918 – км 191+278 зображено на рис. Е.2.



км 188+000 (лівий проїзд)



км 183+000 (лівий проїзд)



км 180+000 (лівий проїзд)



км 177+000 (лівий проїзд)



км 174+000 (лівий проїзд)



км 171+000 (лівий проїзд)



Рисунок Е.2 – Відібраний зразок-керна № 7, км 168+000 (лівий проїзд) км 165+000 (лівий проїзд)

В табл. Е.1 наведені товщини шарів асфальтобетону у відібраних кернях.

Таблиця Е.1 – Відомість відбору зразків-кернів

№ кернів	Місце відбору зразків - кернів, км		Загальна товщина шарів асфальтобетону, см	Примітка
	км	+ (м)		
1	2	3	4	5
1	188	000	9,5	Лівий проїзд
2	183	000	28,3	Лівий проїзд
3	180	000	34,0	Лівий проїзд
4	177	000	30,5	Лівий проїзд
5	174	000	17,5	Лівий проїзд
6	171	000	19,0	Лівий проїзд
7	168	000	17,0	Лівий проїзд
8	165	000	27,0	Лівий проїзд
9	162	000	30,0	Лівий проїзд
10	159	000	23,5	Лівий проїзд
11	156	500	26,5	Лівий проїзд
12	153	800	18,0	Лівий проїзд
13	153	800	22,0	Правий проїзд
14	156	500	27,5	Правий проїзд
15	159	000	24,0	Правий проїзд
16	162	000	17,0	Правий проїзд
17	165	000	19,5	Правий проїзд
18	168	000	14,5	Правий проїзд
19	171	000	18,0	Правий проїзд
20	174	000	18,0	Правий проїзд
21	177	000	17,5	Правий проїзд
22	180	000	17,0	Правий проїзд
23	183	000	33,0	Правий проїзд
24	185	500	10,5	Правий проїзд
25	190	800	10,5	Правий проїзд

ДОДАТОК Е
ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА **ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ**
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ

СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 43725

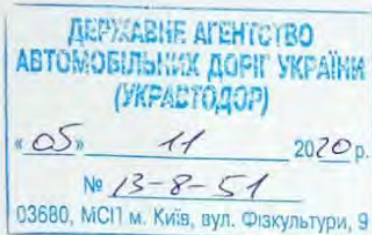
Навчальний посібник "Надійність конструкцій дорожнього одягу"
(вид, назва службового твору)

Автор(и) Дмитриченко Микола Федорович, Дмитрієв Микола Миколайович, Гамеляк Ігор Павлович, Якименко Ярослав Миколайович, Райковський Віталій Францевич
(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Дмитриченко Микола Федорович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Дмитрієв Микола Миколайович, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010; Гамеляк Ігор Павлович, вул. Суворова, 1, м. Київ-10, 01010; Якименко Ярослав Миколайович, вул. Суворова, 1, м. Київ-10, 01010; Райковський Віталій Францевич, вул. Суворова, 1, м. Київ-10, 01010; Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010
(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 14.05.2012


**Голова Державної служби
інтелектуальної
власності України
М.В. Паладій**



ДОВІДКА
впровадження наукових розробок аспіранта Національного
транспортного університету кафедри аеропорти
Райковського Віталія Францевича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри аеропорти Національного транспортного університету Райковського Віталія Францевича впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України при виконанні науково-дослідницьких робіт за темами: «Розробити Методичні рекомендації зі встановлення параметрів розрахункового навантаження для проектування дорожніх одягів» (п.пл. 115) (договір № 40-13 від 19.07.2013, номер державної реєстрації 0113U004865); «Виконати аналіз та розробити національний стандарт щодо визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку на мережі автомобільних доріг загального користування» (договір № 26/55-17 від 21.08.2017, номер державної реєстрації 0117U001968); «Провести аналіз рівності автомобільних доріг державного значення», п.пл. 178 (№ 159-11 від 08.12.2011, номер державної реєстрації 0111U007804); «Внести зміни та доповнення до ДСТУ 2587-94 «Розмітка дорожня. Технічні вимоги. Методи контролю. Правила застосування» (договір № 9/673-08 від 13.03.2008);

За результатами наукових робіт були розроблені:

1. Р В.2.3-218-02070915-716:2007 «Рекомендації з забезпечення експлуатаційної надійності конструкцій нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг України»;
2. М 02070915-711:2012 «Методика з розрахунку зміни жорсткості та міцності пакету асфальтобетонних шарів в залежності від стохастичної зміни температурного режиму повітря в річному циклі»;
3. Р В.2.3-21476215-803:2012 «Рекомендації з розрахунку температурних полів і напружень в асфальтобетонних покриттях конструкцій нежорстких дорожніх одягів»;
4. МР В.2.3-02070915-848:2014 «Методичні рекомендації встановлення параметрів розрахункового навантаження для проектування дорожніх одягів»;
5. ДСТУ 8824:2019 «Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку».

Начальник Відділу
інноваційного розвитку

О.Ю. Тимошук

ДЕРЖАНЕ АГЕНСТАВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ



**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО – УКРАЇНСЬКИЙ
ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ З ПРОЕКТУВАННЯ
ОБ'ЄКТІВ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРДІПРОДОР**

03680, м. Київ, Повітрофлотський пр-кт, 39/1
тел./факс: (044) 206-64-30
e-mail: okt@diprodor.com



“04” 11 2020 р.

№ 1478-01

ДОВІДКА

впровадження наукових розробок аспіранта Національного
транспортного університету
Райковського Віталія Францевича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри аеропорти Національного транспортного університету Райковського В.Ф. були впроваджені в період з 2006 по 2018 роки в Українському державному інституті з проектування об'єктів дорожнього господарства ДП “Укрдіпродор”. За цей період Райковський В.Ф. працював в інформаційно-аналітичному відділі та займався виконанням робіт зі збору даних, обробкою та аналізом транспортно-експлуатаційних показників стану мережі автомобільних доріг у складі програми СУСП, з наступним внесенням даних до бази даних. За період роботи було опрацьовано понад 150 тисяч кілометрів доріг.

Також у цей період Райковський В.Ф. займався розробкою та впровадженням аналітичної системи збору та аналізу даних з лічильників автоматичного обліку руху типу Marksman 660. Результати цієї роботи знайшли своє відображення в ДСТУ 8824:2019 «Автомобільні дороги. Визначення інтенсивності руху та складу транспортного потоку».

Використання алгоритмів аналітичної системи аналізу даних з лічильників автоматичного обліку руху дозволили підвищити достовірність отриманих даних для подальшого використання їх при проектуванні автомобільних доріг.

Довідку складено для подання в спеціалізовану вчену Раду по захисту дисертацій.

В.о. Директора



П.В. Майбородюк

