

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РАЙКОВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ ФРАНЦЕВИЧ



УДК 625.7/.8

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ
НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПРИ ДІЇ НАВАНТАЖЕННЯ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Гамеляк Ігор Павлович,
Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри аеропортів, м. Київ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Батракова Анжеліка Геннадіївна,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, м. Харків

кандидат технічних наук, доцент,
Ільченко Володимир Васильович,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», доцент кафедри автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель, м. Полтава

Захист відбудеться «23» квітня 2021 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 Національного транспортного університету за адресою: м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Михайла Бойчука, 42.

Автореферат розісланий «19» березня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



О.Ю. Усиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 рівності 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 - ої степені. 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 «Укрдїпродор» 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 0111U005565); Р В.2.3–21476215-803:2012 «Рекомендації з розрахунку температурних полів і напружень в асфальтобетонних покриттях конструкцій нежорстких дорожніх одягів» (№ РК 0111U005565); 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 проєктування 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 проєктування, 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 проєктування конструкції дорожнього одягу для перевезення

великовагових та великогабаритних вантажів дорогами України; [2] – наведено аналіз транспортно-експлуатаційних показників стану автомобільних доріг державного значення; [3] – експериментально визначено навантаження на вісі ТЗ; [4] – встановлено експериментальні залежності між параметрами навантаження на вісь і тиском у шинах ТЗ; [5] – наведено аналіз зміни коефіцієнтів приросту інтенсивності ТЗ в часі для АДЗК України; [6] – встановлено параметри режиму руху ТЗ, що використовуються для проєктування дорожнього одягу; [7] – наведено особливості технології підсилення дорожніх покриттів шарами цементобетону; [8] – встановлені інтенсивності руху та склади транспортного потоку на АДЗК; [9] – приведена методика оцінки якості та неоднорідності фрезерованого асфальтобетону, [20] – виконана оцінка загального модуля пружності на основі польових випробувань.

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 р.р.; 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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 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. Оксень, 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 короточасної 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.

Розрахунок надійності конструкцій за критерієм допустимого пружного прогину. 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 за формулою:

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

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

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

де $E_{заг}$ – загальний модуль пружності конструкції, визначається розрахунком, або на основі експериментальних випробувань дорожніх одягів, МПа;

$E_{потр}(\sum N_p)$ – потрібний модуль пружності конструкції, визначається з урахуванням капітальності дорожнього одягу та сумарної інтенсивності прикладання нормованих осей навантаження $\sum N_p$, МПа;

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

$K_{мцЕ}(\sum N_p)$ – коефіцієнт запасу міцності дорожнього одягу за критерієм загального модуля пружності.

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:

$$K_{IRI} = 0,5 + F(\beta_{IRI}) = 0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\beta_{IRI}}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (3)$$

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

β_{IRI} – характеристика надійності за критерієм нерівності;

$$\beta_{IRI} = \frac{S_{\text{доп}} - S_{\text{факт}}}{\sqrt{\sigma_{\text{доп}}^2 + \sigma_{\text{факт}}^2}}, \text{ або } \beta_{IRI} = \frac{K_{IRI} - 1}{\sqrt{V_{IRI}^2 \cdot K_{IRI}^2 + V_{S_{\text{факт}}}^2}}, \quad (4)$$

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;

$\sigma_{\text{доп}}, \sigma_{\text{факт}}, V_{\text{факт}}$ – 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:

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2}, \quad (5)$$

де T – тривалість вимірювання; $a_w(t)$ – 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.

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.

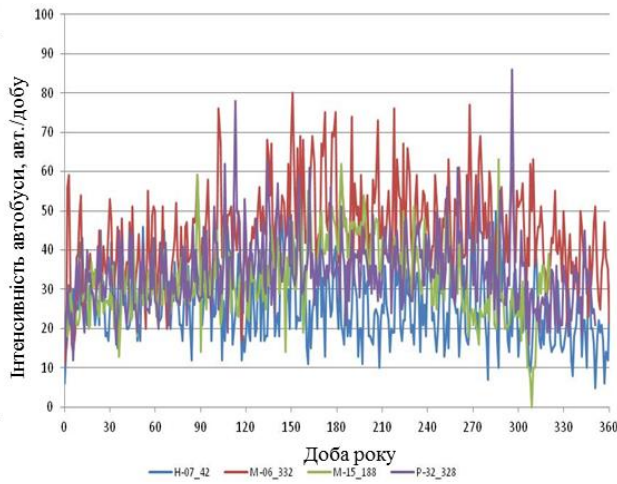
Наведено методики та виконані експериментальні дослідження щодо:

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

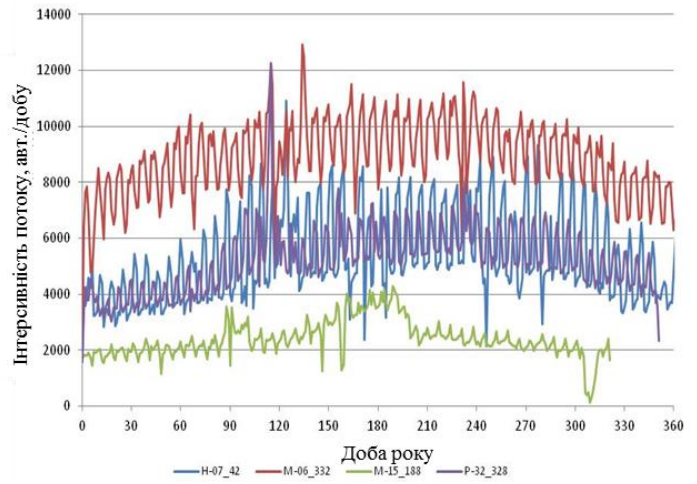
б) збору даних, аналізу та встановлення зміни інтенсивності руху та складу транспортного потоку на мережі автомобільних доріг України державного значення за 2005 – 2018 роки;

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;

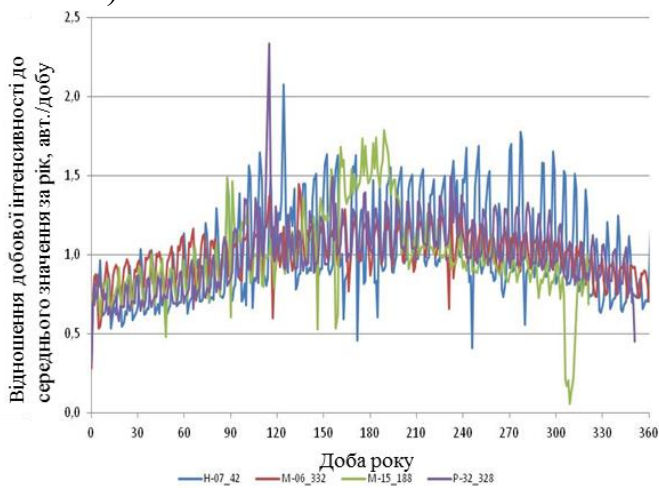
г) оцінки транспортно-експлуатаційних показників мережі АДЗК за даними польових випробувань за 2008 – 2018 рр.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Зміна інтенсивності руху:
а) для автобусів; б) і для потоку;
в) відношення добової інтенсивності до середньорічної

Встановлено закономірності зміни навантаження на кожну вісь різних типів ТЗ та закономірності їх розподілу (рис. 2).

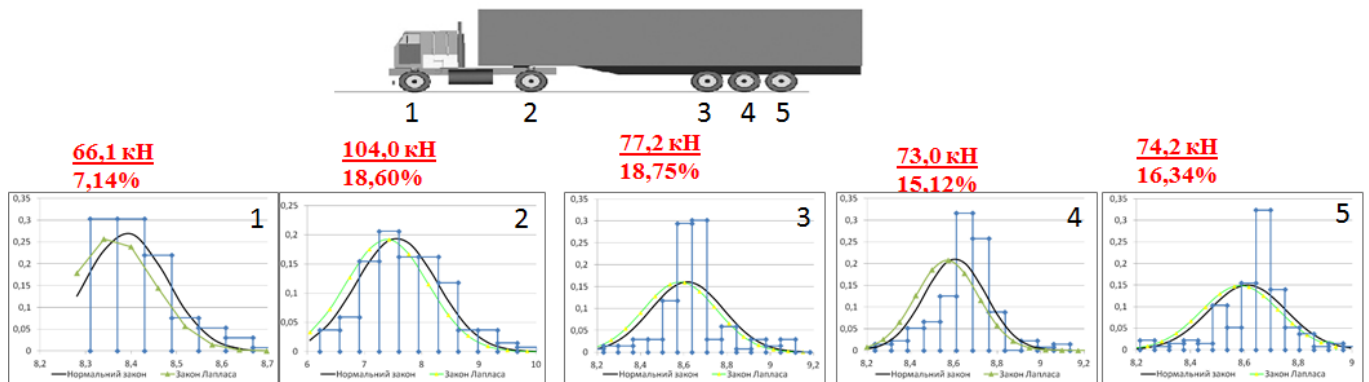


Рисунок 2 – Приклад розподілу навантажень на осі сідельного тягача з напівприцепом

Польові визначення ТЕС на мережі автомобільних доріг державного значення виконувалось з використанням сучасних ходових комплексів (рис. 3а – 3б).



а)



б)

Рисунок 3 – Обладнання для визначення ТЕС: а) ходовий комплекс (визначення нерівності, відеозапис обстановки, визначення міри ураження); б) дорожня лабораторія для УДВО-7 (визначення нерівності, модуля пружності, коефіцієнта зчеплення колеса автомобіля з покриттям)

У 2008 – 2018 роках виконано широкомасштабні визначення ТЕС на мережі АДЗК України (табл. 1) з використанням УДВО-7 на базі дорожньої лабораторії ДП «Укрдїпродор».

Таблиця 1 – Перелік обстежених автомобільних доріг за період 2008-2017 рр.

Ч.ч.	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)	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

Результати обстежень АДЗК різними ходовими комплексами наведено на рис. 4, на прикладі автомобільної дорога М-01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі, у межах Чернігівської області.

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

$$PT = 13,457 \cdot IRI^{2,0469}, \quad IRI = 0,2808 \cdot PT^{0,4885}, \quad (7)$$

де PT – нерівність за поштовхоміром, см/км; IRI – нерівність за міжнародним індексом нерівності. 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 %.

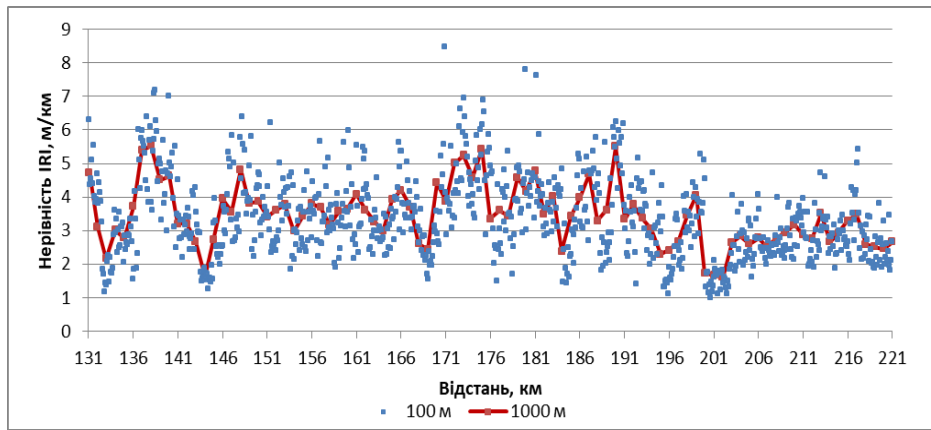


Рисунок 4 – Приклади визначення показників ТЕС: нерівність дорожнього покриття визначена середнім ходовим комплексом, ділянками на 100 м та на 1 км

На рис. 5 наведено результати зміни нерівності IRI дорожніх покриттів за 2017 р.

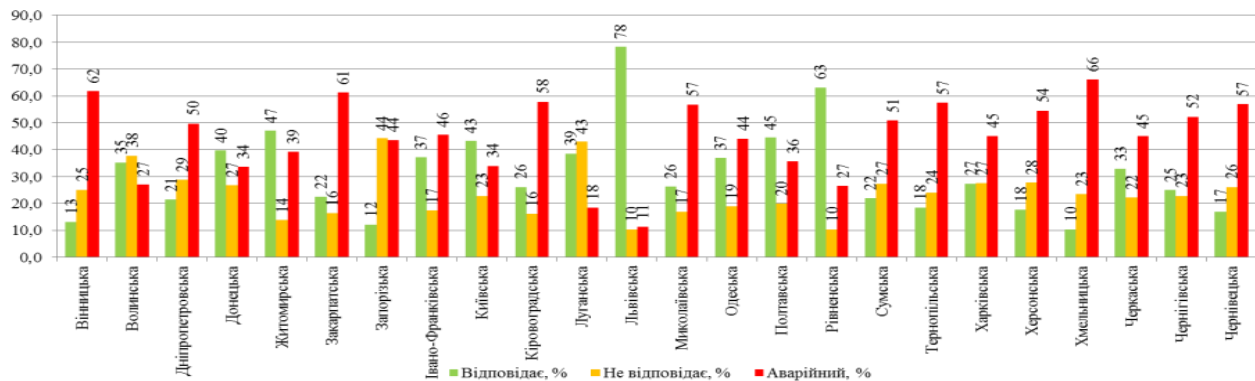


Рисунок 5 – Результати обстеження та аналізу зміни нерівності IRI дорожніх покриттів на мережі автомобільних доріг за 2017

Приклад результатів польових випробувань міцності дорожнього одягу на автомобільній дорозі Р-55 Одеса – Вознесенськ– Новий Буг у межах Миколаївської області та їх обробка наведені на рис. 6.

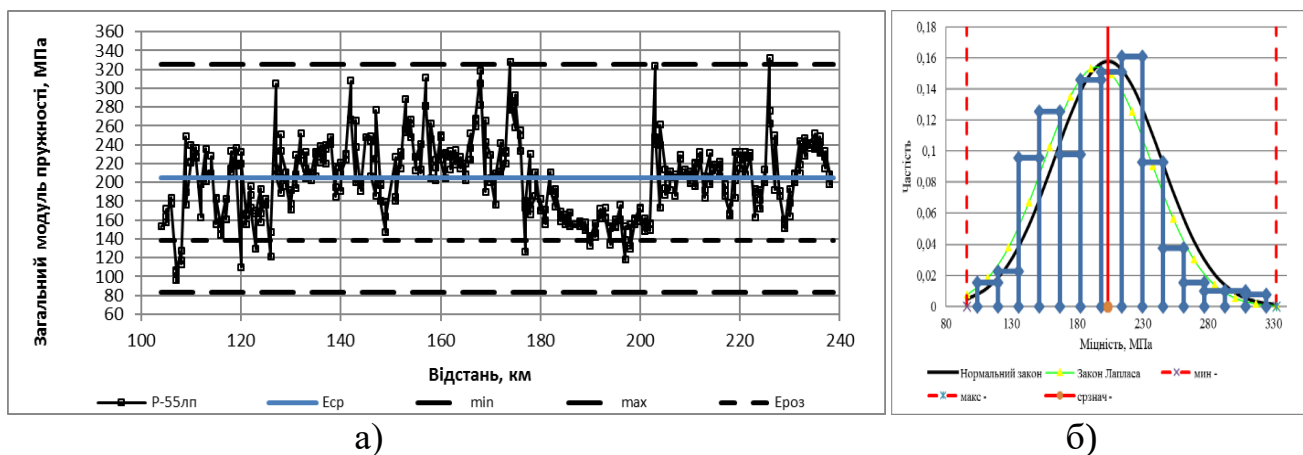


Рисунок 6 – Результати польових випробувань на автомобільній дорозі Р-55 Одеса – Вознесенськ – Новий Буг у межах Миколаївської області: а) загальний модуль пружності дорожнього одягу з урахуванням калібрувального коефіцієнта; б) гістограма та щільність нормального закону розподілу

Таблиця 2 – Результати визначення приведенного модуля пружності та розрахунку надійності

Параметри	М 06	М 08	М 23	М 24	М 25	Н 09	Н 13	Н 21
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 середньо-квадратичне $S_{Епотр}$	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. 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. На рис. 7 наведено гістограми, щільності ймовірності та функції нормального розподілу модуля пружності дорожнього покриття для автомобільної дороги М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на Таганрог) у межах Миколаївської області.

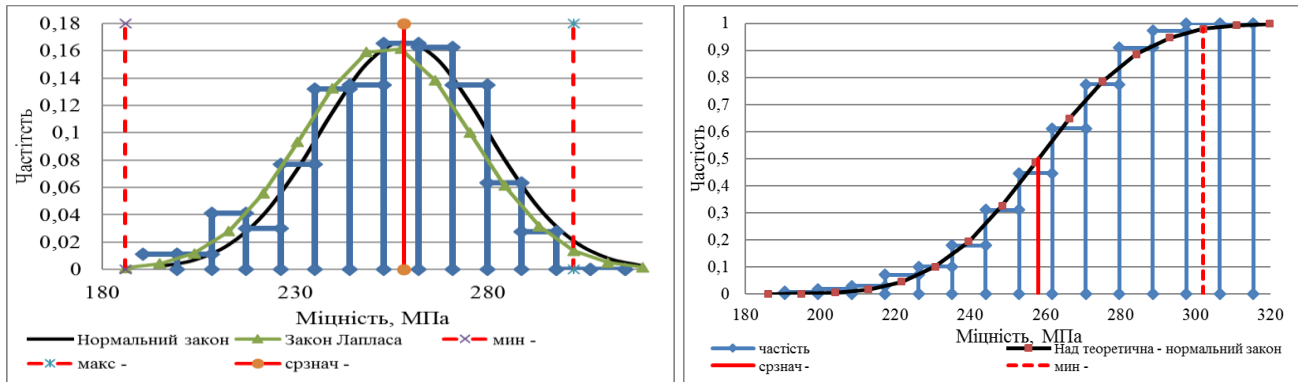


Рисунок 7 – Нормальний закон розподілу та гістограма частотності загального модуля пружності дорожнього покриття, а/д М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (на Таганрог) у межах Миколаївської області (зворотній напрям)

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. 8).

Приклад результатів аналізу коефіцієнтів запасу рівності та зчеплення наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Статистичний аналіз розрахунку коефіцієнтів запасу міцності показників ТЕС на ділянках автомобільної дороги М-14 Одеса – Мелітополь – Новоазовськ (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

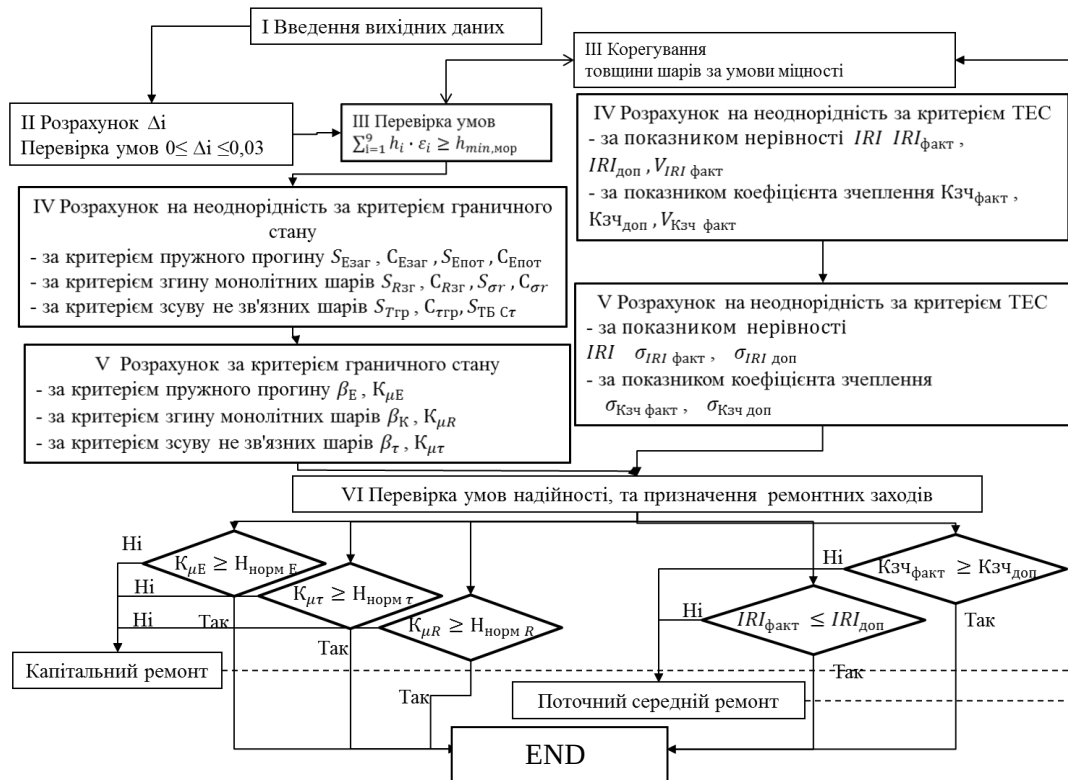


Рисунок 8 – Алгоритм розрахунку надійності КДО та призначення виду ремонту

На рис. 9 наведено аналіз впливу факторів на надійність дорожнього одягу за критерієм згину монолітних шарів.

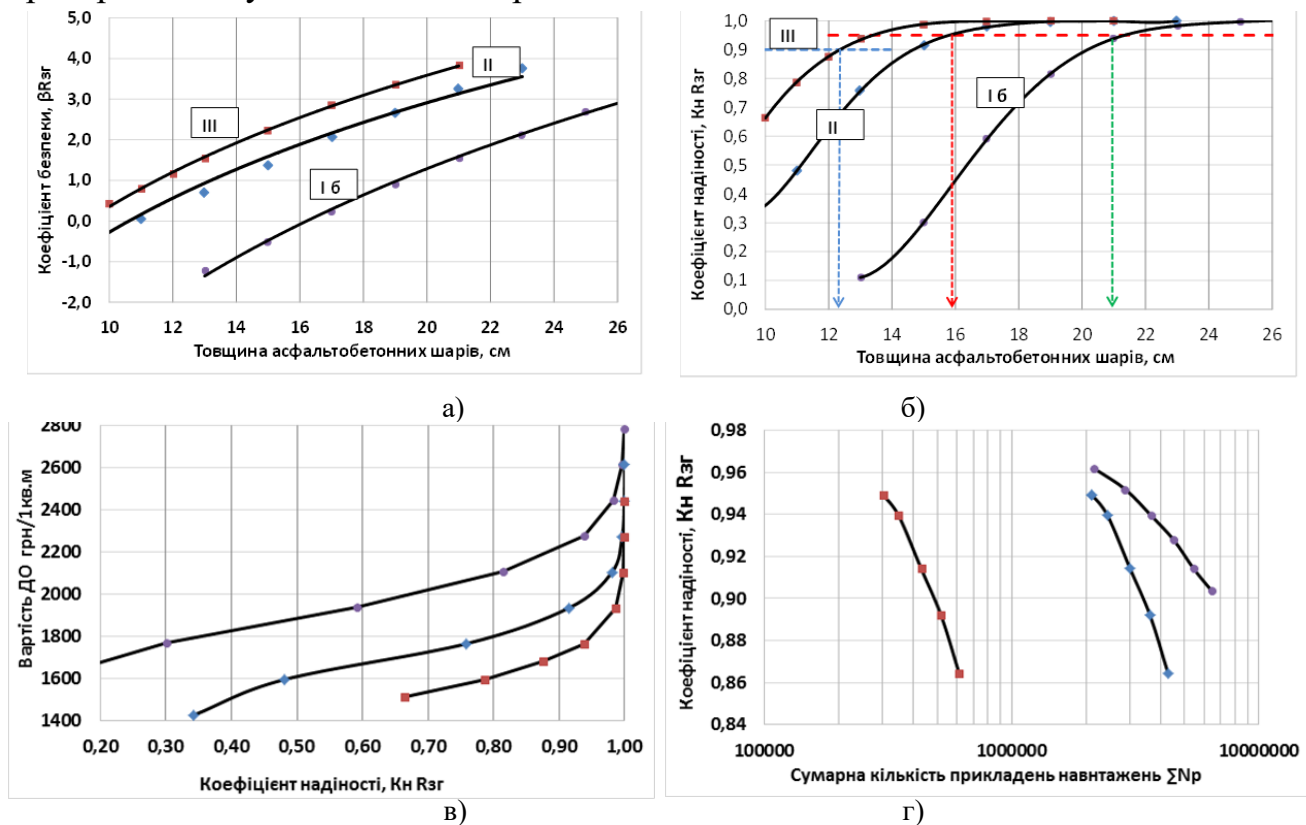


Рисунок 9 – Зв'язок коефіцієнта надійності для категорій доріг Іб, II та III від: а) товщина а/д шарів – коефіцієнт безпеки $\beta_{R3г}$, б) товщина а/д шарів – коефіцієнт надійності $K_{н R3г}$, в) коефіцієнт надійності $K_{н R3г}$ – вартість грн./м²; г) коефіцієнт надійності $K_{н R3г}$ – сумарна кількість прикладень навантаження $\sum Np$

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.

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 год) та оптимальну тривалість (2 год) 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 розрахунково-нормативного навантаження та встановлення необхідного модуля пружності.

Отримано коефіцієнти приведення (1200 коефіцієнтів для кожного автоматичного лічильника обліку транспортних засобів) для встановлення середньодобової річної інтенсивності руху для конкретного перегону автомобільної дороги, що враховують особливості години обліку, дня тижня, місяця року коли виконувались спостереження.

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 прицепами 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.

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 вплив 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 проєктування 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 проєктування, 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 проєктних 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.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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. Проєктування конструкції дорожнього одягу для перевезення великовагових та великогабаритних вантажів дорогами України. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2020. Issue: 244, VIII(30). 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 проєктування 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.

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.

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.

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 flexible pavement reliability calculation under loading, taking into account the results of long-term surveys of changes in traffic volume and traffic flow composition, determining the changes in 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 (determining the index of pavement damage, measuring the actual value of traffic volume and traffic flow composition, general modulus of elasticity, roughness and tire grip coefficient) was suggested.

The conducted experimental researches confirmed the theoretical provisions of the method for assessing the reliability of flexible pavement based on the results of perennial changes in traffic volume and traffic flow composition, measurements of road pavement riding qualities (types and degree of destruction, strength, roughness, tire grip) and proved the adequacy of the developed model for assessing the reliability of road pavement design.

Measurements results analysis was carried out and practical application of the load model 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 flexible pavement design reliability calculation based on perennial tests was suggested which is based on the information on the structure and heterogeneity of pavement, flexible pavement designing according to the criteria of the limit state, and that allows assessing the pavement design reliability taking into account the improved load model and its heterogeneity, the margin of strength of the structure and its heterogeneity.

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

Підписано до друку 16.03.2021 р. Формат 60 x 84/16.
Папір офсетний. Друк цифровий.
Обсяг 0,9 ум.-друк. арк. Наклад 100 прим. Зам. № П-2021-25

Надруковано у ЦОП «Глобус» ФОП Кравченко Я.О.

Свідоцтво № ДК 6078 від 12.03.2018 р.

02100, м. Київ, вул. Будівельників, буд. 32/2

Тел. (044) 561-95-31, (067) 506-57-55, (050) 57-06-555.

