

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

ШУЛЯК ІВАН СТАНІСЛАВОВИЧ

УДК 625.7/.8

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ
ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ
ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Павлюк Дмитро Олександрович,
Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри проектування доріг, геодезії та
землеустрою, м. Київ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Солодкий Сергій Йосифович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри автомобільних доріг та мостів Інституту
будівництва та інженерії довкілля, м. Львів.

кандидат технічних наук, доцент
Павленко Надія Володимирівна,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри проектування доріг, геодезії і
землеустрою, м. Харків.

Захист відбудеться «__» _____ 2018 р. о __ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий «__» _____ 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.І. Каськів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В сучасних умовах недостатнього фінансування дорожньої галузі України надзвичайно актуальним є питання збереження існуючої мережі автомобільних доріг. Вирішення цього питання пов'язане із виявленням ділянок доріг з недостатньою несучою здатністю та їх підсиленням.

Одним з найбільш об'єктивних методів оцінювання стану дорожніх конструкцій та їх шарів є штампові випробування, при яких навантаження передається через жорсткий штамп, і вимірюється вертикальна деформація (повна чи пружна) до або після зняття навантаження. За визначеним повним або пружним прогином знаходиться відповідно модуль деформації або модуль пружності, які і є основними показниками деформативності шару чи дорожньої конструкції в цілому.

На стадії експлуатації штампові випробування доцільно застосовувати при пошарових випробуваннях з метою встановлення причин руйнування дорожньої конструкції. Причиною може бути недостатня несуча здатність ґрунтової основи чи конструктивних шарів дорожнього одягу, в тому числі шарів покриття.

Для прийняття обґрунтованих проектних рішень при капітальному ремонті та реконструкції автомобільних доріг також необхідно виконувати штампові випробування.

В той же час в Україні дані випробування на практиці застосовуються дуже рідко, оскільки вимагають значних витрат часу і пов'язані з ручною працею при створенні навантаження. При цьому рівень розвитку засобів і приладів для таких випробувань суттєво відстає від рівня розвитку аналогічних приладів, розроблених за кордоном.

Останнім часом в результаті постійного зростання інтенсивності руху та збільшення в складі транспортного потоку кількості великовагових транспортних засобів актуальною для дорожнього господарства України постала ще одна серйозна проблема – колійності, яка на деяких ділянках автомобільних доріг загального користування набула загрозливого характеру.

Переважає більшість доріг державного значення має колію глибиною більше 40 мм. Зустрічаються ділянки доріг з вкрай небезпечними умовами для руху автомобілів. Глибина колії на таких ділянках досягає 15 см і більше. Навіть на деяких ділянках доріг з новими покриттями у т. ч. із ЩМА, спостерігається колія на покритті.

Відомі методи оцінювання стійкості асфальтобетонних покриттів до утворення колії можна поділити на дві основні групи: лабораторні та польові. Кожен з методів має свої особливості, призначення, переваги та недоліки в порівнянні один з одним.

При цьому в Україні на сьогоднішній день відсутні методи та засоби оцінювання стійкості дорожніх конструкцій з асфальтобетонним покриттям до утворення колії у реальних умовах на конкретних ділянках автомобільних доріг.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – удосконалення методів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Основні дослідження теоретичного і прикладного характеру виконані згідно з

тематикою науково-дослідних робіт Національного транспортного університету та планами науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України, в рамках виконання господарсько-договірних науково-дослідних робіт: «Розробка мобільного комплексу для діагностики експлуатаційного стану дорожніх покриттів «МК-ДЕС-НТУ» (д/б № 30, номер державної реєстрації 0115U002268), «Оцінка колієстійкості і колійності дорожнього асфальтобетонного покриття» (д/б № 47, номер державної реєстрації 0117U002325), «Провести аналіз зарубіжних нормативних документів щодо оцінки якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу, провести експериментальні вимірювання та розробити рекомендації щодо удосконалення вітчизняної нормативної бази» (д/б № 100-12, номер державної реєстрації 0112U004780), «Виконати моніторинг стану експериментальних ділянок та дослідити закономірності зміни в часі деформативних характеристик дорожніх конструкцій, показників рівності та колійності дорожніх покриттів та розробити пропозиції з удосконалення нормативно-технічної бази щодо оцінки і прогнозування транспортно-експлуатаційних показників та проектування дорожніх одягів» (д/б № 41-13, номер державної реєстрації 0113U004790), «Удосконалити експериментальний зразок вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій, розробити конструкторську документацію на прилад та методичні рекомендації щодо проведення вимірювань з його використанням» (д/б № 93-14, номер державної реєстрації 0114U006209), «Виконати дослідження та переглянути ВБН В.2.3-218-171-2002 «Спорудження земляного полотна автомобільних доріг» (д/б № 78-14, номер державної реєстрації 0114U004051).

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи є удосконалення методів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг шляхом підвищення їх продуктивності, точності, інформативності та безпеки.*

Для досягнення мети дисертаційного дослідження були поставлені такі *завдання*:

- проаналізувати відомі методи та засоби випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг;
- удосконалити метод статичних штампових випробувань за рахунок розробки автоматизованої вимірювальної станції, для якої обґрунтувати необхідну кількість датчиків переміщень при проведенні вимірювань осідання штампа;
- удосконалити метод динамічних випробувань дорожніх конструкцій за рахунок впровадження нового параметру при визначенні фактичного модуля пружності, що дасть можливість спростити процес вимірювань і зменшити їх похибки;
- розробити метод оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії в реальних умовах та обґрунтувати параметри обладнання для його практичної реалізації;
- на підставі удосконалених методів провести натурні дослідження на ділянках доріг з різними конструкціями нежорстких дорожніх одягів та розробити методики випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг.

Об'єкт дослідження – дорожні конструкції нежорсткого типу.

Предмет дослідження – методи випробувань дорожніх конструкцій нежорсткого типу під дією випробувального навантаження при діагностуванні автомобільних доріг.

Методи дослідження – методи теорії в'язко-пружності, математичного моделювання, математичної статистики та експериментальні дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- обґрунтовано новий метод визначення фактичного модуля пружності за тривалістю удару на основі удосконалення математичної моделі динамічного навантаження дорожньої конструкції;

- запропоновано метод статичних штампових випробувань з використанням розробленої автоматизованої вимірювальної станції, що дає можливість виконувати повторні навантаження із суттєвим зменшенням їх тривалості;

- розроблено метод оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії за допомогою сферичного штампа при повторних динамічних навантаженнях, ефективність якого підтверджена широким спектром досліджень у натурних умовах.

Достовірність отриманих результатів підтверджується використанням основних законів механіки та теорії в'язко-пружності при обґрунтуванні нового методу визначення фактичного модуля пружності за величиною тривалості удару, узгодженістю результатів теоретичних та експериментальних досліджень, використанням сучасних повірених вимірювальних засобів при проведенні натурних експериментів, зіставленням основних положень роботи з результатами досліджень інших авторів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

- розроблений метод визначення фактичного модуля пружності за тривалістю удару дає можливість відмовитись від використання реперних балок при динамічних випробуваннях і підвищити їх точність за рахунок виключення операцій подвійного інтегрування з датчика прискорення;

- отримані результати наукових досліджень дають можливість оцінювати стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії на існуючих ділянках автомобільних доріг.

Результати дисертаційного дослідження було використано при розробці нормативних документів Р Г.1-02070915-845:2014 «Рекомендації щодо удосконалення вітчизняної нормативної бази по оцінці якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу», МР В.2.3-02070915-860:2015 «Методичні рекомендації щодо проведення вимірювань з використанням вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій «ВСШВДК-2-15», ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016 «Настанова з улаштування земляного полотна автомобільних доріг», ДСТУ Б В.2.3-42:2016 «Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу», а також впроваджено в навчальний процес Національного транспортного університету при підготовці фахівців за напрямом «Будівництво та цивільна інженерія» з фахового спрямування (спеціалізації) «Автомобільні дороги і аеродроми» в лекційних курсах з дисципліни «Діагностика доріг і проектування капітального ремонту та реконструкції доріг».

Особистий внесок здобувача. Наукові результати теоретичних та експериментальних досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно [1 – 4, 11 – 12, 14 – 19, 21]. У спільних публікаціях автором удосконалено математичну модель динамічного навантаження дорожньої конструкції та розроблено метод визначення фактичного модуля пружності за тривалістю удару [22]; обґрунтовано технічні характеристики, виконано лабораторні, польові та приймальні випробування автоматизованої вимірювальної станції, а також розроблено програму та методику метрологічної атестації даного випробувального обладнання [6 – 10, 13, 23]; розроблено метод оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії в реальних умовах, обґрунтовано технічні характеристики пристрою для сканування поверхні дорожнього покриття, здійснено вибір дослідних ділянок для проведення натурних досліджень, встановлено залежності форми і глибини лунки від типу асфальтобетону, температури поверхні покриття, конструкції дорожнього одягу, обґрунтовано основні положення методики проведення випробувань [5, 20, 24].

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на: міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні методи і технології проектування, будівництва та експлуатації інженерних споруд на автомобільних дорогах», 4 – 5 квітня 2013 р., Київ, Україна; II міжнародній науковій конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах», 29 – 30 жовтня 2013 р., Вінниця, Україна; XII міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах», 14 – 16 жовтня 2014 р., Вінниця, Україна; всеукраїнській інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій», 18 березня 2015 р., Полтава, Україна; всеукраїнській інтернет-конференції «Інформаційні технології та землеустрій в управлінні територіальним розвитком», 6 квітня 2016 р., Полтава, Україна; міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні геоінформаційні та комп'ютерно-інноваційні технології дорожньої галузі, аеродромного будівництва та землеустрою», 26 – 27 травня 2016 р., Харків, Україна; міжнародній конференції «Сучасні методи і технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг, споруд на них та управління проектами їх розвитку», 22 – 24 листопада 2016 р., Київ, Україна; 69-й науковій конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, 19 квітня – 19 травня 2017 р., Полтава, Україна; наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету № № 69 – 74 в 2013 – 2018 рр..

Публікації. У процесі виконання дисертаційної роботи теоретичні та практичні положення опубліковано в 24 наукових працях, із них: 1 одноосібна стаття у закордонному виданні; 7 статей у наукових фахових виданнях України, у тому числі 3 одноосібних; 13 праць апробаційного характеру, з них 9 одноосібних; 3 патенти.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 145 найменувань на

17 сторінках, 7 додатків на 66 сторінках, 92 рисунків і 16 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 245 сторінок, з них основного тексту – 135 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір теми дослідження та її актуальність, сформульовано мету та завдання дослідження, наведено основні результати, одержані автором, виділено їх наукову новизну та практичну цінність.

Перший розділ містить аналіз двох основних груп методів і засобів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг, а саме:

- методів, заснованих на визначенні повних чи пружних деформацій при оцінюванні деформаційних характеристик дорожніх конструкцій;
- методів, заснованих на визначенні залишкових пластичних деформацій при оцінюванні стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії.

Виконано детальний огляд обладнання для створення та передачі випробувального навантаження, а також методик, приладів та засобів вимірювань величин та характеру деформацій, викликаних впливом цього навантаження.

Питаннями, пов'язаними з розробкою методів та засобів оцінювання деформаційних характеристик дорожніх конструкцій нежорсткого типу займалися такі вчені, як: Аленіч М.Д., Апестін В.К., Балаценко Ю.О., Барздо В.І., Батракова А.Г., Батраков О.Т., Білан О.О., Біруля О.К., Булах Є.О., Волокітіна О.А., Волокітін В.П., Гамеляк І.П., Глуховський В.М., Гончаренко Ф.П., Гузненко С.О., Гусєв В.М., Єрьомін А.В., Закурдаєв І.Є., Зінченко В.Д., Іваніца Є.В., Іванов М.М., Ілліополов С.К., Іноземцев А.А., Казарновський В.Д., Кизима С.С., Кіяшко І.В., Коганзон М.С., Коновалов С.В., Коновалов С.С., Корсунський М.Б., Красиков О.О., Кривиський А.М., Лебедєв О.С., Лейвак В.О., Леонович І.Й., Лушніков Н.О., Лушніков П.О., Лобов Д.В., Любченко В.А., Міхович С.Г., Міщенко М.Л., Мордвин С.С., Новаковський Д.М., Павленко Н.В., Павлюк Д.О., Пахомов А.О., Піскунов В.Г., Плевако В.П., Пузаков М.О., Ряпухін В.М., Сіденко В.М., Смірнов О.В., Стелюк Л.П., Стрижевський О.М., Теляєв П.І., Теренецький К.С., Тиратурян А.М., Титаренко О.М., Ткачук Ю.П., Троїцька М.М., Углова Є.В., Федоренко Ю.М., Шак О.М., Яковлєв Ю.М., Adam D., Aprea A.K., Arnold G., Ferne B., Isola M., Korf F., Nazarian S., Park H.M, Paulmichl I. та ін.

Проведений аналіз показав, що головними недоліками методик статичних штапкових випробувань є: низька продуктивність випробувань, значна вага та громіздкість обладнання, небезпека потрапляння оператора під колеса дорожньо-будівельної техніки чи рухомого транспорту, необхідність підключення до гідросистеми автогрейдера, тобто залежність від певного виду дорожньої техніки.

Невирішеною також залишається задача про необхідну та достатню кількість датчиків при проведенні вимірювань осідання штапа, оскільки в різних методиках статичних штапкових випробувань ця кількість різна.

Головним недоліком методик динамічних штапкових випробувань є необхідність застосування для вимірювання прогину покриття реперних балок. Наявність останніх потребує використання ручної праці оператора або ускладнює конструкцію самих установок.

Протягом останніх десятиліть як в Україні, так і за кордоном, дослідження багатьох вчених були направлені на розробку методів та засобів оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії. Зокрема, значний вклад у вирішення даного питання внесли: Аксьонов С.Ю., Александров А.С., Бонченко Г.А., Веренько В.А., Воловик О.О., Гезенцвей Л.Б., Горелишев М.В., Горячев М.Г., Дорожко Є.В., Жданюк В.К., Золотарьов В.О., Кирюхін Г.Н., Кусков В.М., Матуа В.П., Мевлідінов З.А., Мирончук С.О., Мішутін А.В., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Поздняков М.К., Радовський Б.С., Руденський А.В., Смірнов О.В., Солодкий С.Й., Соловчук А.О., Телтаєв Б.Б., Чирва Д.В., Шумчик В.К., Яромко В.М., Archilla A.R., Aschenbrener T., Brown E.R., Hoffman B.R., Madanat S., Murphy M.R., Nam B.H., Powell B., Prithvi S.K., Prozzi J.A., Serigos P.A., Sixbey D.G., Stuart K., Sybilski D., Timm D., West R., Willis R., Wu R. та ін.

На сьогоднішній день існує дві основні групи методів оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії: лабораторні та польові.

Головний недолік лабораторних методів полягає в тому, що вони не відображають реальний напружено-деформований стан дорожніх конструкцій, тому що час, швидкість і кількість прикладень розрахункового навантаження не відповідають фактичним умовам роботи автомобільної дороги.

Польові методи представлені у вигляді спеціальних стендів або полігонів, а також мобільних версій навантажувальних установок. Недоліком стендових методів є те, що вони придатні для випробувань лише завчасно закладених дорожніх конструкцій, а недоліками спеціальних мобільних версій навантажувальних установок є висока вартість та громіздкість випробувального обладнання.

В Україні питання оцінювання стійкості дорожніх конструкцій з асфальтобетонним покриттям до утворення колії в реальних умовах на конкретних ділянках автомобільних доріг на сьогодні залишається не вирішеним.

На основі вищенаведеного аналізу були сформульовані мета та завдання дослідження.

У другому розділі наведено теоретичні аспекти удосконалення методів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг.

В різних методиках статичних штампових випробувань, як закордонних, так і українській, передбачено використання різної кількості датчиків переміщень для вимірювання осідання штамп (рис. 1).

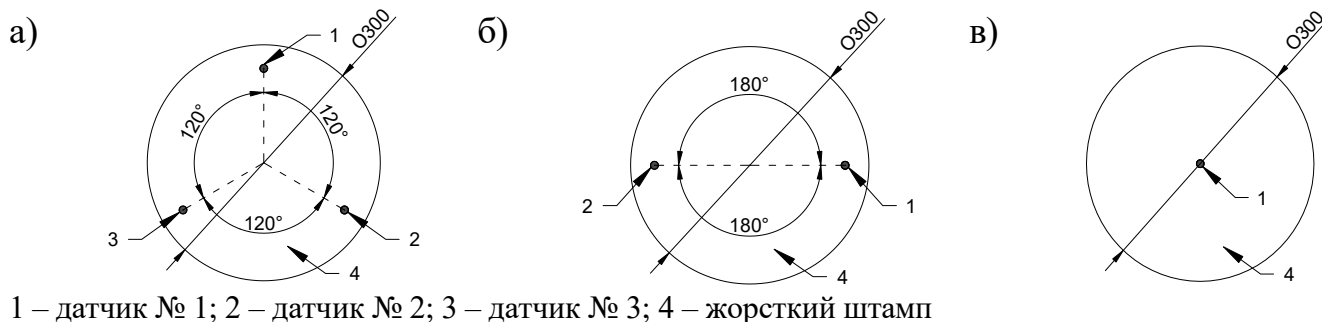


Рисунок 1 – Схеми розміщення датчиків переміщень за методикою: а) ÖNORM B 4417 (Австрія); б) ВБН В.2.3-218-186-2004 (Україна); в) DIN 18134 (Німеччина)

Використання австрійської методики з трьома датчиками переміщень (рис. 1, а) дозволяє виявити перекошування штампа при навантаженні, але незрозуміло, як визначити осідання в центрі штампа, коли показання датчиків в момент перекосу будуть абсолютно різними. Німецька методика з одним датчиком переміщення (рис. 1, в) набагато простіша, але не враховує перекошування штампа. Використання української методики (рис. 1, б) взагалі не доцільне, оскільки два датчики переміщень не дають змоги відслідкувати перекос штампа.

Спочатку розглядалось переміщення штампа при перекосі в плоскому деформованому стані як поворот на деякий кут α і паралельний перенос (рис. 2, а).

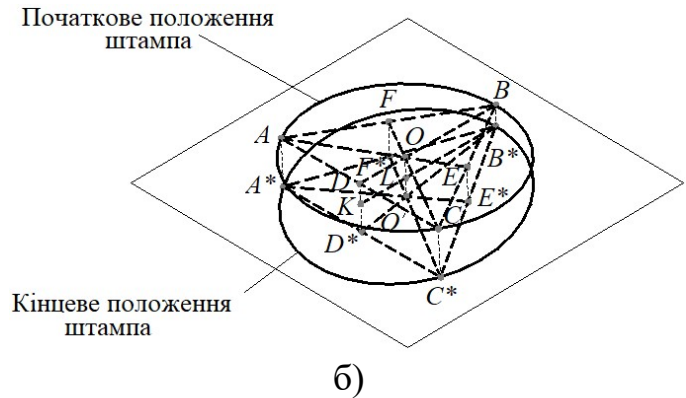
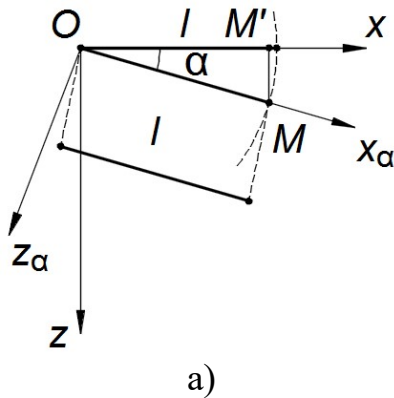


Рисунок 2 – Схема переміщення штампа при перекосі: а) в плоскому деформованому стані; б) в об'ємному деформованому стані

В такому випадку осідання штампа з достатньою для інженерної практики точністю можна виміряти одним датчиком переміщення, встановленим в центрі штампа, оскільки буде справедливою залежність:

$$S_i = \frac{S_{i_1} + S_{i_2} + S_{i_3}}{3}, \quad (1)$$

де S_i – осідання в центрі штампа;

$S_{i_1}, S_{i_2}, S_{i_3}$ – показання датчиків переміщень, розміщених так, як показано на рис. 1, а.

В дійсності штамп може обертатися не тільки навколо осі Oy , а і навколо осі Ox . Тоді залежність (1) буде некоректною. Тому, було побудовано окрему математичну модель, яка описує процес переміщення штампа при перекосі в об'ємному деформованому стані (рис. 2, б).

Вважали, що в недеформованому стані штамп знаходився в площині $z = 0$, а в точках A, B, C знаходились датчики переміщень (рис. 2, б). Звідси визначали координати точок A, B і C в просторі.

Під дією навантаження штамп осідає та перекошується. Точки A, B, C зміщуються в просторі вздовж осі Oz . Переміщення точок можна визначити за допомогою датчиків. Рівняння площини штампа після осідання буде мати вигляд:

$$A^* \cdot x + B^* \cdot y + C^* \cdot z + D^* = 0. \quad (2)$$

Кут між площинами $z = 0$ та (2) можна визначити із залежності:

$$\cos \gamma = \frac{|C^*|}{\sqrt{A^{*2} + B^{*2} + C^{*2}}}. \quad (3)$$

Відстань від центральної точки штампа O до прямої перетину двох площин можна знайти за формулою:

$$d = \frac{|A^* \cdot x_0 + B^* \cdot y_0 + D^*|}{\sqrt{A^{*2} + B^{*2}}}. \quad (4)$$

Тоді осідання в центрі штампа OO' визначається виразом:

$$OO' = d \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (5)$$

Розроблена математична модель дає змогу визначити осідання в центрі штампа, необхідне для розрахунку модуля пружності чи модуля деформації, у випадку, коли штамп в момент перекошу буде обертатися як навколо осі Oy , так і навколо осі Ox , а кути повороту α та β будуть значними. Експериментальна перевірка даної моделі описана в розділі 3.

Наступним етапом роботи була розробка теоретичних передумов нового методу визначення фактичного модуля пружності за допомогою установок динамічного навантаження дорожніх конструкцій через штамп.

Відомі методи засновані на визначенні прогину покриття при динамічному (ударному) навантаженні. Динамічний модуль пружності при цьому визначається за формулою:

$$E = \frac{K_q p D (1 - \mu^2)}{l}, \quad (6)$$

де K_q – коефіцієнт, що залежить від характеру передачі навантаження на покриття: так при випробуванні за допомогою жорсткого штампа $K_q = 0,25\pi$, а за допомогою спареного колеса – $K_q = 1,0$;

p – розрахунковий тиск на покриття, МПа;

D – діаметр штампа, м;

μ – коефіцієнт Пуассона;

l – прогин покриття, м.

Для визначення прогину покриття застосовують реперні балки, які потребують використання ручної праці оператора або ускладнюють конструкцію самої установки при автоматизованому опусканні та підйманні балки.

Мета розробки нового методу полягала у виборі нового параметру, відмінного від прогину покриття. Для її досягнення використовували відомі математичні моделі динамічного навантаження, які засновані на використанні рівнянь вільних чи затухаючих коливань. Приклади таких моделей наведені в роботах Яковлєва Ю.М., Батракова О.Т., Лушнікова Н.О., Korf F., Adam D., Paulmichl I. та ін., а також Булаха Є.О., який використовував лінійне однорідне диференціальне рівняння затухаючих коливань другого порядку

$$\frac{d^2 l}{dt^2} + 2n \frac{dl}{dt} + k^2 l = 0, \quad (7)$$

де t – час, с;

$$n = \frac{c}{2m}, \quad (8)$$

де c – узагальнений коефіцієнт в'язкості дорожньої конструкції, Н/(м/с),
 m – маса штампа з падаючим вантажем, кг;

$$k = \sqrt{\frac{A}{m}}, \quad (9)$$

де

$$A = \frac{\pi ED}{4K_q(1 - \mu^2)}. \quad (10)$$

У нашому випадку, за умови $n < k$ загальний розв'язок рівняння (7) буде мати вигляд:

$$l = e^{-nt} (C_1 \cos \sqrt{k^2 - n^2} \cdot t + C_2 \sin \sqrt{k^2 - n^2} \cdot t). \quad (11)$$

Введемо позначення

$$\sqrt{k^2 - n^2} = k_1, \quad (12)$$

тоді

$$l = e^{-nt} (C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t). \quad (13)$$

Для визначення C_1 і C_2 скористаємося початковими умовами:

$$t = 0; \quad l = 0; \quad \frac{dl}{dt} = V = V_0, \quad (14)$$

де V_0 – початкова швидкість ударника перед дотиканням до покриття.

Знайдемо похідну:

$$V = -ne^{-nt} (C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t) + k_1 e^{-nt} (-C_1 \sin k_1 t + C_2 \cos k_1 t). \quad (15)$$

Підставляючи у вирази (13) і (15) початкові умови, отримаємо:

$$C_1 = 0, \quad C_2 = \frac{V_0}{k_1}. \quad (16)$$

Підставимо (16) в загальний розв'язок (11). Тоді з урахуванням (14) матимемо:

$$l = e^{-nt} \frac{V_0}{k_1} \sin k_1 t. \quad (17)$$

З урахуванням того, що швидкість є похідна осідання по часу, та початкових умов (14) для швидкості ударника матимемо вираз:

$$V = V_0 \cos k_1 t. \quad (18)$$

Обмежимося випадком проведення випробувань при температурах до $+10^\circ\text{C}$, коли в'язкі властивості асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів проявляються дуже слабо. Тоді: $c = 0$, $n = 0$, а

$$k_1 = k. \quad (19)$$

Отже, вираз (18) набуде вигляду:

$$V = V_0 \cos kt. \quad (20)$$

Максимальний прогин покриття буде мати місце при повній зупинці ударника $V = 0$. Прирівнюючи вираз (20) до нуля, знайдемо момент часу T , коли це трапляється:

$$T = \frac{\pi}{2k}. \quad (21)$$

Якщо виміряти час τ удару, який буде в два рази більший, ніж час, визначений за формулою (21):

$$\tau = \frac{\pi}{k}, \quad (22)$$

то можна підрахувати величину параметра k :

$$k = \frac{\pi}{\tau}. \quad (23)$$

З урахуванням виразів (8 – 10) матимемо кінцевий вираз для визначення фактичного модуля пружності E :

$$E = \frac{4\pi m(1 - \mu^2)}{\tau^2 D}, \quad (24)$$

де τ – тривалість удару, с.

Формула (24) відрізняється від формули (6) тим, що замість вимірювання прогину покриття l достатньо виміряти тривалість удару τ .

Таким чином отримано новий метод визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій (патент на винахід України № 111539). Експериментальна перевірка розробленого методу описана в розділі 3.

Наступним етапом теоретичних досліджень було обґрунтування параметрів випробувального обладнання для оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії. При цьому для визначення заглиблення індентора в напівпростір застосовувалась формула Г. Герца з механіки контактної взаємодії тіл:

$$h = 0,825 \cdot \sqrt[3]{\frac{\theta_\Sigma^2 \cdot N^2}{R}}, \quad (25)$$

де

$$\theta_\Sigma = \theta_1 + \theta_2 = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}, \quad (26)$$

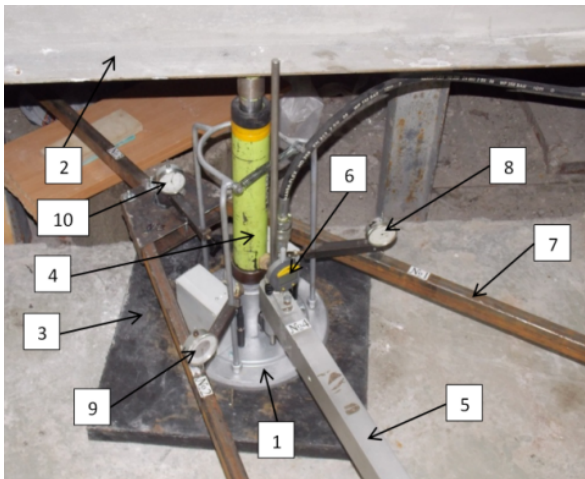
де E_1, μ_1, E_2, μ_2 – пружні механічні властивості матеріалів контактуючих тіл – модуль пружності і коефіцієнт Пуассона відповідно;

R – радіус індентора, м;

N – навантаження на індентор, Н.

В результаті було встановлено, що при проведенні випробувань на стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії величина тестового навантаження повинна складати від 11 тс до 15 тс, при радіусі сферичного індентора від 170 мм до 350 мм. При цьому обладнання для реєстрації величини заглиблення індентора повинно мати вимірювальний діапазон від 1,0 мм до 15,0 мм.

У третьому розділі викладені експериментальні дослідження щодо удосконалення методів випробувань дорожніх конструкцій.

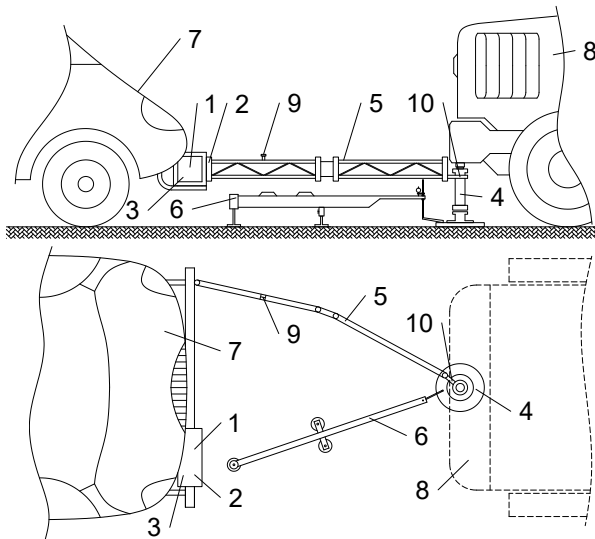


1 – штамп; 2 – металева балка протизаги; 3 – гумова пластина; 4 – гідроциліндр; 5 – прогиномір; 6 – еталонний датчик переміщень; 7 – реперна балка; 8, 9, 10 – механічні датчики переміщень №1, №2, №3 відповідно

Рисунок 3 – Лабораторний стенд для перевірки математичної моделі переміщень точок штамп

Випробуваннями на спеціальному лабораторному стенді (рис. 3) встановлено, що середнє значення осідання штамп, взяте по трьом датчикам, має відхилення не більше 5 % від показань еталонного датчика переміщень. Це підтвердило адекватність розробленої математичної моделі переміщень точок штамп і на практиці було вирішено застосовувати один датчик, встановлений в центрі штамп.

З урахування цієї особливості було обґрунтовано параметри нової конструкції штамп та виготовлено дослідний зразок вимірювальної станції (патент на корисну модель України № 109061), який являє собою комплект випробувального обладнання, об'єднаного в єдиний автоматизований комплекс, для оперативного визначення деформаційних характеристик дорожніх конструкцій і їх шарів при штампових випробуваннях (рис. 4).



1 – насосна станція; 2 – гідравлічний насос; 3 – двигун; 4 – штамп з гідроциліндром; 5 – важільно-утримуючий механізм; 6 – прогиномір; 7 – базовий автомобіль; 8 – засіб навантаження; 9 – кронштейн кріплення; 10 – захват важільно-утримуючого механізму

Рисунок 4 – Загальний вигляд автоматизованої вимірювальної станції

При цьому виключається ручна праця оператора та підвищується продуктивність випробувань.

В той же час для створення навантаження можна використовувати будь-який вантажний автомобіль чи дорожню машину. Для реєстрації та обробки результатів



вимірювань використовується вимірювальний блок з встановленим на ньому спеціальним програмним забезпеченням.

Наступним етапом експериментальних досліджень були лабораторні випробування станції, в результаті проведення яких було встановлено, що значення вимірювального зусилля, абсолютної похибки та діапазону вимірювань вузла переміщень станції відповідають нормативним вимогам.

Виконані польові випробування вимірювальної станції показали, що відносна похибка δ визначення пружних прогинів поверхні асфальтобетонних покриттів з використанням вимірювальної станції не перевищує 8 %, порівняно зі стандартними методами.

З метою апробації в польових умовах запропонованого нового методу визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій за величиною тривалості удару та перевірки достовірності формули (24) на дослідних ділянках з достатньою точністю були виміряні величини тривалості ударів та прогинів покриття під дією динамічного навантаження, створюваного мобільним комплексом для діагностики експлуатаційного стану дорожніх покриттів «МК-ДЕС-НТУ». Встановлено, що отримані значення фактичних модулів пружності дорожніх конструкцій, визначених за величиною тривалості удару, відрізняються від значень модулів пружності, визначених за величиною прогину покриття не більше ніж на 7 %. Разом з тим виявлено обмеження області застосування методу – при температурі повітря до + 5 °С.

Для вирішення задачі щодо розробки методу оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії з урахуванням параметрів, обґрунтованих теоретично, було підібрано комплект випробувального обладнання. Так, для створення навантаження на поверхню дорожнього покриття використовували установку динамічного навантаження, обладнану сферичним штампом (рис. 5), а для реєстрації величини заглиблення індентора – лазерний профілограф (патент на корисну модель України № 128144) (рис. 6).

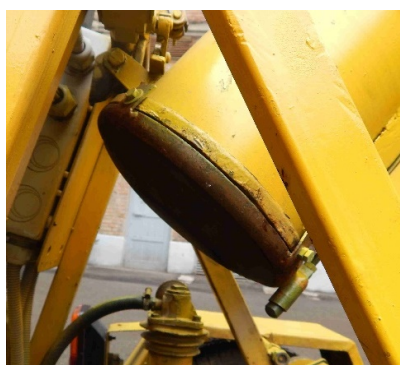
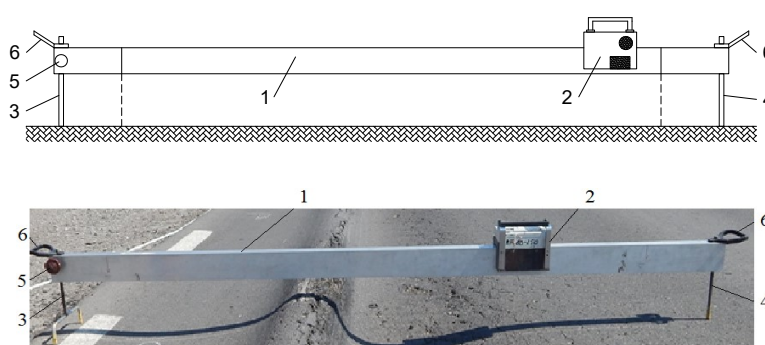


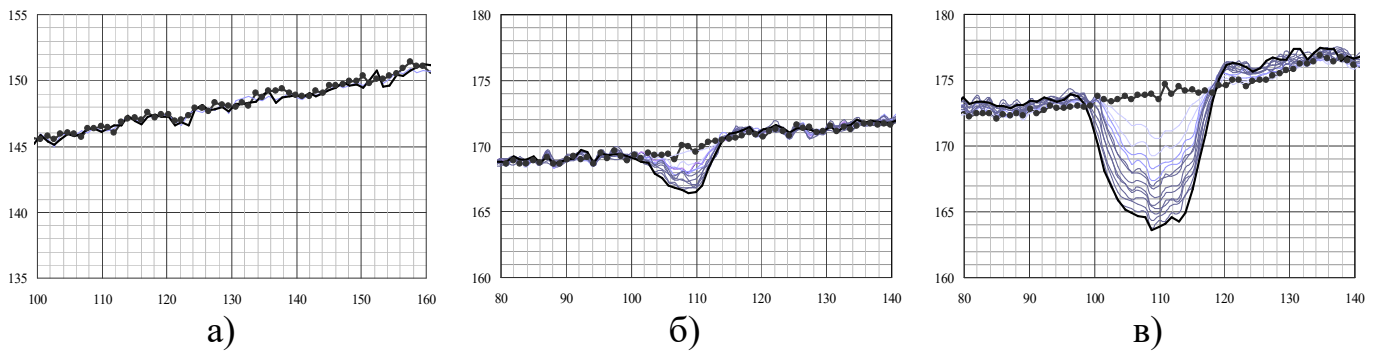
Рисунок 5 – Установка динамічного навантаження, обладнана сферичним штампом



1 – балка; 2 – рухома каретка, обладнана лазерним датчиком відстані; 3 – ліва опора; 4 – права опора; 5 – фіксатор лівої опори; 6 – ручки для перенесення

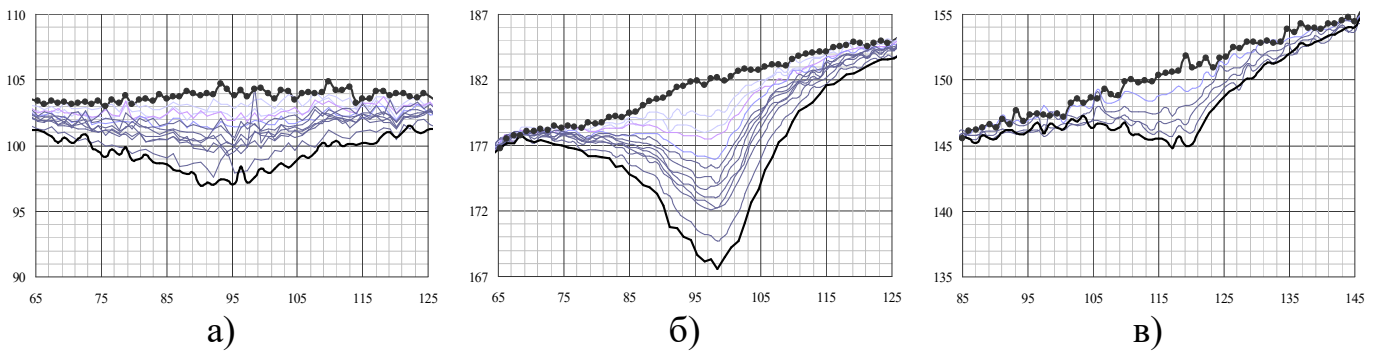
Рисунок 6 – Лазерний профілограф

На дослідних ділянках було проведено ряд експериментальних досліджень, які полягали в тому, що за допомогою лазерного профілографа фіксували поперечний профіль покриття до навантаження сферичним штампом. Потім здійснювали серію ударів, під час яких утворювалась лунка. Після кожного удару фіксували профіль покриття. Результати випробувань наведені на рис. 7 – 9.



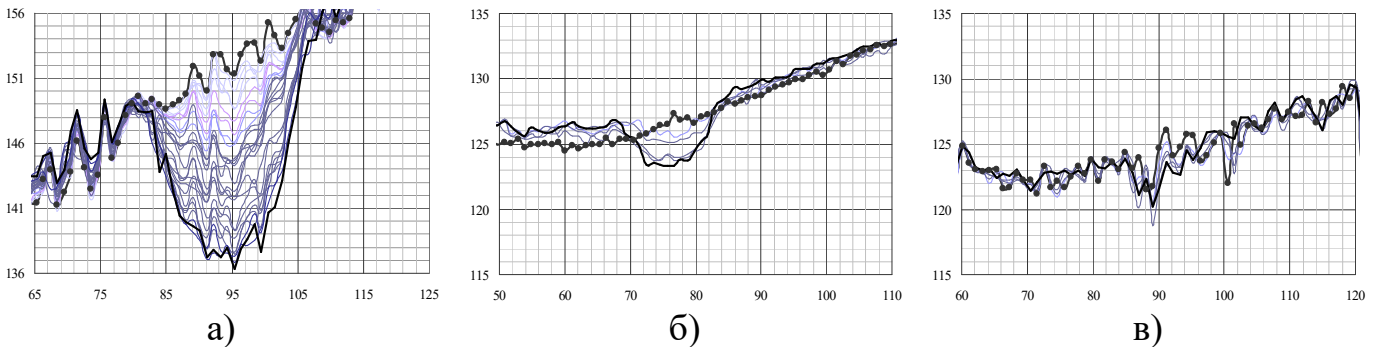
По осі ординат – глибина лунки, мм; по осі абсцис – відстань від краю проїзної частини, см; суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів

Рисунок 7 – Результати досліджень впливу температури на розміри лунки при температурі покриття: а) $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$; в) $+54\text{ }^{\circ}\text{C}$



По осі ординат – глибина лунки, мм; по осі абсцис – відстань від краю проїзної частини, см; суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів

Рисунок 8 – Результати досліджень впливу температури на форму лунки при температурі покриття: а) $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$; в) $+39\text{ }^{\circ}\text{C}$



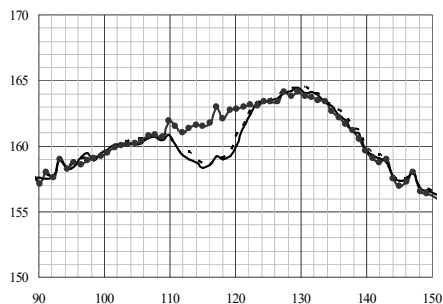
По осі ординат – глибина лунки, мм; по осі абсцис – відстань від краю проїзної частини, см; суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів

Рисунок 9 – Результати досліджень на ділянках доріг з різними конструкціями дорожніх одягів: а) покриття з поверхневою обробкою та слабкою основою; б) покриття з декількох шарів дрібнозернистого асфальтобетону та жорсткою основою; в) покриття із ЩМА-20

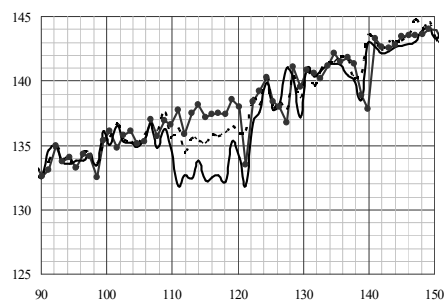
Проведені дослідження показали, що за глибиною та формою лунки, яка утворюється при повторному динамічному навантаженні поверхні дорожнього покриття сферичним штампом безпосередньо в польових умовах можна оцінити стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії.

У процесі експериментальних досліджень було виявлено особливість поведінки дорожньої конструкції, пов'язану з відновленням форми лунки після припинення ударів.

На ділянці зі значною колією на покритті після остаточного припинення ударів лунка не відновилася (рис. 10, а), а на ділянці без колії вона відновилася на 60 % (рис. 10, б).



а)



б)

По осі ординат – глибина лунки, мм; по осі абсцис – відстань від краю проїзної частини, см; суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільна лінія без маркерів – після нанесення ударів

Рисунок 10 – Результати досліджень відновлення форми лунки після припинення ударів на дослідних ділянках: а) зі значною колією; б) без колії

Отже, стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії визначається не тільки глибиною лунки після виконання серії ударів, а й їх здатністю відновлювати форму поверхні покриття після закінчення ударів.

Четвертий розділ присвячений розробленню рекомендацій щодо практичного застосування результатів дослідження та оцінюванню їх економічної ефективності.

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень було розроблено методику статичних штампових випробувань з використанням вимірювальної станції. Вона встановлює послідовність виконання технологічних та вимірювальних операцій, що дозволяють визначити значення пружних або повних деформацій покриття під дією тестового навантаження, необхідні для розрахунку деформаційних характеристик дорожніх конструкцій. Дана методика була використана при розробці нормативного документу МР В.2.3-02070915-860:2015 «Методичні рекомендації щодо проведення вимірювань з використанням вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій «ВСШВДК-2-15».

Розроблений у дисертаційній роботі метод визначення фактичного модуля пружності за тривалістю удару покладено в основу нової методики випробувань дорожніх конструкцій за допомогою мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ» без застосування реперних балок, яка знайшла відображення в ДСТУ Б В.2.3-42:2016 «Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу».

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу розробити методику оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії з використанням установки динамічного навантаження, обладнаної сферичним штампом, і лазерного профілографа. Розроблена методика дає можливість оцінити стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії як за глибиною та параметрами лунки, так і за характером відновлення поверхні покриття після серії ударів.

За рахунок виключення ручної праці та автоматизації робіт продуктивність статичних штампових випробувань з використанням автоматизованої вимірювальної станції підвищилась в 5 разів, при цьому шляхом розробки конструкції штампа з одним датчиком переміщень замість трьох, вдалося досягти зменшення вартості одного комплекту вимірювальної станції на 12 %.

За рахунок виключення необхідності застосування реперної балки та встановлення тензодатчика ваги торсіонного типу RTN C3 безпосередньо в конструкцію штампа, продуктивність динамічних випробувань з використанням мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ» зросла в 3 рази. При цьому відсутність реперної балки дозволила зменшити вартість самого мобільного комплексу приблизно на 10 %.

Ефективність використання нової методики оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії полягає у можливості прогнозування розвитку колійності на будь-якій ділянці автомобільної дороги та завчасного вжиття заходів щодо ліквідації причин появи даного дефекту, виключаючи при цьому необхідність виконання в майбутньому дорогих ремонтних операцій. В той же час, вартість вітчизняного комплекту випробувального обладнання для оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до колієутворення в декілька десятків разів нижча, порівняно з закордонними аналогами.

У **додатках** наведено карти-схеми та перелік дослідних ділянок, на яких проводились натурні дослідження, а також характеристику конструкцій дорожніх одягів на даних ділянках; алгоритм роботи автоматизованої системи керування вимірювальними процесами станції; довідки про впровадження результатів роботи; копії документів, що підтверджують використання сучасних повірених вимірювальних засобів при проведенні експериментальних досліджень; список опублікованих праць.

ВИСНОВКИ

Основний науковий результат дисертаційного дослідження полягає в розвитку теоретичних і практичних положень, а саме: удосконаленні методів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг шляхом підвищення їх продуктивності, точності, інформативності та безпеки.

Наведені у дисертаційній роботі результати дослідження дали змогу зробити такі висновки:

1. З аналізу відомих методів і засобів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг встановлено, що недоліками методик статичних штампових випробувань є необхідність використання певного виду дорожньої техніки, громіздкість обладнання та потреба в ручній праці; недоліком методик динамічних штампових випробувань є необхідність використання реперних балок; лабораторні методи оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії не відображають реальних умов їх роботи, недоліком стендових методів є те, що вони придатні для випробувань лише завчасно закладених дорожніх конструкцій, а недоліками спеціальних мобільних версій навантажувальних установок є висока вартість та громіздкість випробувального обладнання.

2. Удосконалено метод статичних штампових випробувань за рахунок розробки автоматизованої вимірювальної станції, яка об'єднує випробувальне обладнання в єдиний комплекс, що монтується на базовому автомобілі та виключає необхідність ручної праці оператора, забезпечує можливість виконання багаторазових навантажень, підвищує продуктивність випробувань у 5 разів. При розробці вимірювального вузла станції доведено, що з достатньою для практики точністю вимірювань 5 % можливо використовувати один, встановлений в центрі штампа, датчик переміщення, що значно спрощує методику статичних штампових випробувань.

3. Розроблено новий метод визначення фактичного модуля пружності за тривалістю удару, який дає змогу удосконалити методику динамічних штампових випробувань за рахунок виключення необхідності застосування реперних балок, що в свою чергу підвищує продуктивність випробувань у 3 рази.

4. Розроблено метод оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії за розмірами та формою лунки, яка утворюється при повторному динамічному навантаженні поверхні дорожнього покриття сферичним штампом безпосередньо в польових умовах. На відміну від відомих аналогів, метод дозволяє моделювати тривалу дію транспортних навантажень на дорожній одяг за короткий проміжок часу. Виявлено, що стійкість дорожніх конструкцій до колієутворення визначається не тільки глибиною лунки після виконання серії ударів, а й їх здатністю відновлювати форму поверхні покриття після закінчення випробувань.

5. Результати досліджень захищені патентом на винахід і двома патентами на корисну модель України, а розроблені у дисертаційній роботі методики випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг знайшли відображення в таких нормативних документах: Р Г.1-02070915-845:2014, МР В.2.3-02070915-860:2015, ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016, ДСТУ Б В.2.3-42:2016.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

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

1. Шуляк И.С. Оценка прочности дорожных конструкций при динамическом нагружении / И.С. Шуляк // Автомобильные дороги и мосты. – Минск : БелдорНИИ, 2017. – Вып. 1 (19). – С. 61 – 67.

Статті у фахових виданнях:

2. Шуляк І.С. Щодо удосконалення динамічного методу випробувань дорожніх конструкцій / І.С. Шуляк // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., 2017. – Вип. 98. – С. 303 – 310.

3. Шуляк І.С. Обґрунтування параметрів випробувального обладнання для оцінювання колієстійкості дорожніх конструкцій / І.С. Шуляк // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., 2017. – Вип. 99. – С. 114 – 124.

4. Шуляк І.С. Щодо необхідності уточнення розрахункових характеристик ґрунтів при обґрунтуванні проектних рішень по реконструкції і капітальному

ремонті автомобільних доріг / І.С. Шуляк // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2014. – Вип. 29. – С. 493 – 503.

5. Шуляк І.С. Спосіб оцінювання колієстійкості дорожніх конструкцій / Д.О. Павлюк, І.С. Шуляк // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПолтНТУ, 2016. – Вип. 2 (47). – С. 246 – 257.

6. Шуляк І.С. Станция для штамповых испытаний дорожных конструкций и их слоев / Д.А. Павлюк, В.В. Павлюк, В.В. Павлюк, А.С. Лебедев, В.В. Гавришук, М.В. Шурьяков, И.С. Шуляк // Автошляховик України. – 2013. – № 2. – С. 30 – 35.

7. Шуляк І.С. Результати приймальних випробувань станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів / Д.О. Павлюк, В.В. Павлюк, В.В. Павлюк, О.С. Лебедев, В.В. Гавришук, А.П. Іващенко, М.В. Шур'яков, І.С. Шуляк // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., 2013. – Вип. 90. – С. 56 – 62.

8. Шуляк І.С. Результати наукової та дослідно-конструкторської роботи лабораторії автомобільних доріг та аеродромів Національного транспортного університету / Д.О. Павлюк, В.В. Павлюк, В.В. Павлюк, О.С. Лебедев, А.П. Іващенко, М.В. Шур'яков, І.С. Шуляк, В.П. Терещук, В.С. Чаповський, Б.В. Клітченко // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31). – С. 401 – 414.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Шуляк І.С. Дослідження напружено-деформованого стану дорожніх одягів нежорсткого типу за допомогою методу скінченних елементів / Д.О. Павлюк, І.С. Шуляк // Тези LХІХ наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (23–25.04.2013). – К. : НТУ, 2013. – С. 174.

10. Шуляк І.С. Порівняння результатів вимірювання осідання штампу за методиками Австрії і Німеччини / Д.О. Павлюк, В.В. Гавришук, І.С. Шуляк // Матеріали ІІ міжнар. наук. конф. «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (29–30.10.2013). – Вінниця : ВНТУ, 2013. – С. 54 – 56.

11. Шуляк І.С. Математична модель динамічного навантаження дорожніх конструкцій / І.С. Шуляк // Тези LХХ наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (14–16.05.2014). – К. : НТУ, 2014. – С. 168 – 169.

12. Шуляк І.С. Контроль стійкості дорожніх одягів до колієутворення / І.С. Шуляк // Тези ХІІ Міжнар. конф. «Контроль і управління в складних системах» (14–17.10.2014). – Вінниця : ВНТУ, 2014. – С. 73.

13. Шуляк І.С. Обґрунтування формул для визначення модуля деформації як показника ущільнення ґрунтів земляного полотна / Д.О. Павлюк, М.В. Шур'яков, І.С. Шуляк, С.А. Гладун // Автошляховик України. – 2015. – № 3. – С. 41 – 43.

14. Шуляк І.С. Дослідження поведінки нежорстких дорожніх одягів при взаємодії зі штампом установки динамічного навантаження / І.С. Шуляк // Матеріали Всеукр. Інтернет-конф. молодих учених і студентів «Проблеми і

перспективи сталого розвитку та просторового планування територій» (18.03.2015). – Полтава : ПолтНТУ, 2015. – С. 232 – 235.

15. Шуляк І.С. Результати порівняння динамічних прогинів поверхні покриття, виміряних датчиками прискорення, встановленими в штампі та в зв'язних шарах дорожніх одягів / І.С. Шуляк // Тези LXXI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (13–15.05.2015). – К. : НТУ, 2015. – С. 191.

16. Шуляк І.С. Аналіз математичної моделі зменшення коефіцієнту запасу міцності, яка використовується в СУСП / І.С. Шуляк // Матеріали Всеукр. Інтернет-конф. «Інформаційні технології та землеустрій в управлінні територіальним розвитком» (06.04.2016). – Полтава : ПолтНТУ, 2016. – С. 333 – 335.

17. Шуляк І.С. Критерій стійкості дорожніх одягів проти колієутворення / І.С. Шуляк // Тези LXXII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (11–13.05.2016). – К. : НТУ, 2016. – С. 185.

18. Шуляк І.С. Удосконалення способу оцінки колієстійкості нежорстких дорожніх одягів / І.С. Шуляк // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні геоінформаційні та комп'ютерно-інноваційні технології дорожньої галузі, аеродромного будівництва та землеустрою» (26–27.05.2016). – Харків : ХНАДУ, 2016. – С. 61 – 64.

19. Шуляк І.С. Результати моделювання взаємодії штампа з дорожньою конструкцією при динамічному навантаженні / І.С. Шуляк // Тези LXXIII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (17–19.05.2017). – К. : НТУ, 2017. – С. 193.

20. Шуляк І.С. Щодо доцільності застосування сферичного штампа при оцінюванні колієстійкості дорожніх конструкцій / І.С. Шуляк, Т.В. Литвиненко // Тези 69-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Том 1 (19.04.–19.05.2017). – Полтава : ПолтНТУ, 2017. – С. 71 – 72.

21. Шуляк І.С. Математична модель переміщень точок штампа при статичних випробуваннях / І.С. Шуляк // Тези LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (16–18.05.2018). – К. : НТУ, 2018. – С. 211.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

22. Патент на винахід 111539 Україна, МПК G01N 3/30, E01C 23/01, G01N 29/04, G01M 5/00. Спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій / Павлюк Д.О., Лебедев О.С., Шур'яков М.В., Шуляк І.С., Тищенко-Тишковець Л.К. (Україна) ; заявник та патентовласник Національний транспортний університет. – № а 2014 13643 ; заявл. 19.12.2014 ; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9. – 4 с.

23. Патент на корисну модель 109061 Україна, МПК E01C 23/07. Пристрій для штапових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів / Павлюк Д.О.,

Павлюк В.В., Лебедєв О.С., Шуляк І.С., Гладун С.А. (Україна) ; заявник та патентовласник Національний транспортний університет. – № u 2016 01295 ; заявл. 15.02.2016 ; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15. – 4 с.

24. Патент на корисну модель 128144 Україна, МПК E01C 23/07. Пристрій для вимірювання колійності дорожнього покриття / Павлюк Д.О., Павлюк В.В., Тищенко-Тишковець Л.К., Шуляк І.С., Севрюк Б.М. (Україна) ; заявник та патентовласник Національний транспортний університет. – № u 2018 01526 ; заявл. 16.02.2018 ; опубл. 10.09.2018, Бюл. № 17. – 4 с.

АНОТАЦІЯ

Шуляк І.С. Удосконалення методів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг. – 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, 2018.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню методів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг шляхом підвищення їх продуктивності, точності, інформативності та безпеки.

Запропоновано метод статичних штампових випробувань з використанням розробленої автоматизованої вимірювальної станції, що дає можливість виконувати повторні навантаження з суттєвим зменшенням їх тривалості.

Уперше обґрунтовано новий метод визначення фактичного модуля пружності за тривалістю удару на основі удосконалення математичної моделі динамічного навантаження дорожньої конструкції.

Розроблено метод оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії за допомогою сферичного штампа при повторних динамічних навантаженнях, ефективність якого підтверджена широким спектром досліджень в натурних умовах.

Результати дослідження було використано в Державному агентстві автомобільних доріг України при розробці ряду нормативних документів, а також впроваджено в практику підприємств дорожньої галузі при виконанні робіт з діагностування автомобільних доріг державного значення.

Ключові слова: дорожня конструкція, пружний прогин, статичні штампові випробування, тривалість удару, прилад динамічної дії, колійність, сферичний штамп, серія ударів, глибина лунки, лазерний профілограф.

АННОТАЦИЯ

Шуляк И.С. Совершенствование методов испытаний дорожных конструкций при диагностике автомобильных дорог. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 «Автомобильные пути и аэродромы». (192 – Строительство и гражданская инженерия). – Национальный транспортный университет, Киев, 2018.

Диссертационная работа посвящена совершенствованию методов испытаний дорожных конструкций при диагностике автомобильных дорог путем повышения их производительности, точности, информативности и безопасности.

Предложен метод статических штамповых испытаний с использованием разработанной автоматизированной измерительной станции, что дает возможность выполнять повторные нагрузки с существенным уменьшением их продолжительности.

Впервые обоснован новый метод определения фактического модуля упругости по продолжительности удара на основе совершенствования математической модели динамического нагружения дорожной конструкции.

Разработан метод оценки устойчивости дорожных конструкций к колееобразованию с помощью сферического штампа при повторных динамических нагружениях, эффективность которого подтверждена широким спектром исследований в натурных условиях.

Результаты исследования были использованы в Государственном агентстве автомобильных дорог Украины при разработке ряда нормативных документов, а также внедрены в практику предприятий дорожной отрасли при выполнении работ по диагностике автомобильных дорог государственного значения.

Ключевые слова: дорожная конструкция, упругий прогиб, статические штамповые испытания, продолжительность удара, прибор динамического действия, колеиность, сферический штамп, серия ударов, глубина лунки, лазерный профилограф.

ABSTRACT

Shuliak I.S. Road constructions test methods improvement in the process of road diagnosis. – Qualifying scientific paper as manuscript.

Thesis for the Candidate Degree in Technical science: Speciality 05.22.11 «Highways and airfields». (192 – Construction and Civil Engineering). – National Transport University, Kyiv, 2018.

The thesis is devoted to the road pavements testing methods improvement for road diagnostics by their productivity, accuracy, informativity and safety increasing.

The method of static stamp tests, with developed automated measuring station use is proposed, which allows repeated loads performing with their significant duration decrease.

For the first time ever a new method of actual elasticity modulus determining by impact duration on the basis of road structure dynamic load mathematical model improvement is substantiated.

Method of road pavements stability evaluation to the ridge formation by means of a spherical stamp with repeated dynamic loads, the efficiency of which was confirmed by a numerous research in the field conditions is developed.

The research results were used at the State Agency of Ukraine Roads for the regulatory documents and standards development, as well as research results implementation in road construction enterprises practice for diagnostics of state highways.

Keywords: road construction, elastic deflection, static stamp tests, impact duration, dynamic action device, rutting, spherical stamp, series of bumps, depth of the hole, laser profilograph.