

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ШУЛЯК ІВАН СТАНІСЛАВОВИЧ

УДК 625.7/.8

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

_____ І. С. Шуляк

Науковий керівник –
Павлюк Дмитро Олександрович
доктор технічних наук, професор

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02
_____ В. І. Каськів

Київ – 2018

«Наука начинается с тех пор,
Как начинают измерять.
Точная наука немислима без меры.»

Д.И. Менделеев

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.

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.

Проведений аналіз показав, що головними недоліками методик статичних штапових 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 штампа, оскільки в різних методиках статичних штампових випробувань ця кількість різна.

Головним недоліком методик динамічних штампових випробувань є необхідність застосування реперних балок для вимірювання прогину покриття. 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.

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.

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

В різних методиках статичних штапових випробувань, як закордонних, так і українській, передбачено використання різної кількості датчиків переміщень для вимірювання осідання штапа.

Використання австрійської методики з трьома датчиками переміщень дозволяє виявити перекошування штапа при навантаженні, але незрозуміло, як визначити осідання в центрі штапа, коли показання датчиків в момент перекошу будуть абсолютно різними. Німецька методика з одним датчиком переміщення набагато простіша, але не враховує перекошування штапа. Використання української методики взагалі не доцільне, оскільки два датчики переміщень не дають змоги відслідкувати перекош штапа.

Спочатку розглянуто переміщення штапа при перекоші в плоскому деформованому стані як поворот на деякий кут α і паралельний перенос.

Встановлено, що в такому випадку осідання штапа з достатньою для інженерної практики точністю можна виміряти одним датчиком переміщення, встановленим в центрі штапа.

В дійсності штап може обертатися не тільки навколо осі Oy , а і навколо осі Ox . Тому, побудовано окрему математичну модель, яка описує процес переміщення штапа при перекоші в об'ємному деформованому стані.

Розроблена математична модель дає змогу визначити осідання в центрі штапа, необхідне для розрахунку модуля пружності чи модуля деформації, у випадку, коли штап в момент перекошу буде обертатися як навколо осі Oy , так і навколо осі Ox , а кути повороту α та β будуть значними.

Розроблено теоретичні передумови нового методу визначення фактичного модуля пружності за допомогою установок динамічного навантаження дорожніх конструкцій через штап.

Відомі методи засновані на визначенні прогину покриття при динамічному (ударному) навантаженні. Для визначення прогину покриття застосовують реперні балки, які потребують використання ручної праці

оператора або ускладнюють конструкцію самої установки при автоматизованому опусканні та підніманні 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 згасаючих коливань. Шляхом удосконалення математичної моделі динамічного навантаження дорожньої конструкції було встановлено, 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).

Обґрунтовано параметри 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.

Встановлено, що при проведенні випробувань на стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії величина тестового навантаження повинна становити 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** викладено експериментальні дослідження щодо удосконалення методів випробувань дорожніх конструкцій.

Випробуваннями на спеціальному лабораторному стенді встановлено, що середнє значення осідання штампу, взяте за трьома датчиками, має відхилення не більше 5 % від показань еталонного датчика переміщень. Це підтвердило адекватність розробленої математичної моделі переміщень точок штампа, і на практиці було вирішено застосовувати один датчик, встановлений в центрі штампа.

З урахування цієї особливості було обґрунтовано параметри нової конструкції штампа 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.

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 на дослідних ділянках з достатньою точністю було виміряно 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, а для реєстрації величини заглиблення індентора – лазерний профілограф (патент на корисну модель України № 128144).

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.

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, а на ділянці без колії вона відновилася на 60 %.

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.

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.

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

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

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

1. Шуляк И. С. Оценка прочности дорожных конструкций при динамическом нагружении. *Автомобильные дороги и мосты*. 2017. Вып. 1 (19). С. 246–257.

Статті у фахових виданнях:

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

3. Шуляк І. С. Обґрунтування параметрів випробувального обладнання для оцінювання колієстійкості дорожніх конструкцій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2017. Вип. 99. С. 67–76.

4. Шуляк І. С. Щодо необхідності уточнення розрахункових характеристик ґрунтів при обґрунтуванні проектних рішень по реконструкції і капітальному ремонті автомобільних доріг. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. Вип. 29. С. 493–503.

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

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

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

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

Опубліковані праці апробаційного характеру:

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

10. Шуляк І. С., Павлюк Д. О., Гаврищук В. В. Порівняння результатів вимірювання осідання штампу за методиками Австрії і Німеччини. *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах* : матеріали ІІ міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 29–30.10.2013 р.). Вінниця, 2013. С. 54–56.

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

12. Шуляк І. С. Контроль стійкості дорожніх одягів до колієутворення. *Контроль і управління в складних системах*: тези XII міжнар. конф. (м. Вінниця, 14–17.10.2014 р.). Вінниця, 2014. С. 73.

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

14. Шуляк І. С. Дослідження поведінки нежорстких дорожніх одягів при взаємодії зі штампом установки динамічного навантаження. *Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій*: матеріали всеукр. інтернет-конф. молодих учених і студентів (м. Полтава, 18.03.2015 р.). Полтава, 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. Тези LXXI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 13–15.05.2015 р.). Київ, 2015. С. 191.

16. Шуляк І. С. Аналіз математичної моделі зменшення коефіцієнту запасу міцності, яка використовується в СУСП. *Інформаційні технології та землеустрій в управлінні територіальним розвитком*: матеріали всеукр. інтернет-конф. (м. Полтава, 06.04.2016 р.). Полтава, 2016. С. 333–335.

17. Шуляк І. С. Критерій стійкості дорожніх одягів проти колієутворення. Тези LXXII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 11–13.05.2016 р.). Київ, 2016. С. 185.

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

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

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

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

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

22. Спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій: пат. 111539 Україна: МПК G01N 3/30, E01C 23/01, G01N 29/04, G01M 5/00. № а 201413643; заявл. 19.12.14; опубл. 10.05.16, Бюл. № 9. 4 с.

23. Пристрій для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів: пат. 109061 Україна: МПК E01C 23/07. № u 201601295; заявл. 15.02.16; опубл. 10.08.16, Бюл. № 15. 4 с.

24. Пристрій для вимірювання колійності дорожнього покриття: пат. 128144 Україна: МПК E01C 23/07. № u 201801526; заявл. 16.02.18; опубл. 10.09.18, Бюл. № 17. 4 с.

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 **introduction** substantiates the research topic choice and its relevance, formulates the purpose and objectives of the research, presents the main results obtained by the author, highlights their scientific novelty and practical value.

The **first unit** contains an analysis of two main methods groups and means of road constructions test methods in the process of road diagnosis, namely:

- methods based on the full or elastic deformations determination in the road constructions deformation characteristics evaluation;
- methods based on the residual plastic deformations determination in road constructions stability estimating to the track formation.

A detailed review of equipment for test load creation and transfer, as well as methods, devices and means of magnitudes and deformations nature measuring caused by this load influence, is done.

The analysis showed that main disadvantages of the methods of static stamp tests are: low test performance, considerable weight and cumbersome equipment, the risk of an operator falling under the wheels of road construction machinery or rolling stock, the need to connect to the motor-driven blade grader hydraulic system, that is, the dependence on a certain road-building machinery type.

Unresolved problem of the necessary and sufficient number of sensors during the stamp subsidence measurement carrying, inasmuch as in various methods of static stamp tests this quantity is different.

The main disadvantage of the dynamic stamp tests methods is the need to use reference beams for road topping deflection measuring. The presence of reference beams requires operator hand-labour or complicates the installations design.

During the last decades, both in Ukraine and abroad, numerous research aimed to methods and tools for road constructions stability estimating to the track formation development.

Currently, there are two main methods groups for road constructions stability estimating to the track formation: laboratory and field.

The main disadvantage of laboratory methods is their real road constructions strain-stress state unreflecting, because the time, speed and applied design load number do not correspond to actual road operating conditions.

Field methods are presented in the form of special stands or landfills, as well as loading mobile versions installations. The disadvantage of bench methods is their suitability for only pre-installed road constructions testing, and the disadvantages of special mobile versions of loading systems are the high cost and test equipment bulking.

In Ukraine, the question of road constructions stability assessing with asphalt pavement to the track formation in real conditions on certain roads segments is still open today.

The **second unit** contains the theoretical aspects of the road constructions test methods improvement in the process of road diagnosis.

In various static stamp tests methods, both foreign and Ukrainian, it is foreseen to use a different number of sensors for stamp settlement measuring.

Austrian method with three displacement sensors allows to reveal the stamp warping while loading, but it is unclear how to determine the settlement in the stamp center, when the sensor readings at the moment of warping will be completely different. The German method with a single displacement sensor is much simpler,

but does not consider the stamp warping. The use of Ukrainian methodology is not appropriate at all, because two displacement sensors do not allow to observe the stamp warping.

Initially, the stamp displacement under warping in a flat deformed condition is considered as a rotation on a certain angle α and a parallel transfer.

It has been established that in this case, the stamp settlement with enough accuracy for engineering practice can be measured with a single displacement sensor installed in the stamp center.

In fact, the stamp can rotate not only around the axis Oy , but also around the Ox axis. Therefore, a separate mathematical model is constructed and describes the process of stamp displacement while it's warping in a volumetric deformed condition.

The developed mathematical model provides an opportunity to determine the settlement in the stamp center, necessary for the modulus of elasticity calculation or modulus of deformation in the case when the stamp at the warping moment will rotate both around the axis Oy and around the Ox axis, and the rotation angles α and β will be significant.

The theoretical preconditions of the new actual modulus of elasticity determination method with the help of road constructions dynamic loading settings through a stamp are developed.

Well-known methods are based on road topping deflection determining under dynamic (stroke) loading. To determine the road topping deflection the reference beams are used, which require the operator hand-labour use or complicate the installation design in the automatic beam lowering and raising.

The purpose of new method development was to choose a new parameter, different to the road topping deflection. For its achievement, acquainted mathematical models of dynamic load were used, which are based on the equations of free or fading oscillations use. By the road construction dynamic load mathematical model improving, it was established that instead of road topping deflection measuring l it is sufficient to measure the impact duration τ .

Consequently, a new method for road constructions deformation characteristics determining is obtained (patent for the invention of Ukraine No. 111539).

The parameters of test equipment for the road constructions stability to the track formation estimating is substantiated. In this case, to determine the indenter depth in the half-space, G. Hertz's formula on the mechanics of bodies contact interaction was used.

It has been established that during the road structures stability tests to the track formation the test load value should be from 11 tf to 15 tf, with a radius of spherical indenter from 170 mm to 350 mm. Herewith, the equipment for indent depression size registering should have a measuring range from 1,0 mm to 15,0 mm.

In the **third unit**, experimental researches of the road constructions testing methods improvement are presented.

By tests at a special laboratory stand is found that average value of the stamp settlement, taken on three sensors, has a deviation no more than 5 % of the indications of the motion master transducer. This approved the developed mathematical model adequacy of dots displacement and in practice it was decided to use one sensor, installed in the stamp center.

Taking this into consideration the new stamp construction parameters were substantiated and a prototype model of measuring station (patent for utility model No. 109061) was developed, which is a set of test equipment, integrated into a single automated complex for the operative road constructions and their layers deformation characteristics determination during stamp tests.

This eliminates the operator hand-labour and increases the tests productivity.

At the same time, for the load creation any auto truck or road machine can be used. For registration and observation reduction, a measuring block with special software is used.

The next stage of experimental research was the laboratory testing station, due to carrying of which it was established that measuring effort value, absolute error

and station's displacement site measurement range conformed to the regulatory requirements.

The measuring station field tests are shown that relative error δ of the elastic deflections determination asphalt pavement surface with measuring station use does not exceed 8 % versus standard methods.

For the purpose of suggested road structures deformation characteristics determination method approbation in the field conditions by the impact duration on trial pavement section with sufficient accuracy, the values of impact duration and road topping deflections under dynamic load, which mobile complex «MK-DES-NTU» for road topping operational condition diagnosis creates, were measured.

It is established that obtained values of the actual road constructions modulus of elasticity, determined by the impact duration, differ from modulus of elasticity values, determined by the road topping deflection value not more than 7 %. At the same time, the limitations of application field method are revealed – at air temperatures up to + 5 °C.

To solve the problem of method for road constructions stability estimating developing to the track formation, inclusive of parameters, theoretically substantiated, a set of test equipment was selected. Thus, to create a load on the road topping surface, a dynamic load equipment with a spherical stamp was used, and for the indenter depression size registration – a laser profilograph (patent for utility model No. 128144).

A number of experimental studies on trial pavement section were conducted, which lie in the fact that with laser profilograph application, the transverse road topping section to the load with a spherical stamp was fixed. Then series of strokes were performed, during which the hole was formed. After each impact, road topping profile was fixed.

The conducted studies have shown that by hole depth and shape which formed during the repeated dynamic load of the road topping surface with a spherical stamp

directly in the field conditions, road structures stability to the track formation can be estimated.

In the process of experimental research, a feature of the road construction behavior connected with the hole shape recovery after the strokes stopping is revealed.

In the section with a significant track on the road topping after the final strokes stopping, the hole did not recover, and on the section without a track, it is recovered by 60 %.

Consequently, road structures stability to the track formation is determined not only by the hole depth after the strokes series, but also their ability to recover the road topping surface shape after strokes stopping.

The **fourth unit** deals with recommendations development for research results practical application and their cost-effectiveness evaluation.

Based on the theoretical and experimental research results, a method for static stamp tests using a measuring station is developed. It establishes the sequence of technological and measuring operations performance which allow to determine the values of road topping elastic or total strains under the test load action, necessary for road constructions deformation characteristics calculations. This method was used in the normative document MR V.2.3-02070915-860:2015 «Methodical recommendations for measurements performance using a measuring station for road constructions stamp tests «VSCHVDK-2-15» development.

The method of actual modulus of elasticity determining during the impact duration is underlying the new road constructions tests methodology by mobile complex «MK-DES-NTU» without reference beams use, which is reflected in DSTU B V.2.3-42:2016 «Automobile roads. Methods of subgrade and road-mat deformation characteristics determining».

The conducted theoretical and experimental tests afford an opportunity to develop a method for the road constructions stability estimating to the track formation with a dynamic load equipment use with a spherical stamp and a laser profilograph. The developed method estimates road structures stability to the track

formation both by hole parameters and depth, as well as by road topping surface recovery after strokes series.

The **appendixes** illustrate the sketch maps and a list of trial pavement sections where tests in situ were conducted, as well as characteristics of pavement design on these sections; automated control system of station measurement process algorithm; certificates of work results implementation; copies of documents which confirming the modern assertive measuring instruments use during experimental research conducting; list of published works.

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.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

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

1. Шуляк И. С. Оценка прочности дорожных конструкций при динамическом нагружении. *Автомобильные дороги и мосты*. 2017. Вып. 1 (19). С. 246–257.

Статті у фахових виданнях:

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

3. Шуляк І. С. Обґрунтування параметрів випробувального обладнання для оцінювання колієстійкості дорожніх конструкцій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2017. Вип. 99. С. 67–76.

4. Шуляк І. С. Щодо необхідності уточнення розрахункових характеристик ґрунтів при обґрунтуванні проектних рішень по реконструкції і капітальному ремонті автомобільних доріг. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. Вип. 29. С. 493–503.

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

6. Шуляк І. С., Павлюк Д. А., Павлюк В. В., Павлюк В. В., Лебедев А. С., Гаврищук В. В., Шур'яков М. В. Станция для штамповых испытаний дорожных конструкций и их слоев. *Автошляховик України*. 2013. № 2. С. 30–35.

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

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

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Шуляк І. С., Павлюк Д. О. Дослідження напружено-деформованого стану дорожніх одягів нежорсткого типу за допомогою методу скінченних елементів. Тези LXIX наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних

підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 23–25.04.2013 р.). Київ, 2013. С. 174.

10. Шуляк І. С., Павлюк Д. О., Гаврищук В. В. Порівняння результатів вимірювання осідання штампу за методиками Австрії і Німеччини. *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах* : матеріали II міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 29–30.10.2013 р.). Вінниця, 2013. С. 54–56.

11. Шуляк І. С. Математична модель динамічного навантаження дорожніх конструкцій. Тези LXX наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 14–16.05.2014 р.). Київ, 2014. С. 168–169.

12. Шуляк І. С. Контроль стійкості дорожніх одягів до колієутворення. *Контроль і управління в складних системах* : тези XII міжнар. конф. (м. Вінниця, 14–17.10.2014 р.). Вінниця, 2014. С. 73.

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

14. Шуляк І. С. Дослідження поведінки нежорстких дорожніх одягів при взаємодії зі штампом установки динамічного навантаження. *Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій* : матеріали всеукр. інтернет-конф. молодих учених і студентів (м. Полтава, 18.03.2015 р.). Полтава, 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. Тези LXXI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників

відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 13–15.05.2015 р.). Київ, 2015. С. 191.

16. Шуляк І. С. Аналіз математичної моделі зменшення коефіцієнту запасу міцності, яка використовується в СУСП. *Інформаційні технології та землеустрій в управлінні територіальним розвитком*: матеріали всеукр. інтернет-конф. (м. Полтава, 06.04.2016 р.). Полтава, 2016. С. 333–335.

17. Шуляк І. С. Критерій стійкості дорожніх одягів проти колієутворення. Тези LXXII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 11–13.05.2016 р.). Київ, 2016. С. 185.

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

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

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

21. Шуляк І. С. Математична модель переміщень точок штампа при статичних випробуваннях. Тези LXXIV наукової конференції професорсько-

викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 16–18.05.2018 р.). Київ, 2018. С. 211.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

22. Спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій: пат. 111539 Україна: МПК G01N 3/30, E01C 23/01, G01N 29/04, G01M 5/00. № а 201413643; заявл. 19.12.14; опубл. 10.05.16, Бюл. № 9. 4 с.

23. Пристрій для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів: пат. 109061 Україна: МПК E01C 23/07. № u 201601295; заявл. 15.02.16; опубл. 10.08.16, Бюл. № 15. 4 с.

24. Пристрій для вимірювання колійності дорожнього покриття: пат. 128144 Україна: МПК E01C 23/07. № u 201801526; заявл. 16.02.18; опубл. 10.09.18, Бюл. № 17. 4 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	29
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	36
1.1 Загальна характеристика методів випробувань дорожніх конструкцій	36
1.2 Статичні методи.....	37
1.3 Динамічні методи.....	41
1.4 Методи випробувань на стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії.....	49
1.5 Висновки по розділу, мета та завдання дослідження.....	53
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	57
2.1 Математична модель переміщень точок штампа при статичних випробуваннях.....	57
2.2 Теоретичні аспекти удосконалення динамічного методу випробувань дорожніх конструкцій.....	66
2.3 Обґрунтування параметрів випробувального обладнання для оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії.....	75
2.4 Висновки по розділу.....	89
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ.....	91

3.1	Завдання експериментальних досліджень.....	91
3.2	Дослідження переміщень точок штампа при статичних випробуваннях.....	95
3.3	Дослідження характеристик взаємодії штампа з покриттям при динамічних випробуваннях.....	98
3.3.1	Дослідження деформацій дорожніх конструкцій при взаємодії зі штампом установки динамічного навантаження.....	98
3.3.2	Перевірка удосконаленого динамічного методу визначення модуля пружності в польових умовах.....	101
3.4	Дослідження прогинів дорожніх конструкцій з використанням вимірювальної станції.....	106
3.4.1	Вимірювальна станція для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів.....	106
3.4.2	Результати лабораторних випробувань вимірювальної станції.....	111
3.4.3	Результати польових випробувань вимірювальної станції	120
3.5	Дослідження щодо оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії в польових умовах.....	124
3.5.1	Вибір засобів вимірювань для проведення досліджень.....	124
3.5.2	Дослідження впливу температури на розміри лунки.....	130
3.5.3	Дослідження впливу температури на форму лунки.....	132
3.5.4	Дослідження стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії на дослідних ділянках доріг.....	133
3.5.5	Дослідження відновлення форми лунки після припинення ударів.....	134

3.5.6	Дослідно-виробнича перевірка розробленого методу оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії.....	135
3.6	Висновки по розділу.....	138
РОЗДІЛ 4	РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	141
4.1	Рекомендації щодо конструкції штампа для вимірювальної станції.....	141
4.2	Методика статичних штапових випробувань з використанням вимірювальної станції.....	142
4.3	Методика випробувань дорожніх конструкцій з використанням мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ»..	154
4.4	Методика оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії.....	155
4.5	Економічна ефективність використання результатів досліджень.....	157
4.6	Висновки по розділу.....	160
	ВИСНОВКИ.....	162
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	164
Додаток А	КАРТИ-СХЕМИ ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНОК.....	181
Додаток Б	ПЕРЕЛІК ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНОК.....	182
Додаток В	ХАРАКТЕРИСТИКА КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ НА ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНКАХ.....	184
Додаток Г	АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ПРОЦЕСАМИ СТАНЦІЇ.....	188
Додаток Д	ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....	191

Додаток Е	МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ, ВИКОРИСТАНИХ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	234
Додаток Ж	СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....	241

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. 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 виконано 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 штапових 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 штапа 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 [100, 101, 126, 132]. У спільних публікаціях автором удосконалено математичну модель динамічного навантаження дорожньої конструкції та розроблено метод визначення фактичного модуля пружності за тривалістю удару [104]; обґрунтовано технічні характеристики, виконано лабораторні, польові та приймальні випробування автоматизованої вимірювальної станції, а також розроблено програму та методику метрологічної атестації даного випробувального обладнання [27-29, 137]; 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 [99, 144].

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..

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, 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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

1.1 Загальна характеристика методів випробувань дорожніх конструкцій

На сьогоднішній день існує досить велика кількість методів випробувань дорожніх конструкцій. В цілому сутність всіх цих методів полягає у визначенні величин деформацій [1-3] на поверхні дорожньої конструкції або в окремих її шарах, що виникають під дією випробувального навантаження.

В загальному випадку методи випробувань можна умовно поділити на дві групи:

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

В свою чергу вони поділяються на різновиди (рис. 1.1) [4].

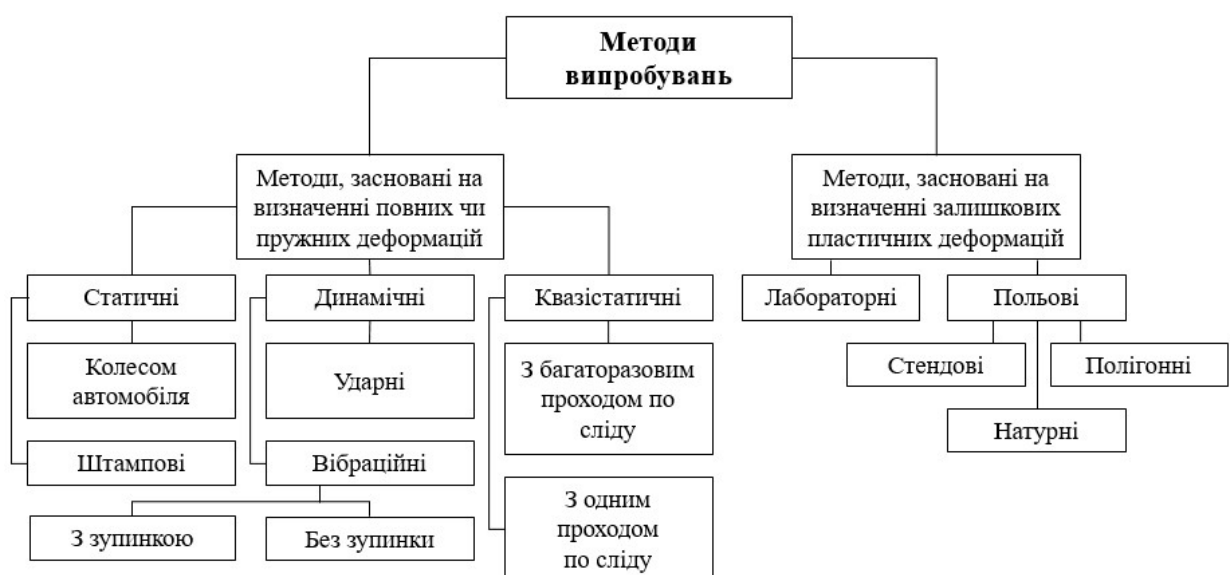


Рисунок 1.1 – Методи випробувань дорожніх конструкцій

Методи відрізняються між собою як обладнанням для створення та передачі випробувального навантаження, так і методиками та засобами вимірювань величин та характеру деформацій.

Порівняльний аналіз, наведений нижче, виконано стосовно тільки тих методів та засобів випробувань дорожніх конструкцій, які в подальшому удосконалювалися в даній дисертаційній роботі.

1.2 Статичні методи

Статичні штампові випробування полягають у навантаженні встановленого на поверхню дорожньої конструкції штампа і вимірюванні вертикальної деформації поверхні покриття в залежності від величини прикладеного навантаження.

Ці випробування дають найбільш об'єктивні результати визначення деформаційних характеристик дорожніх конструкцій, оскільки схема навантаження відповідає розрахунковій схемі, яка була використана Ж. Бусінеском при вирішенні задачі про напружено-деформований стан напівпростору під дією сили, прикладеної до його поверхні і рівномірно розподіленого по поверхні штампа тиску [5].

Питаннями, пов'язаними з розробкою методик штампових випробувань, засобів вимірювань, виконанням самих штампових випробувань та аналізом отриманих результатів, займалися такі вчені, як: Апестін В.К. [6], Батракова А.Г. [7], Біруля О.К. [8], Булах Є.О. [9], Гамеляк І.П. [10], Гончаренко Ф.П. [11], Гусєв В.М. [12], Іванов М.М. [13, 14], Іноземцев А.А. [15], Казарновський В.Д. [16], Кіяшко І.В. [17], Коганзон М.С. [18, 19], Коновалов С.В. [20], Красиков О.О. [21], Лейвак В.О. [14, 20, 22], Леонович І.Й. [23], Любченко В.А. [17], Міхович С.К. [8, 24], Новаковський Д.М. [17, 25], Павлюк Д.О. [26-30], Радовський Б.С. [31], Сіденко В.М. [24, 32], Титаренко О.М. [4], Шак О.М. [6], Яковлєв Ю.М. [6, 14, 18, 20, 33], Kopf F. [34], Adam D. [34], Paulmichl I. [34] та ін.

Нижче наведено аналіз деяких питань, пов'язаних з статичними штамповими випробуваннями.

У більшості випадків для штампових випробувань використовують круглий жорсткий штамп та гідравлічний домкрат, осідання штампа вимірюють індикаторами переміщення, встановленими на прогиномірі (рис. 1.2, а, б) [35, 36].

а)



б)



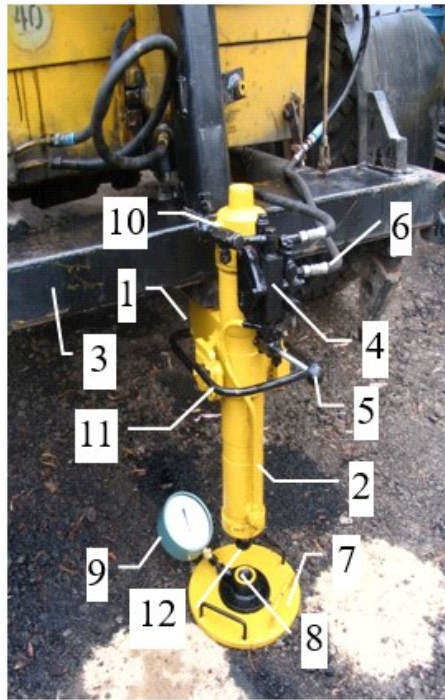
Рисунок 1.2 – Вимірювальне обладнання для статичних штампових випробувань: а) штампове обладнання НТУ; б) прес-штамп ПШ-050 СНВЦ «РОСДОРТЕХ»

Недоліками даного вимірювального обладнання є низька продуктивність випробувань, обумовлена необхідністю використання ручної праці оператора при створенні навантаження на штамп за допомогою ручного гідравлічного домкрату.

Крім того, значна вага та громіздкість обладнання створює додаткові незручності при перенесенні елементів обладнання з одного місця випробувань на інше і при їх монтажі.

При випробуваннях безпосередньо на автомобільній дорозі виникає небезпека попадання оператора під колеса дорожньо-будівельної техніки чи рухомого транспорту.

В НТУ розроблено націпне обладнання на автогрейдер (рис. 1.3), призначене для створення розрахункового навантаження при штампових випробуваннях шарів дорожнього одягу і ґрунтових основ, яке позбавлене багатьох цих недоліків [9, 30].



1 – кронштейн; 2 – гідроциліндр; 3 – рама викорчовувача; 4 – гіддорозподільник; 5 – важіль управління; 6 – гідрошланги; 7 – жорсткий штамп; 8 – опорна п'ята гідралічного вимірювача навантаження; 9 – манометр; 10 – дросель-клапан; 11 – монтажні ручки; 12 – наконечник штоку гідроциліндра

Рисунок 1.3 – Начіпне обладнання НТУ на автогрейдер

Але в той же час воно потребує підключення до гідросистеми автогрейдера, тобто орієнтоване на використання певного виду дорожньої техніки.

Окремої уваги потребує вирішення питання про безпосереднє вимірювання осідань штамп під час випробувань.

В Австрії при проведенні статичних штампових випробувань шарів дорожнього одягу використовується вимірювальний пристрій з трьома

датчиками переміщень (рис. 1.4, а) [34, 38-41], тоді як в Німеччині – з одним датчиком (рис. 1.4, б) [34, 37].

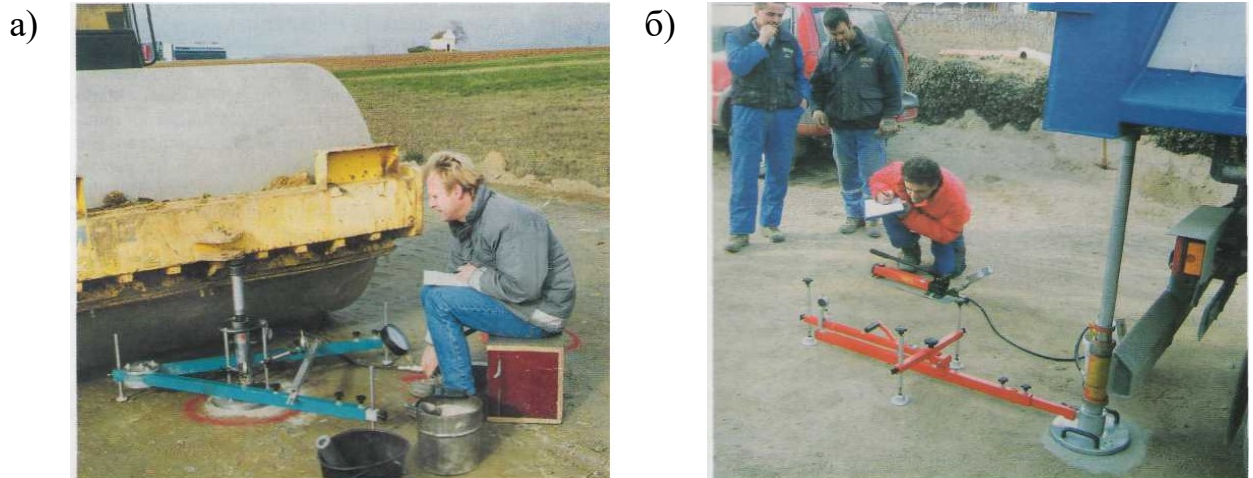


Рисунок 1.4 – Статичні штампові випробування з використанням вимірювального пристрою: а) з трьома датчиками переміщень; б) з одним датчиком переміщень

В першому випадку три датчики переміщень встановлюють на консолях, жорстко зв'язаних з вкрученими в штамп стержнями (рис. 1.4, а). Штоки датчиків опирають на ланки реперної балки, яка має форму рівнобедреного трикутника. Спостерігаючи за показаннями датчиків, можна виявити перекошування штампа при навантаженні. В другому випадку датчик переміщення закріплюють на консолі лінійної реперної балки, а шток його опирають на центр штампа (рис. 1.4, б). Перекос штампа можна визначити тільки за допомогою ватерпаса.

Вважається, що австрійська методика більш точна, але трудомістка. Німецька методика простіша, але не враховує перекошування штампу.

В Україні методикою, наведеною в нормативному документі [42], при проведенні статичних штампових випробувань передбачено використання двох датчиків переміщень, встановлених вздовж діаметра штампа на рівних відстанях від його центра (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Статичні штампові випробування з використанням вимірювального пристрою з двома датчиками переміщень

Розрахункове переміщення приймають рівним напівсумі відліків за цими датчиками [42]. При цьому, як і у випадку з використанням німецької методики, перекош штампа можна визначити тільки за допомогою ватерпаса.

Тому виникають великі сумніви щодо доцільності застосування даної методики взагалі.

Таким чином, потребує вирішення задача про необхідну і достатню кількість датчиків переміщення для проведення вимірювань.

1.3 Динамічні методи

В теперішній час набули широкого розповсюдження прилади динамічної дії. Принцип їх роботи полягає у визначенні осідання покриття при дії на нього динамічного навантаження, що імітує проїзд розрахункового автомобіля з швидкістю 60 км/год та навантаженням на вісь 11,5 тон.

В СРСР розробкою динамічних методів оцінювання деформативності дорожніх конструкцій почали займатися ще в 60-х роках минулого століття. В роботі [43] Яковлєвим Ю.М. були закладені теоретичні основи даних методів.

Найбільш відомими установками динамічного навантаження, розробленими в той час, є «УДН-Н», «УДН-ПД», «УДН-НК» та «Дина-3М» [4, 6, 8, 14, 18-20, 22, 23, 33, 43-48], авторами яких були В.К. Апестін,

Ю.М. Яковлєв, В.О. Лейвак, М.С. Коганзон, С.В. Коновалов, С.С. Коновалов, О.М. Стрижевський, та ін.

Установка «УДН-Н» виконана у вигляді навісного обладнання на автомобіль (рис. 1.6) [23, 44, 47].



Рисунок 1.6 – Навісна установка динамічного навантаження УДН-Н

Принцип роботи полягає в наступному. Рухомий вантаж скидається з певної висоти на амортизатор у вигляді сталеві пружини чи прокладки з пружного матеріалу. При цьому виникає короткочасне динамічне зусилля (до 60 кН), близьке за величиною і тривалістю дії (0,02 – 0,03 с) до навантаження від колеса рухомого розрахункового автомобіля, яке через круглий штамп передається на дорожнє покриття.

Підіймання вантажу проводиться автоматично за допомогою електродвигуна. Для реєстрації пружної деформації дорожнього одягу застосовують вібрографи ВР-1А, що записують випробування на паперову стрічку.

З метою випробувань дорожніх одягів багаторазовим повторюваним навантаженням в МАДІ на кафедрі «Будівництва та експлуатації доріг» була розроблена та виготовлена пересувна установка динамічного навантаження «УДН-ПД» [14, 22].

Установка «УДН-ПД» була змонтована на автопричепі ГАЗ-704. Ударний механізм являв собою направляючу трубу, всередині якої рухався вантаж масою 100 кг, що розвивав динамічне зусилля до 6000 кг. Частота прикладання навантаження складала близько 20 імпульсів на хвилину.

Вертикальні пружні та залишкові деформації, що виникали під дією короткочасного навантаження, фіксувались датчиками переміщень ДП-2 та ДП-3, які входили в комплект вібровимірювальної апаратури ВІБ-5МА. Реєстрація сигналів переміщення виконувалась осцилографом. Установка використовувалась для дослідження зв'язку розтягуючих напружень з радіусом кривизни чаші прогину. Для цього ручні вібрографи типу ВР-1А закріплювались на реперній балці довжиною 5,5 м, виконаній у вигляді ферми. Опори реперної балки розміщувались за межами чаші прогину покриття від створюваного навантаження. Максимальна кількість навантажень дорожньої конструкції складала 198 000 циклів. Всього було випробувано 10 конструкцій дорожніх одягів з доведенням їх до руйнування. Кожне випробування тривало від 7 до 45 діб [14, 22].

Пізніше в МАДІ також була розроблена установка УДН-НК [23, 33, 44, 45, 47, 49] з «гнучким» штампом (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Установка УДН-НК [23]

Вона монтується на вантажному автомобілі ЗІЛ-130. В якості елемента, що передає зусилля від падаючого вантажу на дорожню конструкцію, тут

використовуються спарені пневматичні авіаційні колеса, які одночасно виступають в ролі демпферного пристрою. Підйом і опускання коліс на покриття, а також підйом вантажу здійснюються електромеханічним шляхом. Принцип дії установки аналогічний дії установок з жорстким штампом.

Основною перевагою даної установки перед установкою з жорстким штампом є більша продуктивність, пов'язана з відсутністю необхідності піднімати і заново опускати штамп при переїзді на наступну точку вимірювань. Передача навантаження через колеса більш відповідає впливу реального автомобіля. Але є й недоліки, які пов'язані з наявністю тих же коліс. Відомо, що в гумі при динамічному впливі виникають гістерезисні втрати, які в значній мірі визначаються складом гуми, внутрішнім тиском в шині, температурою. В результаті частина енергії падаючого вантажу поглинається пневматичними шинами, що знижує динамічний вплив і ускладнює визначення його параметрів [23, 49].

До недавнього часу в Російській Федерації найбільш поширеним приладом динамічного навантаження, який серійно випускався, була установка причіпного типу «Дина-3М» [23, 45, 50].

На причепі УАЗ-8109 встановлено механічний пристрій для підйому вантажу масою 160 кг на певну висоту з наступним скиданням його на штамп, що опускається на поверхню дорожньої конструкції. Зусилля на штамп передається через сталеву пружину. У момент удару вантажу об металевий штамп, за допомогою датчика потенціометричного типу, закріпленого на виносній реперній балці, вимірюється прогин поверхні покриття в діапазоні від 0,1 до 3,0 мм.

Недоліком установки «Дина-3М» є те, що насправді вимірюється прямий прогин поверхні покриття [50], а не зворотний, як традиційно прийнято вважати. Численні дослідження, проведені в СНВЦ «РОСДОРТЕХ» з використанням сучасного вимірювального обладнання показали, що при вимірюваннях установкою з використанням датчиків лінійного переміщення дійсно в подальших розрахунках використовувались дані по максимальному

прогину поверхні покриття відносно датчика. Більше того, в сумарне значення прогину входили як прямий та зворотний прогини покриття, так і коливання самого датчика на реперній балці при проходженні ударної хвилі в верхніх шарах дорожнього одягу. Ще одним суттєвим недоліком даної установки є надмірно жорсткий амортизуючий пристрій, в якості якого використовується спеціально підібрана сталева пружина. Характер навантаження, що прикладається на поверхню покриття, більш відповідає падінню автомобіля з невеликої висоти, аніж його проїзду.

Але найголовнішим конструктивним недоліком установки є необхідність встановлення реперної балки, що призводить до додаткових витрат сил та часу оператора. Під час вимірювань оператору необхідно виходити з автомобіля, а це підвищує небезпеку під час вимірювань. Показання прогину покриття від створеного навантаження необхідно записувати вручну, що створює додаткові незручності, особливо при несприятливих погодних умовах.

В останні декілька років, ФГУП СНВЦ «Росдортех» розроблена і виготовлена автоматизована установка динамічного навантаження «Дина-3М» (рис. 1.8, а, б) [36].

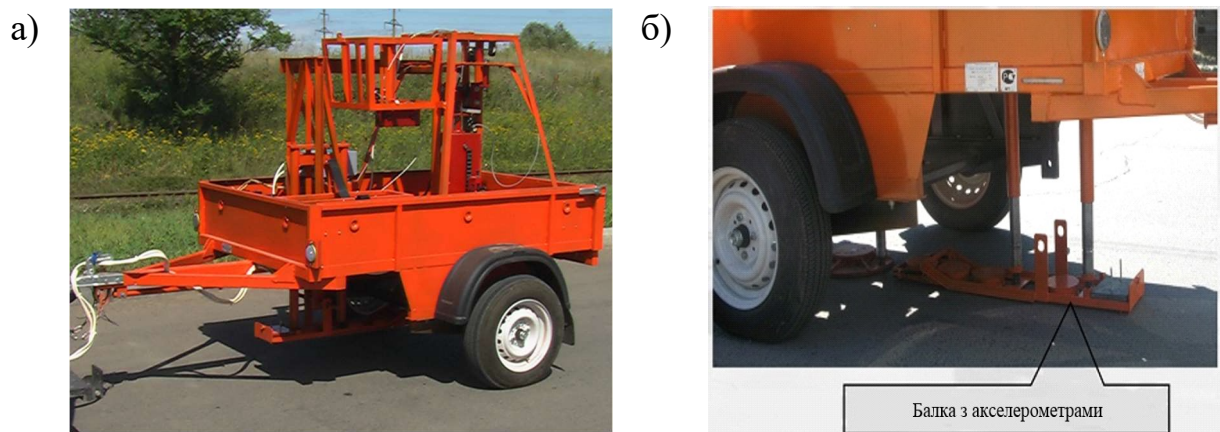


Рисунок 1.8 – Автоматизована установка «Дина-3М»: а) загальний вигляд установки; б) балка з акселерометрами для вимірювання параметрів чаші прогину

Установка в порівнянні з попередньою модифікацією додатково оснащена балкою з акселерометрами (до 4 шт., для вимірювання параметрів чаші прогину) (рис. 1.8, б), модулем зв'язку з бортовим обчислювальним комплексом, що дозволяє повністю автоматизувати процес навантаження і вимірювань, та додатковою Web-камерою для проведення вимірювань без виходу оператора з лабораторії.

З використанням акселерометрів, реєструються необхідні параметри чаші прогину дорожнього покриття, на основі яких розраховуються модулі пружності земляного полотна та шарів дорожнього одягу при динамічному навантаженні.

В той же час дана установка має ряд недоліків. Для забезпечення високої точності вимірювань параметрів чаші прогину необхідно досить часто розташовувати датчики на реперній балці. При цьому акселерометри, що використовуються, потребують суттєвого привантаження (приблизно 7 кг на кожен датчик). Це заважає встановити датчики на необхідній відстані один від одного і робить конструкцію реперної балки занадто громіздкою. Тому механізм підйому – опускання рухомого штапу та реперної балки має доволі складну конструкцію і часто виходить з ладу.

Крім того, результати вимірювань досить часто супроводжуються похибками, що виникають при подвійному інтегруванні сигналів з датчиків прискорення.

Сучасні установки динамічного навантаження, розроблені за кордоном, теж мають схожий принцип роботи та недоліки, і умовно поділяються на два основні типи: ударні та вібраційні.

Найбільш відомими установками вібраційного типу є Dynaflect та Road Rater [23, 51, 52].

Установка Dynaflect – електромагнітна система для вимірювання динамічного зміщення поверхні покриття, викликаного коливальним навантаженням [23, 51]. Все обладнання монтується на невеликому причепі. Установкою, з використанням спеціального генератора, створюється

синусоїдальне навантаження з частотою вісім циклів у секунду. Прогин, що виникає на покритті від дії навантаження, реєструється за допомогою датчиків (акселерометрів, сейсмометрів тощо).

Установка Road Rater [23, 52] аналогічна установці Dynaflect і використовується при вимірюваннях прогинів від гармонійного навантаження, що створюється спеціальними вібраторами.

Внаслідок складності конструкції та великих витрат часу при підготовці до вимірювань дані прилади не набули широкого розповсюдження та застосовуються в основному на місцевих дорогах з покриттями невеликої товщини, а також на автостоянках.

Серед найбільш розповсюджених в європейських країнах установок ударного типу окреме місце займають так звані дефлектометри з падаючим вантажем FWD (Falling Weight Deflectometer), основними виробниками яких є компанії Dynatest, Kuab, Jils, Phønix/Carl Bro та Komatsu [53-57].

Принцип дії таких установок полягає в наступному. Вантаж падає з відомої висоти на штамп, який складається з чотирьох окремих сегментів. Динамічне зусилля передається через штамп на дорожню конструкцію. Прогин поверхні, що виникає, вимірюється декількома датчиками (геофонами), що розташовуються на реперній балці. На час проведення вимірювань балка притискається до поверхні покриття спеціальним механізмом опускання – підйому. Вимірювальна система реєструє показання всіх датчиків та обробляє їх. Програмне забезпечення, побудоване на основі аналітично-емпіричних моделей, дозволяє діагностувати деформативність дорожніх конструкцій на основі параметрів динамічної чаші прогину.

В університеті штату Техас в Ель-Пасо в рамках стратегічної програми дослідження доріг (SHRP) був розроблений сейсмічний аналізатор дорожнього покриття (SPA) [23, 58, 59].

В даний час устаткування виробляється американською компанією Geomedia Research and Development.

Пристрій монтується на причепі і дуже нагадує установку FWD. Але якщо FWD можна охарактеризувати як пристрій для вимірювання прогину, то установка SPA вимірює поширення ударної хвилі в дорожньому одязі.

Основним недоліком обох установок є занадто висока вартість, яка на сьогоднішній день складає близько 300 тис. доларів. Крім того, реперні балки з механізмами підйому – опускання, як і в автоматизованій установці «Дина-3М» мають занадто громіздку конструкцію і часто виходять з ладу, пошкоджуючи при цьому вимірювальні датчики.

В країнах близького зарубіжжя виробництво подібних установок, на жаль, поки що налагодити не вдалося. Так, в Республіці Білорусь використовують придбану в компанії «Phønix» установку PRI-2100 [23], а в Російській Федерації ФГУП СНВЦ «Росдортех» імпортує установки «Примакс 1500» виробництва компанії «Dynatest» [36].

В останні роки в Україні фахівцями ХНАДУ розроблено вітчизняний аналог дефлектометра з падаючим вантажем – установку динамічного навантаження «УДН-ХНАДУ» (рис. 1.9) [17, 35].



Рисунок 1.9 – Установка динамічного навантаження «УДН-ХНАДУ»

За принципом роботи дане обладнання фактично нічим не відрізняється від закордонних зразків і має аналогічні недоліки, які вже розглядались вище.

1.4 Методи випробувань на стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії

На протязі 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., Гезенцевей 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. [31, 60-87].

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

Найбільше піддаються впливу транспортних засобів саме верхні шари асфальтобетонного покриття [61, 88]. Тому, в лабораторних умовах стійкість асфальтобетонів до утворення колії в основному оцінюють за допомогою методів, заснованих на випробуванні зразків під дією колісного навантаження. При цьому зразки для випробувань готуються в лабораторії або можуть бути взяті прямо на дорозі з готового асфальтобетонного покриття [69, 89].

В теперішній час в країнах Європейського Союзу діє стандарт EN 12697 - 20:2012 [90]. Даний стандарт описує методи випробувань асфальтобетонних сумішей з метою оцінки їх сприйнятливості до циклічних навантажень випробувальним колесом.

Ці методи випробувань позитивно зарекомендували себе в багатьох країнах світу, а в країнах ЄС входять в процедуру проектування асфальтобетону. Найбільш поширеними з них є: метод із застосуванням установки прискореного навантаження (FHWA Accelerated Loading Facility – ALF); метод з використанням французького приладу для випробувань покриттів на стійкість до колієутворення (French Pavement Rutting Tester – FPRT); метод із застосуванням випробувальної установки навантаження колесом штату Джорджія (Georgia Loaded Wheel Tester – GLWT); метод з використанням німецького пристрою колієутворення (Hamburg Wheel Tracking Device – HWTD); метод з використанням пристрою для випробувань на зсувостійкість за Суперпейв (Superpave Shear Tester – SST) [62, 64, 65, 82, 89, 91] та ін.

Згадані методи передбачають вимірювання глибини колії в асфальтобетонному зразку після певної кількості проходів колеса з певним навантаженням. Відмінності полягають саме в типі колеса, через яке передається навантаження на зразок [67]. Так, у французькому приладі [64, 65] це пневматичне колесо, а в американському [65] – металеве.

Можна припустити, що результати колієутворення, отримані за допомогою пневматичного колеса, є більш достовірними, оскільки більшою мірою відображають вплив колеса автомобіля на покриття автомобільної дороги [67].

Останнім часом подібні методи широко застосовуються і в країнах СНД. Так, у Російській Федерації використовують комплект обладнання для проведення випробувань на стійкість до колієутворення виробництва німецької компанії «InfraTest». До складу комплекту входять лабораторний змішувач, секторний компактор і установка для проведення випробувань на стійкість до колієутворення «Колесо». Лабораторний змішувач і секторний компактор сконструйовані таким чином, щоб максимально наблизити процес приготування і ущільнення асфальтобетонної суміші в лабораторних умовах до умов приготування суміші на АБЗ та ущільнення за допомогою котків [92].

В свою чергу російськими вченими розроблено власну установку для випробувань асфальтобетону на стійкість до утворення колії «УК-1» з пневматичним колесом [93].

Установка являє собою кліматичну камеру, де з допомогою терморегулятора і тепловентилятора підтримується задана температура (30-60 °С). Випробування асфальтобетонного зразка проводяться в автоматичному режимі з індикацією і запам'ятовуванням як проміжних параметрів (кількість циклів випробувань, глибина колії, температура випробувань), так і остаточних результатів. За результатами проведених випробувань можна визначати показники зсувостійкості зразків асфальтобетону, що дозволяє вже на етапі проектування підбирати оптимальні склади сумішей з метою збільшення терміну їх служби в реальних умовах [93].

В Україні також проводять випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій. При цьому використовуються різноманітні прилади (коліємір ХНАДУ, ДерждорНДІ, прилад ПМА 218-21476215-450), обладнані прогумованим або непрогумованим колесом [68, 69, 94].

В той же час, наскільки б лабораторні установки не були наближені до експлуатаційних умов роботи асфальтобетону, вони не в змозі відобразити реальний напружено-деформований стан дорожніх конструкцій, тому що час, швидкість і кількість прикладень розрахункового навантаження не відповідають фактичним умовам роботи автомобільної дороги [71].

Для оцінювання стійкості дорожніх конструкцій або їх окремих конструктивних шарів до утворення колії в польових умовах використовують спеціальні стенди або полігони.

Спочатку стендові методи випробувань були розроблені для імітації впливу на дорожнє покриття коліс автомобіля реальних розмірів і для визначення кореляції з лабораторними методами. Однак, згодом, у зв'язку з їх ефективністю, вони були прийняті в якості основних методів випробувань на стійкість дорожніх конструкцій до колієутворення [66].

Найбільш відомими в світі є полігони NCAT, WesTrack, MinRoad та ін. [78, 79, 81], розміщені в США. Один з них – полігон NCAT (США) наведено на рис. 1.10.



Рисунок 1.10 – Полігон NCAT (США)

Випробування на подібних полігонах проводять за допомогою спеціальних візків або транспортних засобів, навантаження від яких завчасно відомі. При цьому умови роботи та напружено-деформований стан дорожніх конструкцій максимально наближені до фактичних умов роботи автомобільної дороги.

В свою чергу випробувальні стенди умовно поділяються на дві великі групи: лінійні та кільцеві.

Кільцеві стенди, як правило, розташовані на відкритих територіях, що дозволяє використовувати для влаштування конструкцій дорожнього одягу традиційну техніку. Найбільш відомими з них є LCPC (Франція), Vuis-Cesty (Словаччина), стенд в м. Ясси (Румунія) та ін. На відміну від кільцевих, лінійні стенди є компактними та можуть розміщуватися у закритих приміщеннях, що дозволяє проводити випробування за будь-яких погодних умов. Найбільш відомими є стенди DRTM (Данія), Lintrack (Нідерланди), тощо. Переваги та недоліки даних стендів, а також їх порівняльні характеристики, детально описані в роботах [69, 82, 83].

В наш час за кордоном існують спеціальні мобільні версії навантажувальних установок, які дозволяють в міру необхідності транспортувати їх і застосовувати як на дослідних ділянках, так і на ділянках реальних доріг. Прикладами таких установок є: HVS Mark IV (Швеція), ALF (США), MLS (США) та ін. [82, 83, 86, 95].

В країнах колишнього СРСР також були розроблені та побудовані випробувальні стенди. Так, в м. Балашиха був побудований кільцевий стенд СоюздорНДІ, а на полігоні МАДІ в с. Чорна Грязь Московської області було побудовано кільцевий стенд «Карусель» [96, 97]. В свою чергу один з найкращих в Російській Федерації кільцевих стендів був побудований в м. Омську на базі Омського філіалу СоюздорНДІ [98]. Результати досліджень процесу пружно-пластичного деформування дорожніх покриттів, отримані з використанням даного стенду детально описані в роботах Смірнова О.В. [80] та Кускова В.М. [85].

В Україні єдиний кільцевий стенд, який зараз належить ДП «Дорожній контроль якості», було побудовано у Києві в 1967 році під керівництвом Г.В. Малеванського та Б.С. Радовського [83, 84].

Однак, незважаючи на те, що результати оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії за допомогою стендових методів є найбільш достовірними, недоліком даних методів є те, що вони придатні для випробувань лише завчасно закладених дорожніх конструкцій.

Недоліками спеціальних мобільних версій навантажувальних установок є висока вартість та громіздкість випробувального обладнання. Також, подібні установки потребують значних трудових ресурсів на всіх етапах обслуговування та проведення випробувань.

1.5 Висновки по розділу, мета та завдання дослідження

З огляду на наведений вище аналіз можна сформулювати такі висновки:

1. З аналізу відомих методів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг встановлено, що головними недоліками методик статичних штампових випробувань є: низька продуктивність випробувань, обумовлена необхідністю використання ручної праці оператора при створенні навантаження на штамп за допомогою ручного гідравлічного домкрату; значна вага та громіздкість обладнання, що створює додаткові незручності при перенесенні елементів обладнання з одного місця випробувань на інше і при їх монтажі; небезпека потрапляння оператора під колеса дорожньо-будівельної техніки чи рухомого транспорту при випробуваннях безпосередньо на автомобільній дорозі або місці будівництва; необхідність підключення до гідросистеми автогрейдера, тобто залежність від певного виду дорожньої техніки. Невирішеною також залишається задача про необхідну і достатню кількість датчиків при проведенні вимірювань, оскільки в різних методиках статичних штампових випробувань ця кількість різна.

2. В теперішній час як в Україні так і за кордоном набули широкого розповсюдження прилади динамічної дії, які мають більш високу продуктивність в порівнянні з методами та засобами, що реалізують статичний метод випробувань дорожніх конструкцій.

Головним недоліком методик динамічних штампових випробувань є необхідність застосування для вимірювання пружного прогину реперних балок. Наявність останніх потребує використання ручної праці оператора та виходу його за межі пересувної лабораторії. Крім цього, механізм підйому – опускання рухомого штампу та реперної балки має доволі складну конструкцію і часто виходить з ладу, пошкоджуючи при цьому вимірювальні датчики.

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

Головний недолік лабораторних методів полягає в тому, що вони не в змозі відобразити реальний напружено-деформований стан дорожніх

конструкцій, тому що час, швидкість і кількість прикладень розрахункового навантаження не відповідають фактичним умовам роботи автомобільної дороги.

Польові методи оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії представлені у вигляді спеціальних стендів або полігонів, а також мобільних версій навантажувальних установок.

Результати оцінювання стійкості до колієутворення за допомогою стендових методів є найбільш достовірними. Недоліком даних методів є те, що вони придатні для випробувань лише завчасно закладених дорожніх конструкцій.

Недоліками спеціальних мобільних версій навантажувальних установок є висока вартість та громіздкість випробувального обладнання. Також, подібні установки потребують значних трудових ресурсів на всіх етапах обслуговування та проведення випробувань.

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.

Тому, для попередження виникнення колійності на автомобільних дорогах необхідно розробити метод оцінювання схильності реальних дорожніх конструкцій до накопичення залишкових пластичних деформацій.

Для цього потрібно розробити комплект випробувального обладнання, який дозволить у польових умовах створити навантаження на дорожню конструкцію, а потім оцінити величину та характер залишкових пластичних деформацій асфальтобетонного покриття, викликаних дією цього навантаження.

Грунтуючись на викладеному, **метою дисертаційної роботи є** удосконалення методів випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні

автомобільних доріг шляхом підвищення їх продуктивності, точності, інформативності та безпеки.

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

- проаналізувати відомі методи та засоби випробувань дорожніх конструкцій при діагностуванні автомобільних доріг;
- удосконалити метод статичних штапових 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.

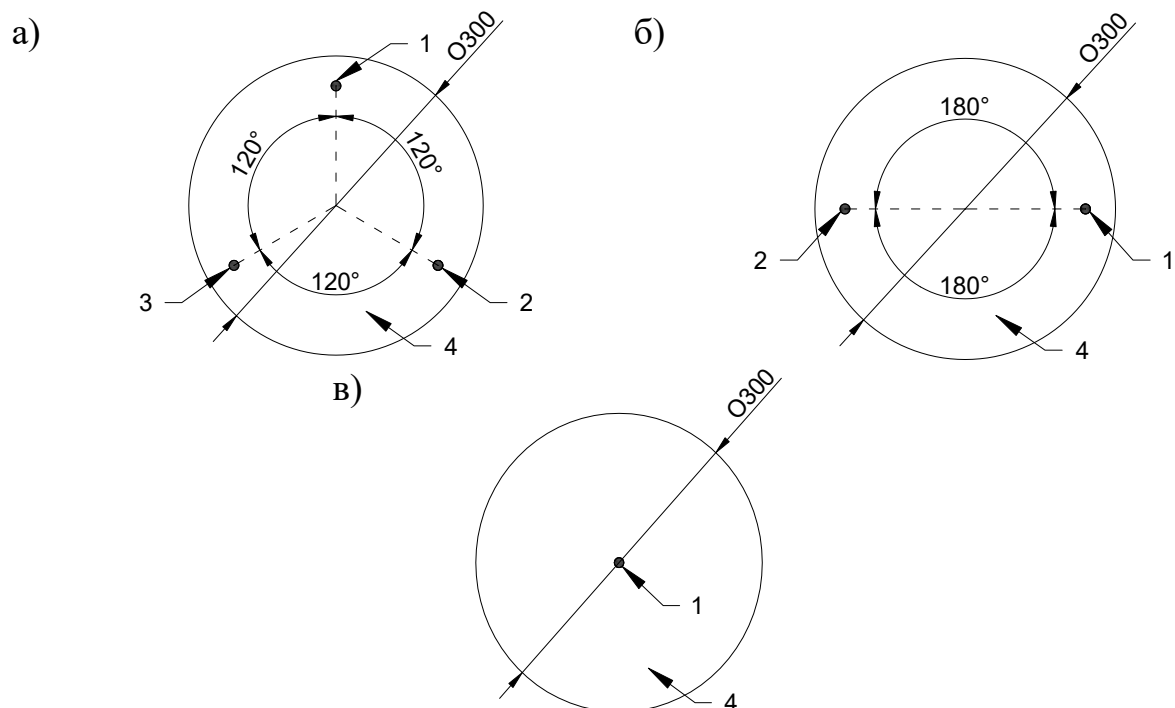
Основні результати досліджень першого розділу висвітлено в роботах автора: [27, 99-101].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

2.1 Математична модель переміщень точок штампa при статичних випробуваннях

На основі аналізу, наведеного в підрозділі 1.2 було встановлено, що в різних методиках статичних штампових випробувань, як закордонних так і українській, передбачено використання різної кількості датчиків переміщень (рис. 2.1).



1 – датчик № 1; 2 – датчик № 2; 3 – датчик № 3; 4 – жорсткий штамп

Рисунок 2.1 – Схеми розміщення датчиків переміщень за методикою:
 а) ÖNORM B 4417 (Австрія) [38-41]; б) ВБН В.2.3-218-186-2004 (Україна) [42]; в) DIN 18134 (Німеччина) [37]

Використання австрійської методики з трьома датчиками переміщень дозволяє виявити перекошування штампа при навантаженні. Але в той же час залишається незрозумілим питання, як визначити осідання в центрі штампа, необхідне для розрахунку модуля пружності чи модуля деформації, коли показання датчиків в момент перекошу будуть абсолютно різними.

Німецька методика з одним датчиком переміщення набагато простіша, але не враховує перекошування штампа.

Використання української методики взагалі не доцільне, оскільки два датчики переміщень не дають змоги відслідкувати перекош штампа. При цьому вони потребують додаткових зусиль та часу на встановлення, тим самим суттєво підвищуючи трудомісткість випробувань в цілому.

В плоскому випадку переміщення штампа при перекосі можна розглянути як поворот на деякий кут α і паралельний перенос (рис. 2.2).

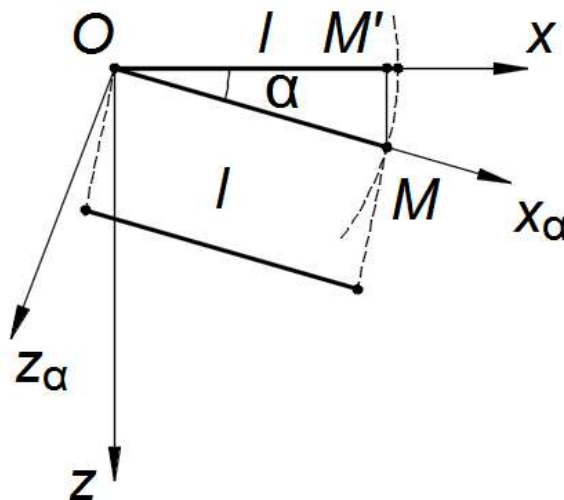


Рисунок 2.2 – Переміщення штампа при перекосі в плоскому випадку

Тоді в системі xOz координати точки M :

$$\begin{aligned} x_M &= l \cdot \cos \alpha, \\ z_M &= l \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Якщо $\alpha \ll 1$, тоді:

$$\begin{aligned}\sin \alpha &= \alpha, \\ \cos \alpha &= 1, \\ \operatorname{tg} \alpha &= \alpha,\end{aligned}\tag{2.2}$$

звідси $OM' = l$.

В такому випадку осідання в центрі штампа можна визначити за формулою:

$$S_i = \frac{S_{i_1} + S_{i_2} + S_{i_3}}{3},\tag{2.3}$$

де $S_{i_1}, S_{i_2}, S_{i_3}$ – показання датчиків переміщень, розміщених так, як показано на рис. 2.1, а.

При цьому паралельний перенос нас не дуже цікавить, оскільки всі точки переміщуються на одну і ту ж величину.

В більш загальному випадку, коли точка M не лежить на осі Ox чи Oz (рис. 2.3):

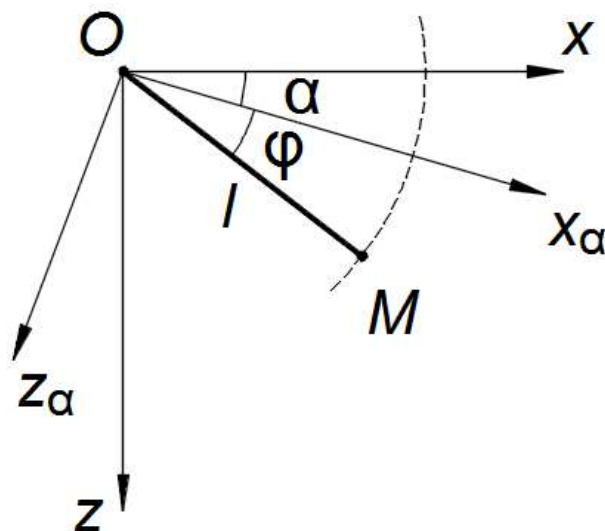


Рисунок 2.3 – Перетворення координат при повороті осей

Звідси:

$$\begin{aligned}
 x_\alpha &= l \cdot \cos \varphi, \\
 z_\alpha &= l \cdot \sin \varphi, \\
 x &= l \cdot \cos(\alpha + \varphi), \\
 z &= l \cdot \sin(\alpha + \varphi).
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Тоді:

$$\begin{aligned}
 x &= x_\alpha \cdot \cos \alpha - z_\alpha \cdot \sin \alpha, \\
 z &= x_\alpha \cdot \sin \alpha + z_\alpha \cdot \cos \alpha.
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Позначимо матриці:

$$X = \begin{pmatrix} x \\ z \end{pmatrix}; X_\alpha = \begin{pmatrix} x_\alpha \\ z_\alpha \end{pmatrix}; A = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}.
 \tag{2.6}$$

Тоді маємо матричне рівняння:

$$X = A \cdot X_\alpha.
 \tag{2.7}$$

Матриця A не вироджена, тому вона має обернену матрицю, яку можна подати у вигляді:

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}.
 \tag{2.8}$$

Тоді

$$x_\alpha = A^{-1} \cdot x,
 \tag{2.9}$$

або можемо записати:

$$\begin{aligned}
 x_\alpha &= x \cdot \cos \alpha + z \cdot \sin \alpha, \\
 z_\alpha &= -x \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha.
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

В дійсності штамп може обертатися не тільки навколо осі Oy , а і навколо осі Ox (рис. 2.4).

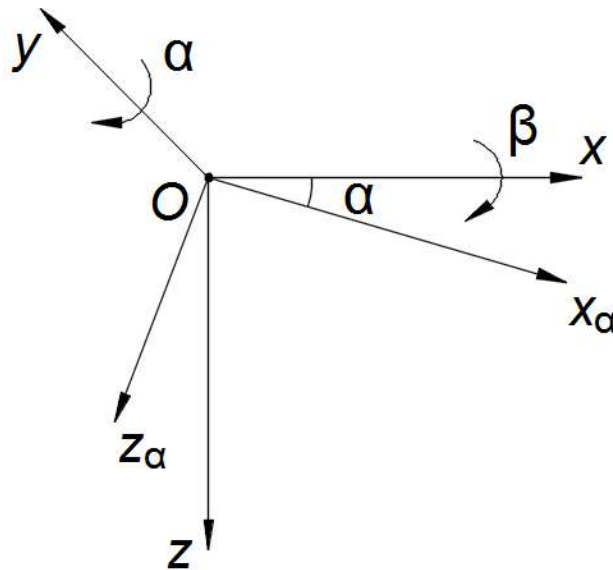


Рисунок 2.4 – Переміщення штампа при перекосі в просторовому випадку

При цьому, результати 3D моделювання перекосу штампа в ПК «AutoCAD» свідчать про те, що в такому випадку залежність (2.3) вже буде некоректною (рис. 2.5).

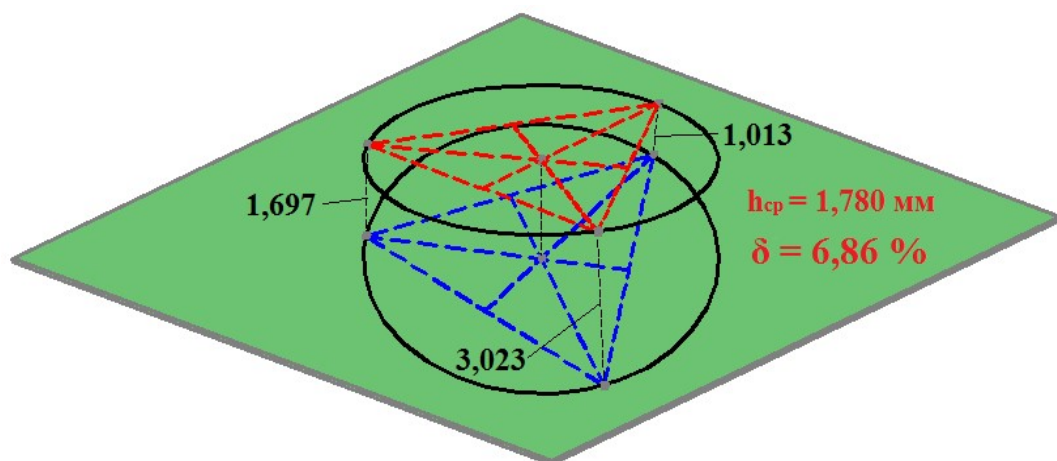


Рисунок 2.5 – Результати 3D моделювання перекосу штампа в ПК «AutoCAD»

Тоді ми можемо отримати формули, аналогічні (2.5) та (2.10), для переходу від однієї системи координат до іншої. В отримані формули будуть входити як кут α , так і кут β .

На практиці дуже складно визначити на який кут повернеться штамп відносно осі Ox та відносно осі Oy (рис. 2.6), оскільки поведінка штамп є абсолютно непередбачуваною.



Рисунок 2.6 – Перекос штамп при проведенні випробувань ґрунтової основи

Відтак виникають труднощі при знаходженні розв'язку системи рівнянь з двома невідомими α та β . Тому розглянемо іншу модель знаходження переміщення центральної точки штамп O .

Будемо вважати, що в недеформованому стані штамп знаходиться в площині $z = 0$, а в точках A, B, C знаходяться індикатори переміщень (рис. 2.7).

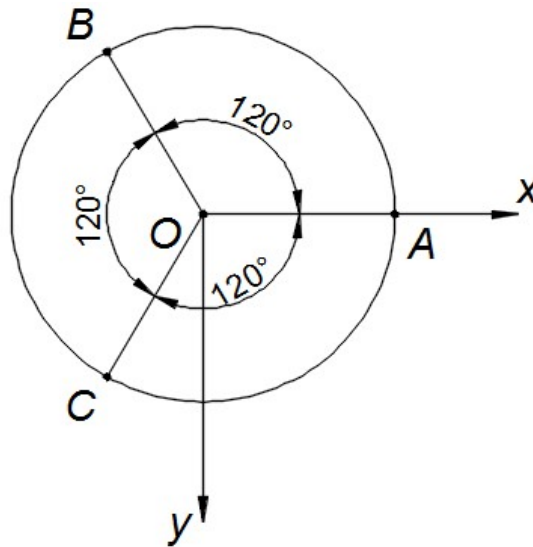


Рисунок 2.7 – Положення індикаторів переміщення на штампі в недеформованому стані

Звідси ми можемо визначити 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 на величини z_A , z_B , z_C відповідно. Ці переміщення можемо визначити за допомогою індикаторів. Відомо, що через три точки, що не лежать на одній прямій, можна провести площину, і тільки одну. Рівняння цієї площини можна записати у вигляді:

$$\begin{vmatrix} x-x_A & y-y_A & z-z_A \\ x_B-x_A & y_B-y_A & z_B-z_A \\ x_C-x_A & y_C-y_A & z_C-z_A \end{vmatrix} = 0. \quad (2.11)$$

Розклавши визначник за елементами першого рядка отримаємо:

$$\begin{aligned} (x-x_A) \cdot \begin{vmatrix} y_B-y_A & z_B-z_A \\ y_C-y_A & z_C-z_A \end{vmatrix} - (y-y_A) \cdot \begin{vmatrix} x_B-x_A & z_B-z_A \\ x_C-x_A & z_C-z_A \end{vmatrix} + \\ + (z-z_A) \cdot \begin{vmatrix} x_B-x_A & y_B-y_A \\ x_C-x_A & y_C-y_A \end{vmatrix} = 0, \end{aligned} \quad (2.12)$$

або

$$\begin{aligned}
& (x-x_A) \cdot \left((y_B-y_A) \cdot (z_C-z_A) - (z_B-z_A) \cdot (y_C-y_A) \right) - \\
& - (y-y_A) \cdot \left((x_B-x_A) \cdot (z_C-z_A) - (z_B-z_A) \cdot (x_C-x_A) \right) + \\
& + (z-z_A) \cdot \left((x_B-x_A) \cdot (y_C-y_A) - (y_B-y_A) \cdot (x_C-x_A) \right) = 0.
\end{aligned} \tag{2.13}$$

Розкривши дужки, отримаємо рівняння площини, яке можна записати у вигляді:

$$A^* \cdot x + B^* \cdot y + C^* \cdot z + D^* = 0. \tag{2.14}$$

До деформації точки лежали на площині $z=0$, вектор нормалі цієї площини

$$\vec{n}_1 = \{0; 0; 1\}. \tag{2.15}$$

Після деформації точки перейшли на площину (2.14), вектор нормалі цієї площини

$$\vec{n}_2 = \{A^*; B^*; C^*\}. \tag{2.16}$$

Кут між площинами $z=0$ та (2.14) дорівнює куту між векторами $\vec{n}_1$ та $\vec{n}_2$ (рис. 2.8).

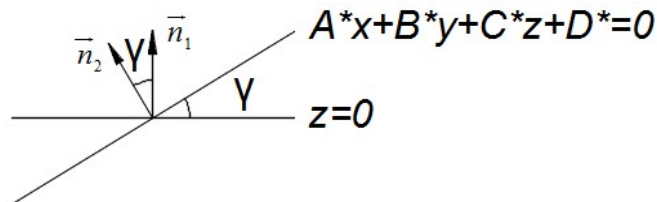


Рисунок 2.8 – Кут між площинами штамп до і після перекосу

Знайдемо цей кут:

$$\cos \gamma = \frac{\vec{n}_1 \cdot \vec{n}_2}{|\vec{n}_1| \cdot |\vec{n}_2|}. \quad (2.17)$$

Знайшовши скалярний добуток і модулі відповідних векторів, при умові, що кут гострий, отримаємо:

$$\cos \gamma = \frac{|C^*|}{\sqrt{A^{*2} + B^{*2} + C^{*2}}}. \quad (2.18)$$

Площина штампа до деформації $z = 0$ буде перетинатися з площиною після деформації (2.14) по прямій, яка лежить в площині xOy (рис. 2.9):

$$A^* \cdot x + B^* \cdot y + D^* = 0. \quad (2.19)$$

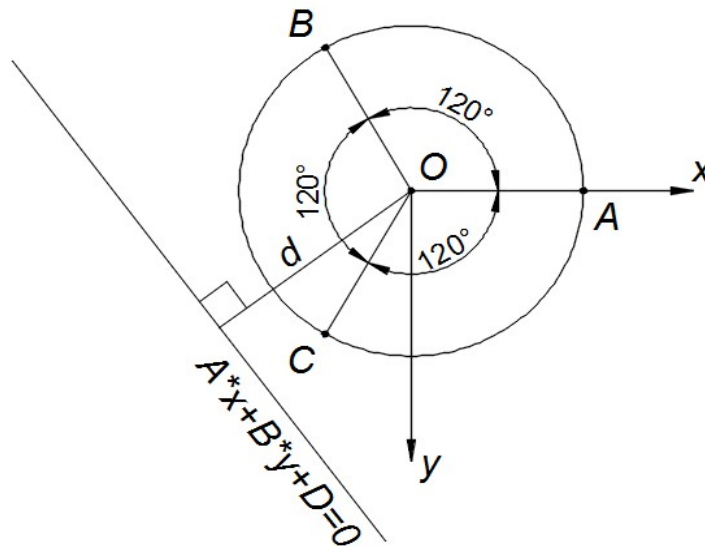


Рисунок 2.9 – Розташування прямої перетину двох площин в площині xOy

Відстань від центральної точки штампа O в недеформованому стані до прямої (2.19) знайдемо за формулою:

$$d = \frac{|A^* \cdot x_0 + B^* \cdot y_0 + D^*|}{\sqrt{A^{*2} + B^{*2}}}. \quad (2.20)$$

Відповідно осідання в центрі штампа OO' буде дорівнювати:

$$OO' = d \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (2.21)$$

Отже, можемо зробити висновок, що шляхом використання запропонованої математичної моделі [145] можна визначити осідання в центрі штампа, необхідне для розрахунку модуля пружності чи модуля деформації, у випадку, коли штамп в момент перекосу буде обертатися як навколо осі Oy , так і навколо осі Ox , а кути повороту α та β будуть значними.

У випадку, коли штамп буде обертатись лише навколо осі Ox чи Oy , або коли кути α та β будуть незначними, залежність (2.3) буде справедливою і осідання штампа з достатньою для інженерної практики точністю можна буде виміряти одним датчиком переміщення, встановленим в центрі штампа.

Щоб оцінити величини кутів, на які може в дійсності обертатися штамп під час перекосу, а також остаточно визначитись з достатньою кількістю датчиків при проведенні вимірювань необхідно провести експериментальні дослідження.

2.2 Теоретичні аспекти удосконалення динамічного методу випробувань дорожніх конструкцій

На основі аналізу недоліків відомих методик та засобів, що реалізують метод динамічних випробувань дорожніх конструкцій, в підрозділі 1.5 була поставлена задача щодо удосконалення даного методу шляхом спрощення вимірювальних операцій і зменшення похибки вимірювань.

На сьогоднішній день більшість відомих засобів для динамічних штампових випробувань мають реперну балку, необхідну для вимірювання пружного прогину і визначення динамічного модуля пружності за формулою [44, 102]:

$$E_{\phi} = \frac{K_q p D (1 - \mu^2)}{l}, \quad (2.22)$$

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

p – розрахунковий тиск на покриття, МПа;

D – діаметр штампа, м;

μ – коефіцієнт Пуассона;

l – пружний прогин покриття, м.

Очевидним є те, що усунути недоліки динамічного методу випробувань, описані в підрозділі 1.3, та спростити процес вимірювань можливо лише шляхом відмови від використання реперних балок. Це в свою чергу потребує вибору нового параметру, який слід визначати замість пружного прогину при випробуваннях дорожніх конструкцій.

За кордоном існує метод визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій з використанням пристрою «ZFG-2000» [103], за допомогою якого проводять динамічне навантаження поверхні дорожнього одягу, реєструють сигнал від обладнання, отримують середнє значення осідання поверхні дорожньої конструкції та розраховують динамічний модуль деформації за формулою:

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma_{\max}}{S_{\max}}, \quad (2.23)$$

де r – радіус штампа, м;

$\overline{S_{\max}}$ – середнє з осідань $S_{4\max}$, $S_{5\max}$, $S_{6\max}$ штампа при трьох ударах, м;

$\sigma_{\max}$ – нормальне напруження під штампом, ($\sigma_{\max} = 0,1$ МН/м²).

Незважаючи на те, що при проведенні випробувань відсутня необхідність у використанні реперних балок, даний метод також не є

досконалим та має свої недоліки, головним з яких є складність визначення осідання дорожньої конструкції.

Реєстрація сигналу відбувається датчиком прискорення. Обробка сигналу прискорення для отримання осідання дорожньої конструкції вимагає подвійного інтегрування, а цей процес є досить складним та призводить до значної похибки.

В роботі [9] Булахом Є.О. була побудована математична модель взаємодії ударника установки «УДВО-НТУ» з покриттям.

Формулу (2.22) можна подати у вигляді:

$$E = \frac{4\xi P}{\pi D l}, \quad (2.24)$$

де ξ – коефіцієнт;

P – навантаження на штамп,

звідки знайдемо залежність між пружною реакцією P і прогином покриття l :

$$P = \frac{\pi E D l}{4\xi}. \quad (2.25)$$

Ця залежність була використана для складання рівняння руху ударника «УДВО» після дотикання до поверхні покриття [9].

Позначимо

$$A = \frac{\pi E D}{4\xi}. \quad (2.26)$$

Тоді вираз (2.25) матиме вигляд лінійної залежності:

$$P = A l. \quad (2.27)$$

При падінні ударника, відразу після контакту його підошви з покриттям, на нього діє сила опору руху, яка не вичерпується тільки пружною реакцією P . Насправді, має місце складова сили опору, що залежить від швидкості руху ударника вниз [9].

Було вирішено врахувати в'язкість, як складову частину сили N в'язкого опору руху ударника, що діє з боку дорожньої конструкції (рис. 2.10) [9].

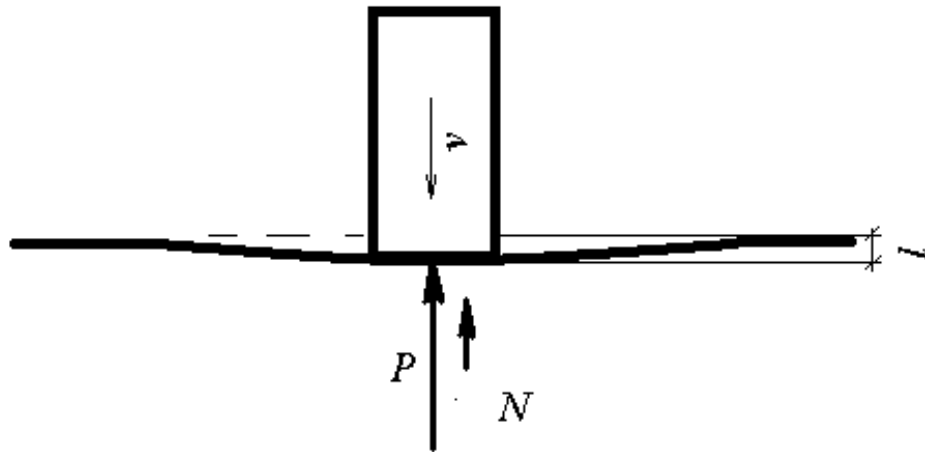


Рисунок 2.10 – Розрахункова схема до складання рівняння руху ударника при контакті з покриттям

Ця сила пропорційна швидкості деформації покриття:

$$N = c \frac{dl}{dt}, \quad (2.28)$$

де c – узагальнений коефіцієнт в'язкості дорожньої конструкції, який має розмірність Н/(м/с) [9].

За другим законом Ньютона:

$$m \frac{d^2 l}{dt^2} = -Al - c \frac{dl}{dt}. \quad (2.29)$$

Таким чином, здійснивши необхідні перетворення, автором роботи [9] було отримано лінійне однорідне диференціальне рівняння затухаючих коливань другого порядку

$$\frac{d^2 l}{dt^2} + 2n \frac{dl}{dt} + k^2 l = 0, \quad (2.30)$$

де

$$k = \sqrt{\frac{A}{m}}, \quad (2.31)$$

$$n = \frac{c}{2m}, \quad (2.32)$$

з такими початковими умовами:

$$t = 0; \quad l = 0; \quad \frac{dl}{dt} = V = V_0, \quad (2.33)$$

де V_0 – початкова швидкість ударника перед дотиканням до покриття.

Проінтегруємо це рівняння за загальним правилом інтегрування однорідних лінійних диференціальних рівнянь II порядку зі сталими коефіцієнтами. З характеристичного рівняння

$$r^2 + 2nr + k^2 = 0 \quad (2.34)$$

знайдемо його корені:

$$r_{1,2} = -n \pm \sqrt{n^2 - k^2}. \quad (2.35)$$

Залежно від співвідношення n і k слід розрізняти три випадки:

- 1) корені характеристичного рівняння комплексні, що має місце при $n < k$;
- 2) корені дійсні і різні, тобто при $n > k$;
- 3) корінь дійсний кратний ($r_1 = r_2$) при $n = k$.

Виходячи з того, що в нашому випадку завжди буде зберігатися співвідношення ($n < k$), корені характеристичного рівняння будуть мати вигляд:

$$r_{1,2} = -n \pm i\sqrt{k^2 - n^2}. \quad (2.36)$$

Запишемо загальний розв'язок рівняння (2.30):

$$l = e^{-nt} (C_1 \cos \sqrt{k^2 - n^2} \cdot t + C_2 \sin \sqrt{k^2 - n^2} \cdot t). \quad (2.37)$$

Введемо позначення

$$\sqrt{k^2 - n^2} = k_1, \quad (2.38)$$

тоді

$$l = e^{-nt} (C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t). \quad (2.39)$$

Для визначення C_1 і C_2 скористаємося початковими умовами (2.33) і знайдемо похідну:

$$V = -ne^{-nt} (C_1 \cos k_1 t + C_2 \sin k_1 t) + k_1 e^{-nt} (-C_1 \sin k_1 t + C_2 \cos k_1 t). \quad (2.40)$$

Підставляючи у вирази (2.39) і (2.40) початкові умови, отримаємо:

$$C_1 = 0, \quad (2.41)$$

$$V_0 = -nC_1 + C_2k_1, \quad (2.42)$$

звідси

$$C_2 = \frac{V_0 + nC_1}{k_1} = \frac{V_0}{k_1}. \quad (2.43)$$

Підставимо (2.41) і (2.43) в загальний розв'язок (2.39). Тоді з урахуванням (2.33) матимемо:

$$l = e^{-nt} \frac{V_0}{k_1} \sin k_1 t. \quad (2.44)$$

З урахуванням того, що швидкість є похідна осідання по часу, та початкових умов (2.33) для швидкості ударника матимемо вираз:

$$V = V_0 \cos k_1 t. \quad (2.45)$$

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

$$k_1 = k. \quad (2.46)$$

Отже, вираз (2.45) набуде вигляду:

$$V = V_0 \cos kt. \quad (2.47)$$

Максимальний прогин покриття буде мати місце при повній зупинці ударника $V = 0$. Прирівнюючи вираз (2.47) до нуля, знайдемо момент часу T , коли це трапляється:

$$T = \frac{\pi}{2k}. \quad (2.48)$$

Якщо виміряти час τ удару, який буде в два рази більший, ніж час, визначений за формулою (2.48):

$$\tau = \frac{\pi}{k}, \quad (2.49)$$

то можна підрахувати величину параметра k :

$$k = \frac{\pi}{\tau}. \quad (2.50)$$

З урахуванням виразів (2.26), (2.31), (2.32) матимемо кінцевий вираз (2.51) для визначення фактичного модуля пружності E :

$$E = \frac{4\pi m(1-\mu^2)}{\tau^2 D}, \quad (2.51)$$

де m – маса ударника, кг;

μ – коефіцієнт Пуассона;

τ – тривалість удару, с;

D – діаметр штампа, м.

Формула (2.51) дає можливість відмовитись від використання традиційної формули (2.22), яка включає пружний прогин, для вимірювання якого необхідно використовувати реперні балки. Таким чином, отримано

новий метод визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій [100, 104].

Запропонований метод розв'язує задачу, поставлену в підрозділі 1.5, а саме дозволяє відмовитись від складних операцій реєстрації сигналу від обладнання, подвійного інтегрування, отримання середнього значення осідання та розрахунку динамічного модуля пружності на основі цього осідання, що значно спрощує процес динамічних штампових випробувань.

Величину тривалості удару, необхідну для обчислення фактичного модуля пружності можна легко визначити як різницю між абсцисами А і В з графіку залежності прискорення ударника від часу, приклад якого наведено на рис. 2.11.

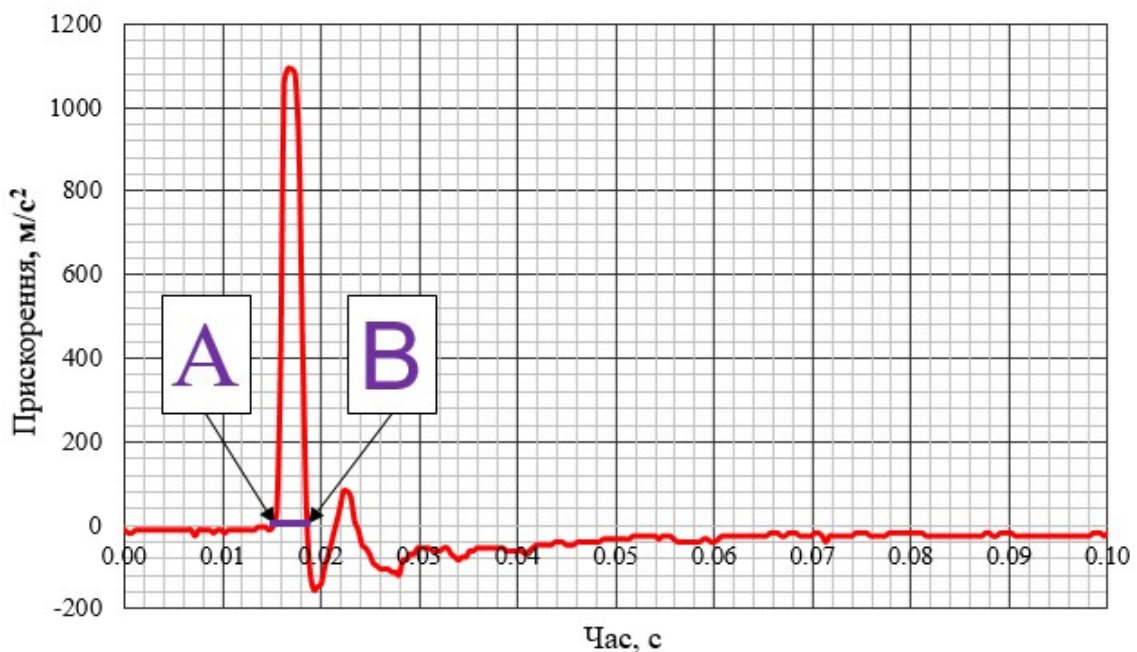


Рисунок 2.11 – Графік залежності прискорення ударника від часу

Більш точно тривалість удару можна визначати з графіка залежності зусилля від часу.

Достовірність залежності (2.51) та запропонованого методу в цілому необхідно підтвердити шляхом проведення експериментальних досліджень в польових умовах.

2.3 Обґрунтування параметрів випробувального обладнання для оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії

В підрозділі 1.5 було вказано, що для розробки методу оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії в реальних умовах на існуючих ділянках автомобільних доріг необхідно створити навантаження на дорожню конструкцію.

Проблему створення навантаження можна розв'язати шляхом вдавлювання в покриття жорсткого металевого штампа. Подібний спосіб набув широкого розповсюдження в процесі оцінювання реологічних властивостей литих асфальтобетонних сумішей. Основним показником, що характеризує стійкість литого асфальтобетону до накопичення пластичних деформацій, є глибина вдавлювання плоского штампа циліндричної форми площею $5,0 \text{ см}^2$ при температурі $+ 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначення цього показника здійснюється в лабораторних умовах з використанням спеціального лабораторного устаткування [92] шляхом випробування зразків кубоподібної форми розміром $7,07 \times 7,07 \times 7,07 \text{ см}$. Методика проведення цих випробувань у європейських країнах (EN 12697-20:2012 [90]) та в Російській Федерації (ГОСТ Р54400-2011 [105]) фактично нічим не відрізняється.

Відомі дослідження з вдавлювання в конструктивні шари дорожніх одягів сферичних штампів під дією статичного навантаження в польових умовах [106 – 109].

Вперше використовувати подібний метод для визначення деформаційно-міцнісних властивостей асфальтобетону в натурних умовах було запропоновано А.М. Будьонним [107].

За допомогою гідравлічного домкрата, що впирався у вантажний автомобіль, на шаровий штамп діаметром $D = 300 \text{ мм}$ прикладалось зусилля $P = 2000 \text{ Н}$. При цьому визначалась повна деформація $l_{\text{пов}}$, залишкова $l_{\text{зал}}$ та пружна деформація:

$$l_{np} = l_{нов} - l_{зал}. \quad (2.52)$$

Модуль пружності покриття визначався за формулою:

$$E_y = \frac{\sigma_{z=20}}{\varepsilon_y}, \quad (2.53)$$

де $\sigma_{z=20}$ – напруження на глибині 20 мм:

$$\sigma_{z=20} = (0,3 \div 0,4) \sigma_{z=0}, \quad (2.54)$$

де $\sigma_{z=0}$ – напруження на поверхні покриття:

$$\sigma_{z=0} = \frac{4P}{\pi d_{відб}^2}, \quad (2.55)$$

$d_{відб}$ – діаметр відбитка при вдавлюванні штампа:

$$d_{відб} = 2l_{нов} \sqrt{\frac{D}{l_{нов}} - 1}, \quad (2.56)$$

ε_y – відносна пружна деформація:

$$\varepsilon_y = \frac{l_{np}}{z}, \quad (2.57)$$

z – товщина напруженого шару:

$$z = (4-5) d_{відб}. \quad (2.58)$$

На думку автора роботи [107] метод Будьонного А.М. має ряд необґрунтованих положень.

Зокрема напруження на поверхні покриття $\sigma_{z=0}$, визначене за формулою (2.55), є середнім значенням напружень, що визначається на площадці діаметром $d_{відб}$. Також, без належного теоретичного обґрунтування береться до уваги і той факт, що напруження на глибині 20 мм, буде визначатись за формулою (2.54).

Активна зона під сферичним штампом $D = 300$ мм виходить за межі асфальтобетонних шарів, щокладаються.

На нашу думку, навантаження 2000 Н є недостатнім у порівнянні зі значеннями нормативних навантажень, наведеними в [110, 111].

Крім того, фактична площа контакту сферичного штампа буде меншою (рис. 2.12, а) ніж та, яка використовується в формулі (2.55) (рис. 2.12, б), тому що під час навантаження поверхня покриття набуває вигляду чаші.

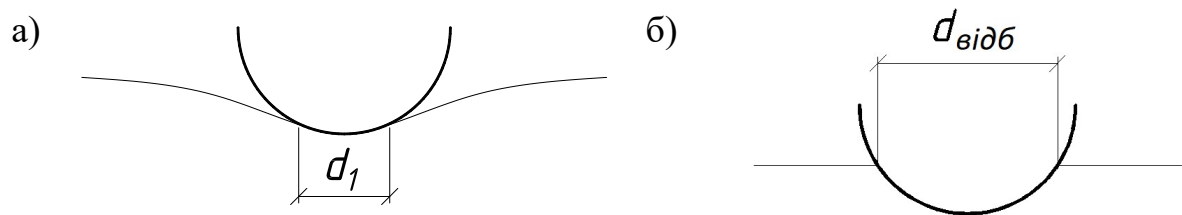


Рисунок 2.12 – До визначення площі контакту сферичного штампа з покриттям: а) фактична площа контакту сферичного штампа; б) площа контакту, яка використовується в формулі (2.55)

Також не зрозуміло, чому не можна обійтись без непрямих вимірювань діаметра відбитку $d_{відб}$ з використанням формули (2.56), вимірюючи безпосередньо $d_{відб}$.

В цілому, можемо стверджувати, що статичні випробування досить трудомісткі, потребують значних затрат часу та використання джерела навантаження. Крім того, випробувальне обладнання досить важке та громіздке. Ще одним суттєвим недоліком подібних випробувань є неможливість створення циклічного навантаження на дорожній одяг, яке

найбільш повно імітує дію рухомого транспорту. Тому будемо використовувати динамічне ударне навантаження.

Явище удару дуже часто зустрічається в техніці, в одних випадках воно завдає шкоди, в інших – приносить користь. Зовнішня різноманітність ударних явищ не може приховати їх типові риси:

- 1) з кінематичного боку – швидкоплинність акту удару, за малий час якого відбуваються різкі зміни швидкостей, але малі зміни координат;
- 2) з динамічного боку – виникнення, а потім зникнення значних ударних сил [112].

Удар можна визначити як сукупність явищ, пов'язаних з різкими змінами швидкостей точок механічної системи, які відбуваються за такий малий час, що в порівнянні з імпульсами виникаючих при цьому ударних сил, можна знехтувати імпульсами всіх інших сил [112].

Постановка будь-якої задачі про удар полягає в формулюванні інерційних і реологічних властивостей тіл, які утворюють досліджувану модель (виділення інерційних елементів, використання уявлень про абсолютно тверде тіло і про тіла, які мають властивість пружності, в'язкості, пластичності), а також властивостей, які приписують силам ударної природи (їх розподіленість або зосередженість в просторі і часі) [112].

Однією з моделей, яка використовується в теорії удару, є модель абсолютно твердого тіла, яка розглядалась ще Ньютоном [112].

Добре відомо, що за допомогою цієї моделі вдалося розв'язати з великим ступенем точності багато важливих задач механіки. Одночасно зазначимо, що існує ряд інших задач, для яких названа модель виявляється хоча і можливою, але лише грубо наближеною, і не забезпечує потрібну точність результатів розв'язку. Нарешті, є задачі, які в принципі не розв'язуються за допомогою уявлення про абсолютно тверде тіло.

Очевидно, що не має строгого змісту і наступне припущення Ньютона, який сформулював більш гнучке додаткове співвідношення. Він прийняв як

постулат, що відносні швидкості тіл або матеріальних точок перед ударом прямо пропорційні відносним швидкостям після удару:

$$V_{A+} - V_{B+} = -R(V_{A-} - V_{B-}). \quad (2.59)$$

Наприклад, для двох куль R називають коефіцієнтом поновлення. На думку Ньютона, він відбиває «власні» фізичні властивості тіл і не залежить від швидкості співудару. Знак «-» перед R вводиться для того, щоб R було більше 0. Тоді разом з рівнянням, яке описує закон збереження імпульсу, можна розрахувати швидкість після удару, використовуючи її значення до удару

$$\begin{aligned} V_{A+} &= \frac{(m_A - Rm_B)V_{A-} + m_B(1+R)V_{B-}}{m_A + m_B}, \\ V_{B+} &= \frac{m_A(1+R)V_{A-} + (m_B - Rm_A)V_{B-}}{m_A + m_B}. \end{aligned} \quad (2.60)$$

Значення R потрібно визначати дослідним шляхом, простіше всього – шляхом спостереження за висотою відскоку тіла h_+ після його падіння з заданої висоти h_- на горизонтальну площину: $|V_{A-}| = \sqrt{2gh_-}$ – швидкість кулі після удару, $V_{B-} = V_{B+} = 0$ (друге тіло – земля – нерухоме). Тоді можна легко отримати:

$$\begin{aligned} R &= \frac{|V_{A+}|}{|V_{A-}|} = \sqrt{\frac{h_+}{h_-}}, \\ R &= \sqrt{\frac{h_+}{h_-}}, \\ h_- &\geq h_+. \end{aligned} \quad (2.61)$$

Концепція Ньютона включає в себе не тільки випадки абсолютно пружного $R = 1$ і абсолютно не пружного удару $R = 0$, а також і проміжні

випадки не пружного удару $0 < R < 1$. В цих виразах проглядається натяк на існування деформацій: пружних або пластичних.

Але, в цілому, найсуттєвішим недоліком згаданої моделі є те, що вона не дає змогу розрахувати деформації тіл при ударі.

В кінці XIX століття Г. Герцом була вирішена задача про контакт сферичного тіла з напівпростором (рис. 2.13) [113, 114].

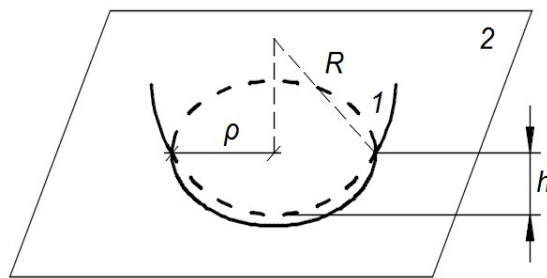


Рисунок 2.13 – Контакт сферичного індентора з пружним напівпростором

У відповідності з теорією Герца, залежність між зближенням тіл α_0 та контактним навантаженням P описується функцією [5]:

$$P = k\alpha_0^{\frac{3}{2}}, \quad (2.62)$$

де k – стала, яка залежить від матеріалів контактуючих тіл і початкової кривизни їх поверхонь в точці контакту.

Нелінійність цієї залежності пояснюється тим, що в процесі стискання площа контактної області не залишається сталою (в подібних випадках говорять про конструктивну нелінійність системи). Пропонувались розв'язки цієї задачі, які засновані на припущенні більш щільного стискання тіл в контактній зоні. При цьому зв'язок $P = P(\alpha)$ виявився більш близьким до лінійного ніж зазначеного вище.

Теорію Герца неважко модифікувати, приймаючи інші залежності між P та α . Так в роботі [115] отримано розв'язок задачі для довільного степеня n :

$$P = ka^n. \quad (2.63)$$

Вирішення задачі Герца лягло в основу механіки контактної взаємодії твердих тіл [116].

В літературі відомі рішення багатьох контактних задач. В роботах [117-119] розглядалась взаємодія частинок з перпоною, при якій визначалась глибина лунки, що залишалась на поверхні металевої мішені після удару сферичного ударника, в ролі якого виступали тверді частинки.

В роботі [120] розглядалась динамічна модель вдавлювання жорсткої гладкої сфери в однорідне пружно-пластичне тверде тіло. На основі даної моделі авторами були запропоновані чисельно-аналітичні залежності, що описують поведінку твердого тіла в пружно-пластичній області контактної взаємодії. Дані залежності дозволяють врахувати додаткове зближення контактуючих тіл за рахунок динамічного навантаження.

В роботі [121] авторами вирішувалась задача про вдавлювання інерційної недеформованої сфери під кутом до металевого напівпростору. Результати зводились до визначення коефіцієнтів відновлення швидкості.

При визначенні деформації асфальтобетонного покриття під дією динамічного навантаження можна припустити, що асфальтобетон являє собою матеріал, модель якого відповідає моделі стандартного в'язко-пружного тіла, наділеного властивістю запізнюючої післядії. Ця модель складається з двох пружин з жорсткостями E_0 і E_∞ (рис. 2.14), а також з демпфера в'язкістю μ_A [116].

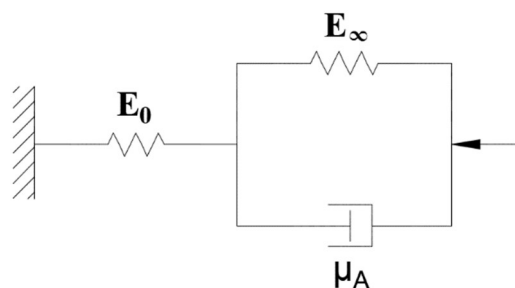


Рисунок 2.14 – Модель асфальтобетону як стандартного в'язко-пружного тіла

В роботі [116] для контакту жорсткого сферичного індентора з в'язко-пружним матеріалом, представленим моделлю стандартного в'язко-пружного тіла, наведена залежність радіуса контакту a від часу t , яку в нашому випадку можна записати у вигляді:

$$a^3(t) = \frac{3}{8} R N_{cp} \left[\frac{1}{E_0} + \frac{1}{E_\infty} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right) \right], \quad (2.64)$$

де R – радіус індентора, м;

N_{cp} – середнє навантаження на індентор, Н;

E_0 і E_∞ – жорсткість пружин моделі в'язко-пружного тіла, Па;

T – час релаксації матеріалу, с,

$$T = \frac{\mu_A}{E_0 + E_\infty}, \quad (2.65)$$

де μ_A – в'язкість демпфера моделі, Па·с.

У відповідності з рис. 2.15, знайдемо залежність між середнім заглибленням h_{cp} індентора і радіусом a плями контакту.

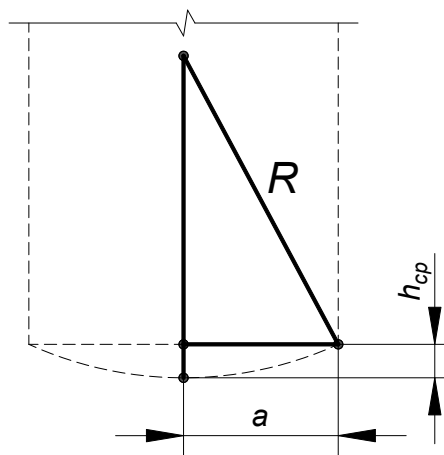


Рисунок 2.15 – До визначення залежності між середнім заглибленням індентора і радіусом плями контакту

Дана залежність буде мати вигляд:

$$R^2 = (R - h_{cp})^2 + a^2, \quad (2.66)$$

звідки

$$a^2 = 2Rh_{cp} - h_{cp}^2. \quad (2.67)$$

Зважаючи на те, що величина h_{cp}^2 є досить малою, нею можна знехтувати. Тоді отримаємо кінцевий вираз для визначення a :

$$a = \sqrt{2h_{cp}R}. \quad (2.68)$$

З врахуванням формули (2.68), із (2.64) матимемо:

$$h_{cp} = \frac{1}{2}M \left[\frac{1}{E_0} + \frac{1}{E_\infty} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right) \right]^{\frac{2}{3}}, \quad (2.69)$$

де

$$M = \left(\frac{3}{8} R^{-0,5} N_{cp} \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (2.70)$$

Практичне використання виразу (2.69) можливе за наявності параметрів E_0 , E_∞ та μ_A . Для наближеної оцінки величини середнього заглиблення індентора як функції часу скористаємося даними робіт Лушнікова П.О. [122] та Мозгового В.В. [123], у відповідності з якими $\mu_A = 29\,000$ Па·с, $E_0 = 32\,000$ МПа, $E_\infty = 25$ МПа.

Вихідні дані для розрахунку величини середнього заглиблення індентора наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку величини середнього заглиблення індентора

R , м	N_{cp} , Н	E_0 , МПа	E_∞ , МПа	μ_A , Па·с
0,312	147150	32000	25	29000

Результати розрахунку за формулою (2.69) наведені на рис. 2.16.

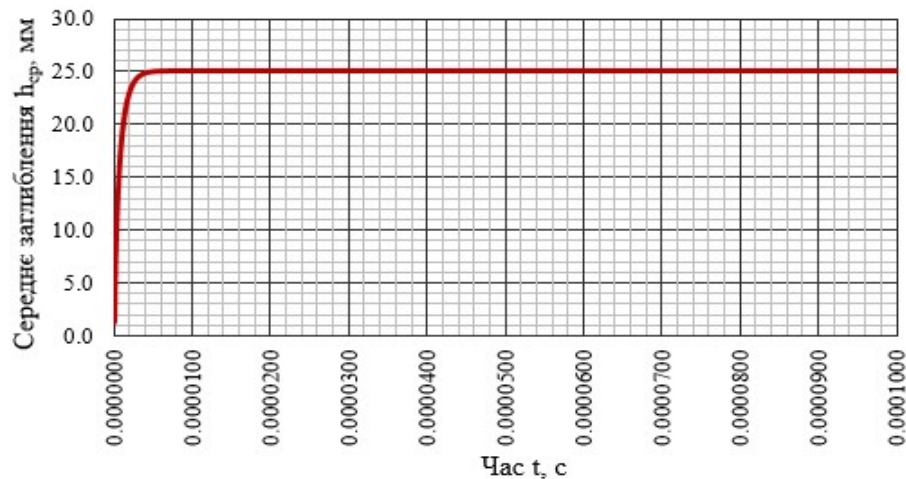


Рисунок 2.16 – Графік залежності середнього заглиблення індентора від часу

Слід відзначити, що досягнення максимального заглиблення відбувається за досить короткий проміжок часу, який становить близько $0,00001$ с.

При зростанні значень t , величина h_{cp} визначається в основному величиною E_∞ . Тому для наближеного аналізу можна використовувати формули Герца.

В роботах [117, 124, 125] в якості характеристики матеріалу напівпростору використовувалась динамічна твердість H_1 та щільність ρ_1 . З другою характеристикою проблем немає, в той же час для асфальтобетонних шарів відсутня будь-яка інформація про їх динамічну твердість. Введення нового показника пов'язане зі значною трудомісткістю експериментальних досліджень. Тому будемо використовувати відому характеристику – модуль

пружності, про залежність якого від температури є достатньо інформації і в існуючій літературі [42].

Ця ж характеристика входить до формул Герца [113], які ми використаємо як перше наближення до теоретичного обґрунтування параметрів випробувального обладнання для створення ударного навантаження.

Згідно з теорією Герца радіус кругової площадки контакту визначається за формулою [113]:

$$\rho = 0,909 \sqrt[3]{\theta_{\Sigma} R N}, \quad (2.71)$$

$$\theta_{\Sigma} = \theta_1 + \theta_2 = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}, \quad (2.72)$$

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.

Вираз для максимального тиску в зоні контакту має вигляд [113]:

$$p_{\max} = 0,578 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{\theta_{\Sigma}^2 R^2}}. \quad (2.73)$$

Заглиблення h індентора в пружний напівпростір визначається за формулою [113]:

$$h = 0,825 \cdot \sqrt[3]{\frac{\theta_{\Sigma}^2 \cdot N^2}{R}}. \quad (2.74)$$

Модуль пружності індентора $E_1 \rightarrow \infty$, тому вираз (2.72) матиме вигляд:

$$\theta_{\Sigma} = \theta_2. \quad (2.75)$$

Скориставшись формулою (2.74) та виконавши необхідні розрахунки, отримали графіки залежностей заглиблення індентора від навантаження на штамп для щільних (рис. 2.17) та пористих і високопористих (рис. 2.18) асфальтобетонів на бітумах різних марок.

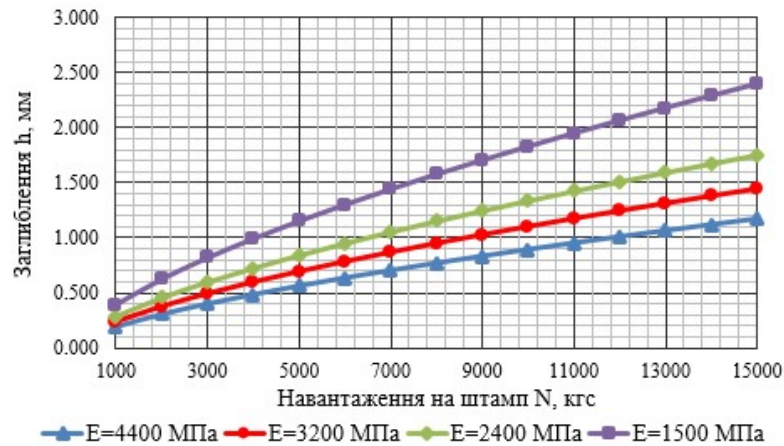


Рисунок 2.17 – Графік залежності заглиблення індентора від навантаження на штамп (для щільного асфальтобетону)

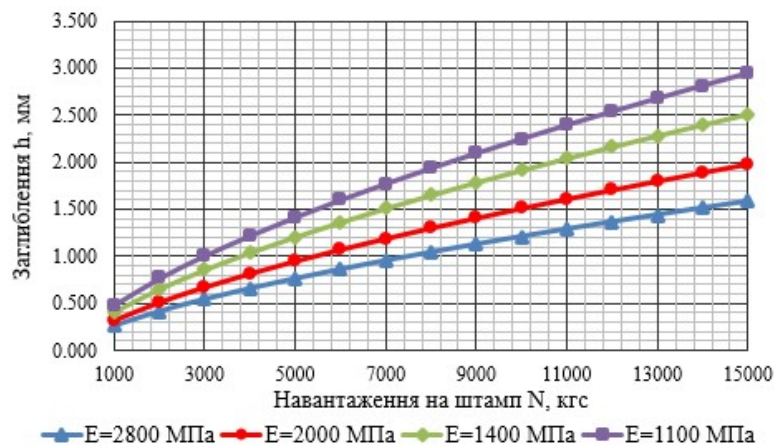


Рисунок 2.18 – Графік залежності заглиблення індентора від навантаження на штамп (для пористого і високопористого асфальтобетону)

При цьому, для розрахунків були використані максимальні розрахункові значення короточасних модулів пружності, взяті з табл. Е.2 Додатку Е [42], оскільки необхідно, щоб заглиблення індентора відбувалось навіть при малих температурах покриття. Навантаження на штамп змінювали в діапазоні від 1 000 кгс до 15 000 кгс.

Отримані графіки свідчать про те, що зі збільшенням навантаження на штамп величина заглиблення індентора також збільшується. При цьому, щоб виміряти дану величину з необхідною точністю, вона повинна знаходитись в межах декількох міліметрів. Звідси випливає, що при проведенні випробувань дорожніх конструкцій на стійкість до колієутворення величина тестового навантаження, прикладеного на штамп, повинна становити від 11 000 кгс до 15 000 кгс. Підставивши максимальне значення тестового навантаження на штамп в формулу (2.74), аналогічно отримаємо графіки залежностей заглиблення індентора від температури покриття для щільних (рис. 2.19) та пористих і високопористих (рис. 2.20) асфальтобетонів.

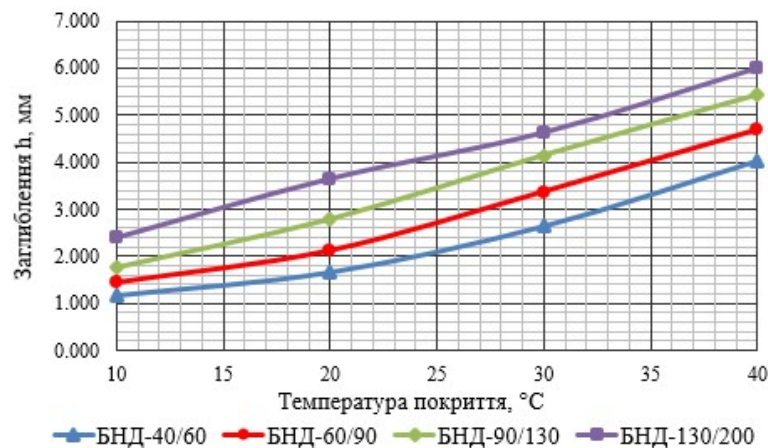


Рисунок 2.19 – Графік залежності заглиблення індентора від температури покриття (для щільного асфальтобетону)

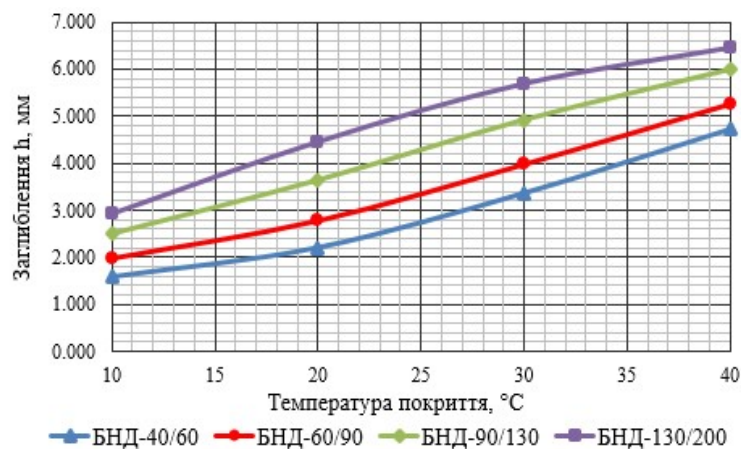


Рисунок 2.20 – Графік залежності заглиблення індентора від температури покриття (для пористого і високопористого асфальтобетону)

З отриманих графіків слідує, що величина заглиблення індентора залежить не тільки від навантаження на штамп, а й від температури поверхні покриття. Тому, при виборі вимірювального обладнання для реєстрації величини заглиблення індентора необхідно звернути увагу на те, що діапазон вимірювань даного обладнання повинен знаходитись в межах від 1,0 мм до 15,0 мм.

Важливим параметром випробувального обладнання, що також потребує обґрунтування, є радіус індентора. Скориставшись формулою (2.74) та змінюючи значення радіуса індентора в діапазоні від 10 мм до 350 мм, отримаємо графіки залежностей заглиблення індентора від радіуса для щільних (рис. 2.21) та пористих і високопористих (рис. 2.22) асфальтобетонів.

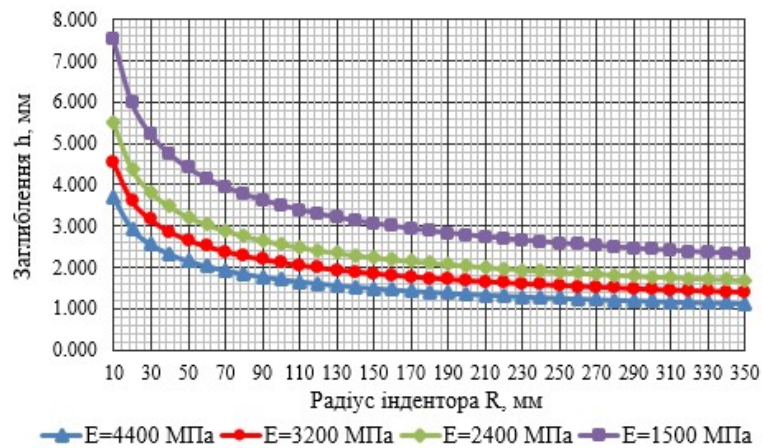


Рисунок 2.21 – Графік залежності заглиблення індентора від радіуса (для щільного асфальтобетону)

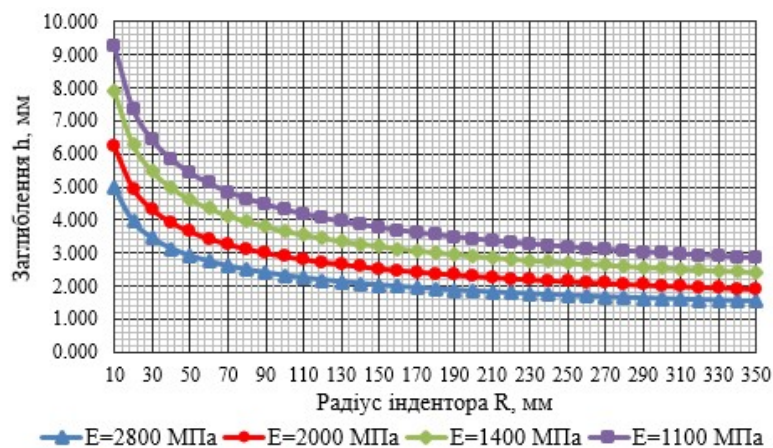


Рисунок 2.22 – Графік залежності заглиблення індентора від радіуса (для пористого і високопористого асфальтобетону)

З отриманих графіків слідує, що у випадку, коли радіус індентора знаходиться в межах від 10 мм до 170 мм, величина заглиблення може досить сильно змінюватись.

В той же час, як показали експериментальні дослідження, при використанні інденторів малих радіусів результати випробувань можуть виявитись хибними (рис. 2.23).



Рисунок 2.23 – Лунки, що утворились на покритті, після серії ударних навантажень індентором $R = 55$ мм

Це пояснюється тим, що в місці контакту індентора з асфальтобетонним покриттям замість накопичення залишкових пластичних деформацій відбувається руйнування окремих щебінок.

Тому при оцінюванні стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії доцільно використовувати індентори радіусом від 170 мм до 350 мм.

Отримані параметри будемо використовувати при виборі випробувального обладнання для проведення експериментальних досліджень в польових умовах [126].

2.4 Висновки по розділу

1. Розроблено математичну модель переміщень точок штампа при статичних випробуваннях, шляхом використання якої можна визначити

осідання в центрі штампа, необхідне для розрахунку модуля пружності чи модуля деформації, у випадку, коли штамп в момент перекосу буде обертатися як навколо осі Oy , так і навколо осі Ox , а кути повороту α та β будуть значними.

2. На основі аналізу результатів математичного моделювання доведено, що у випадку, коли штамп буде обертатись лише навколо осі Ox чи Oy , або коли кути α та β будуть незначними, осідання штампа з достатньою для інженерної практики точністю можна виміряти одним датчиком переміщення, встановленим в центрі штампа.

3. Удосконалено математичну модель динамічного навантаження дорожньої конструкції та розроблено метод визначення фактичного модуля пружності за тривалістю удару, який дає змогу відмовитись від застосування реперних балок, а також складних операцій реєстрації сигналу від обладнання, подвійного інтегрування, отримання середнього значення осідання та розрахунку динамічного модуля пружності на основі цього осідання.

4. На основі аналізу основних положень механіки контактної взаємодії тіл, встановлено доцільність застосування формул Герца в якості першого наближення до теоретичного обґрунтування параметрів випробувального обладнання для оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії.

5. Теоретично обґрунтовано, 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.

Наведені висновки необхідно перевірити експериментальним шляхом.

Основні результати досліджень другого розділу висвітлено в роботах автора: [100-102, 104, 126, 127, 145].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

3.1 Завдання експериментальних досліджень

Виходячи з задач, поставлених в підрозділі 1.5, визначили основну схему проведення експериментальних досліджень (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Схема проведення експериментальних досліджень

Для перевірки теоретичних результатів, отриманих в розділі 2, необхідно провести ряд експериментальних досліджень в реальних умовах на існуючих ділянках автомобільних доріг України.

При виборі дослідних ділянок для проведення досліджень щодо оцінювання деформаційних характеристик дорожніх конструкцій враховували наступні чинники:

- категорію автомобільної дороги;
- інтенсивність руху;
- частку вантажних автомобілів в транспортному потоці;
- різноманітність конструкцій дорожніх одягів;
- можливість рухатись по кільцю під час вимірювань;
- мінімальну відстань між ділянками.

В той же час, основними чинниками, якими керувались при виборі дослідних ділянок для проведення експериментальних досліджень щодо оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії, були:

- наявність або відсутність залишкових пластичних деформацій у вигляді колії;
- наявність інших дефектів чи руйнувань;
- жорсткість основ дорожніх конструкцій;
- наявність конструктивних шарів, влаштованих з використанням сучасних дорожньо-будівельних матеріалів, в тому числі із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей.

Орієнтовне розміщення дослідних ділянок показано на рис. А.1 – А.2, наведених в Додатку А, конкретне місцезнаходження описано в Додатку Б. Характеристики конструкцій дорожніх одягів на дослідних ділянках наведені в Додатку В.

Результати теоретичних досліджень, отримані в підрозділі 2.1 з використанням математичної моделі переміщень точок штампа при статичних випробуваннях, необхідно перевірити експериментальним шляхом.

Для цього потрібно розробити спеціальний стенд та провести в лабораторних умовах ряд випробувань. Це дозволить оцінити величини кутів, на які в дійсності може обертатися штамп під час перекосу, і дасть можливість остаточно вирішити питання щодо необхідної та достатньої кількості датчиків переміщення для проведення вимірювань.

На основі отриманих результатів експериментальних досліджень також необхідно визначити параметри конструкції штампа для вимірювальної станції та основні положення методики проведення випробувань з його використанням.

Після цього необхідно розробити та виготовити дослідний зразок вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів, а також побудувати алгоритм роботи автоматизованої системи керування вимірювальними процесами станції та розробити спеціальне програмне забезпечення.

Наступним етапом експериментальних досліджень є лабораторні випробування станції. Спочатку необхідно визначити значення вимірювального зусилля, абсолютної похибки, діапазону вимірювань вузла переміщень станції та виконати перевірку їх відповідності нормативним вимогам. Далі, на спеціально розробленому стенді, необхідно виконати ряд випробувань з метою перевірки точності визначення зусилля, що створюється станцією, та перевірки точності визначення переміщень, що реєструються вимірювальною системою станції.

Щоб остаточно впевнитись в працездатності вимірювальної станції, слід провести польові випробування на обраних дослідних ділянках. Під час проведення випробувань необхідно визначити пружні прогини поверхні дорожніх покриттів за допомогою станції та порівняти отримані дані з результатами визначення прогинів за допомогою прогиноміра традиційної конструкції. Крім цього, дані випробування дозволять в реальних умовах оцінити ефективність та доцільність застосування нового типу випробувального обладнання.

Запропонований в підрозділі 2.2 новий метод визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій за величиною тривалості удару також потребує апробації в польових умовах.

З метою перевірки достовірності формули (2.51) потрібно з достатньою точністю виміряти на обраних дослідних ділянках величини тривалості ударів та прогинів покриття під дією динамічного навантаження, створюваного мобільним комплексом для діагностики експлуатаційного стану дорожніх покриттів «МК-ДЕС-НТУ».

Прогини покриття можна визначити шляхом інтегрування сигналів з датчика прискорення, встановленого в штампі мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ».

Для оцінки величини похибки, що виникає при інтегруванні сигналів з акселерометра, слід додатково провести окремі дослідження щодо порівняння осідань штампа та покриття при одночасній дії на них динамічного навантаження. Такі дослідження потребують розробки спеціального комплексу електронного обладнання, яке включатиме в себе два однотипні датчики прискорення, один з яких буде закріплюватися в верхньому шарі асфальтобетонного покриття, а інший – розміщуватись в штампі мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ».

Величини тривалості ударів можна виміряти за допомогою тензодатчика ваги торсійного типу RTN C3, діапазон вимірювань якого складає від 2 кгс до 10 000 кгс, а клас точності – С3 (0,02 % від діапазону). Для цього необхідно удосконалити конструкцію мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ» шляхом розміщення всередині її штампа вищезгаданого тензодатчика.

Значення модулів пружності, розраховані за формулою (2.51) на основі середніх значень величин тривалості ударів не повинні відрізнятись від значень модулів пружності, розрахованих за формулою (2.22) на основі середніх значень прогинів покриття, більше ніж на 10 %.

Враховуючи параметри, теоретично обґрунтовані в підрозділі 2.3, потрібно підібрати випробувальне обладнання для створення навантаження на

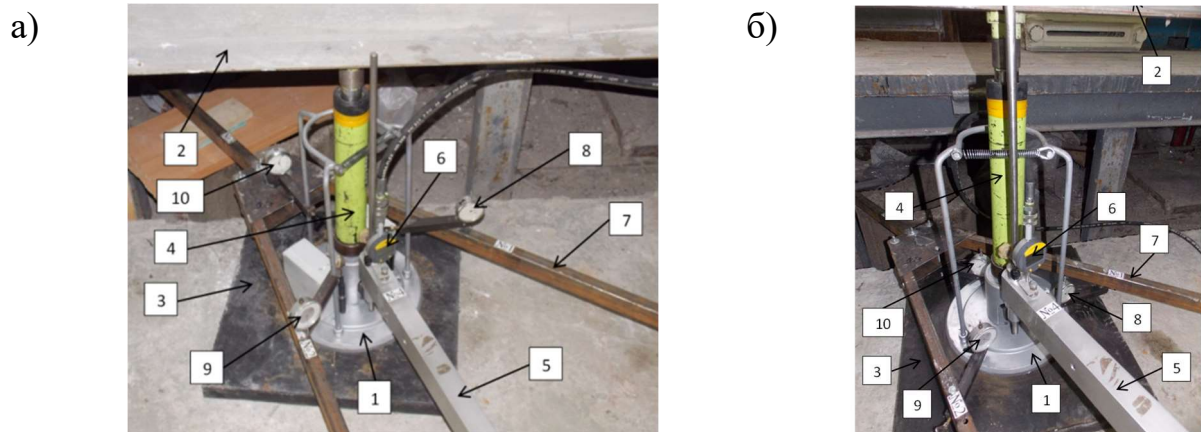
поверхню дорожнього покриття та реєстрації величини заглиблення індентора. Шляхом проведення випробувань на стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії також слід перевірити доцільність вибору саме сферичного штампа, у порівнянні з плоским.

З використанням обраного обладнання на дослідних ділянках необхідно провести ряд експериментальних досліджень щодо оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії в натурних умовах.

3.2 Дослідження переміщень точок штампа при статичних випробуваннях

Метою досліджень було порівняння результатів вимірювання осідання штампа за методиками Австрії [34, 38-41] та Німеччини [34, 37].

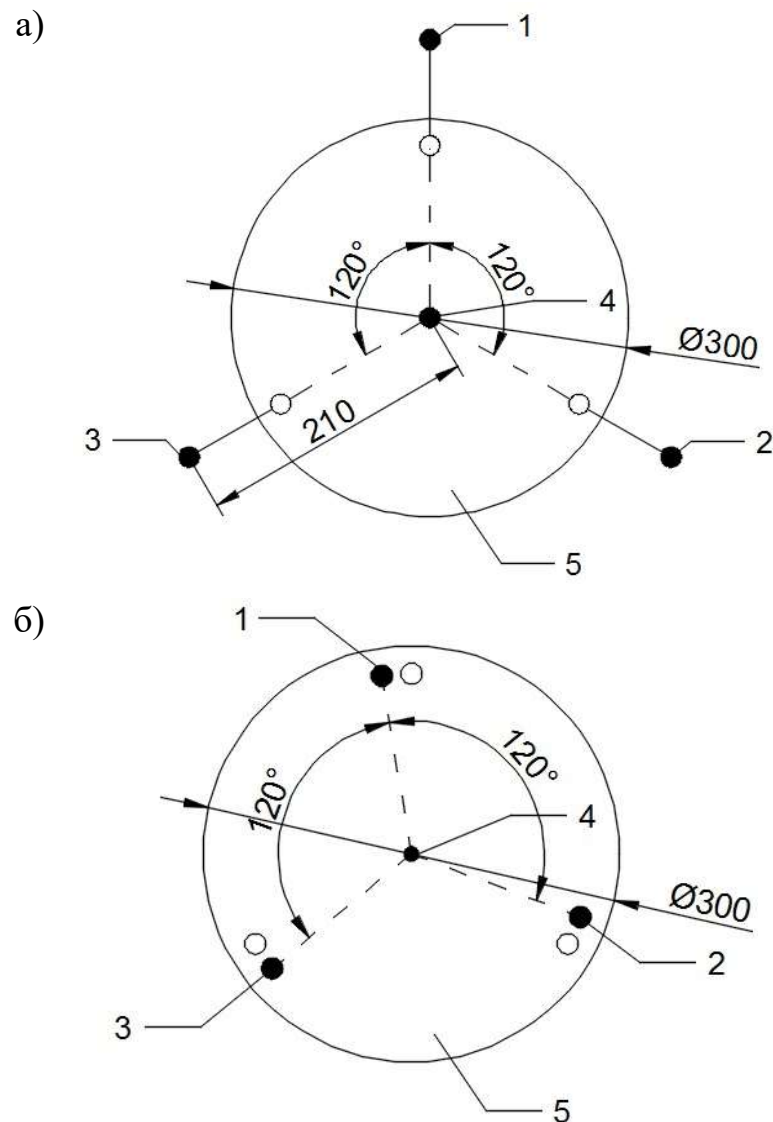
Дослідження проводились в лабораторних умовах на спеціально розробленому стенді (рис. 3.2, а, б) [127].



1 – штамп; 2 – металева балка протитваги; 3 – гумова пластина; 4 – гідроциліндр; 5 – прогиномір; 6 – еталонний індикатор переміщень «TESA»; 7 – реперна балка; 8, 9, 10 – механічні індикатори переміщень №1, №2, №3 відповідно

Рисунок 3.2 – Дослідження використання схеми трьохточкового вимірювання осідання штампа в порівнянні з одноточковим: а) при розміщенні трьох індикаторів переміщення із спиранням на реперну балку; б) при розміщенні трьох індикаторів переміщення із спиранням на штамп

При цьому штоки індикаторів спирали як на реперну балку, так і на штамп (рис. 3.3, а, б).



1 – механічний індикатор переміщень №1; 2 – механічний індикатор переміщень №2; 3 – механічний індикатор переміщень №3; 4 – еталонний індикатор переміщень «TESA»; 5 – штамп

Рисунок 3.3 – Схема розміщення індикаторів: а) із спиранням на реперну балку; б) із спиранням на штамп

Для проведення випробувань за схемою, наведеною на рис. 3.3, а, з метою імітації переміщення штампа 1 (рис. 3.2, а) у визначене місце під металеву балку противаги 2 розмістили гумову пластину 3 товщиною 30 мм,

розміром 50×50 см. Встановили штамп на вищезгадану гумову пластину. На штамп встановили гідроциліндр 4. Навантаження створювали за допомогою ручного насоса і контролювали за допомогою манометра, який був одночасно індикатором зусилля навантаження приладу. На центр штамп встановили прогиномір 5 з еталонним індикатором переміщень «TESA» 6. Поряд встановили реперну балку 7 з опорами, рознесеними на відстань 1 500 мм кожна від центру вимірювань. На штамп встановили механічні індикатори №1, №2, №3 під кутом 120° (рис. 3.2, а, рис. 3.3, а).

Кожен з трьох індикаторів опирався на реперну балку в точках, що утворювали правильний трикутник. Для усунення впливу шорсткості поверхонь в зону контакту механічного індикатора переміщень з реперною балкою були встановлені скляні поверхні. Перед початком випробувань виконали привантаження силою 1 кН. Послідуючі навантаження здійснювались з інтервалом 0,5 тс.

Згідно отриманих результатів, побудували графік залежності показань індикаторів від навантаження (рис. 3.4).

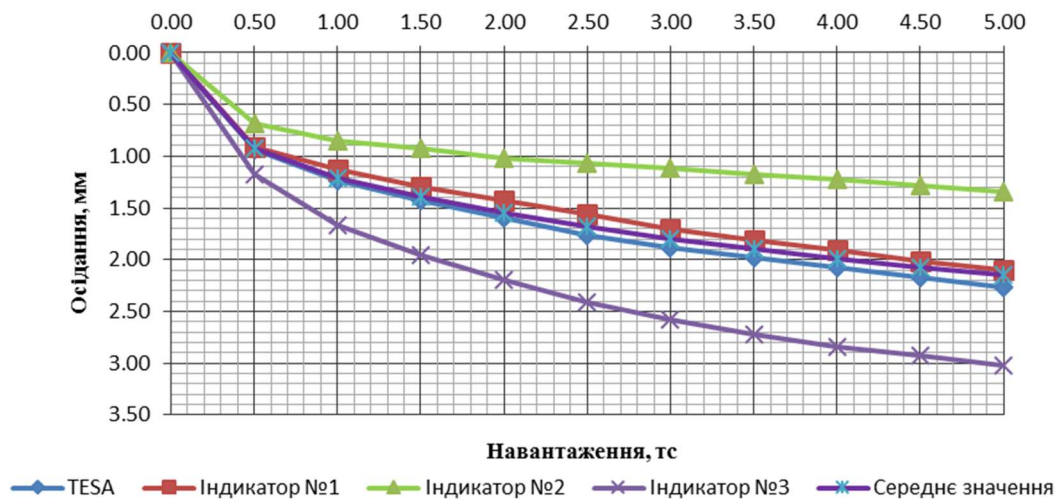


Рисунок 3.4 – Графік залежності показань індикаторів від навантаження

Випробування за схемою, наведеною на рис. 3.3, б, виконувалися аналогічно.

Результати наведені у вигляді графіка залежності показань індикаторів від навантаження (рис. 3.5).

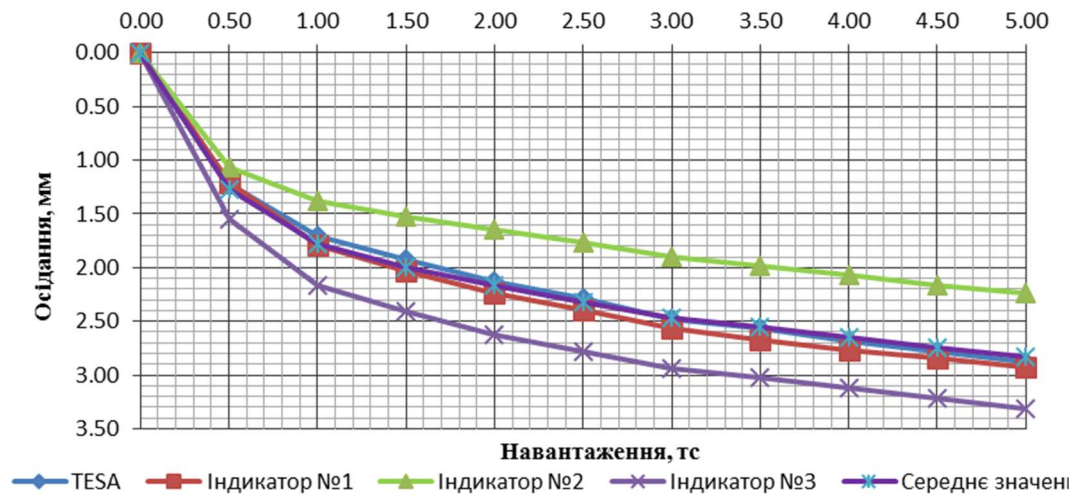


Рисунок 3.5 – Графік залежності показань індикаторів від навантаження

Як бачимо, в обох випадках середнє значення осідання штампу, взяте по трьох індикаторах, має відхилення не більше 5 % від показань індикатора, встановленого на центр штампа.

Оскільки результати вимірювання осідання штампу за австрійською та німецькою методиками відрізняються не суттєво, на практиці доцільно застосовувати німецьку методику.

3.3 Дослідження характеристик взаємодії штампа з покриттям при динамічних випробуваннях

3.3.1 Дослідження деформацій дорожніх конструкцій при взаємодії зі штампом установки динамічного навантаження

В деяких установках динамічного навантаження, описаних в підрозділі 1.3, вимірювання осідання покриття замінюється вимірюванням осідання штампа. При цьому осідання штампа визначається шляхом подвійного інтегрування сигналу з датчика прискорення, встановленого

всередині штампа. В інших, осідання вимірюється датчиком, вимірювальний щуп якого притискається пружинами безпосередньо до покриття.

В першому випадку виникають похибки, пов'язані з відсутністю жорсткого зв'язку штампа з покриттям, безпосередньо в момент удару. В другому випадку виникають похибки, обумовлені інерційністю робочого тіла датчика та жорсткістю притискних механізмів.

На дослідних ділянках «В1», «В2», «В3» (Додаток А, Б) були проведені експериментальні дослідження щодо порівняння осідань штампа та покриття, при одночасній дії на них динамічного навантаження [128]. При цьому один з датчиків прискорення закріплювався в верхньому шарі асфальтобетонного покриття за допомогою гіпсового в'язучого (рис. 3.6),



Рисунок 3.6 – Закріплення датчика прискорення в верхньому шарі асфальтобетонного покриття

інший – знаходився всередині штампа мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ».

Максимальне навантаження величиною 57,5 кН [111] досягалось шляхом скидання вантажу масою 340 кг на штамп діаметром 330 мм через демпфуючий пристрій.

Датчики прискорення за допомогою інтерфейсів підключались до цифрового осцилографа, який в свою чергу приєднувався до персонального комп'ютера з програмним забезпеченням обробки вимірів (рис. 3.7).

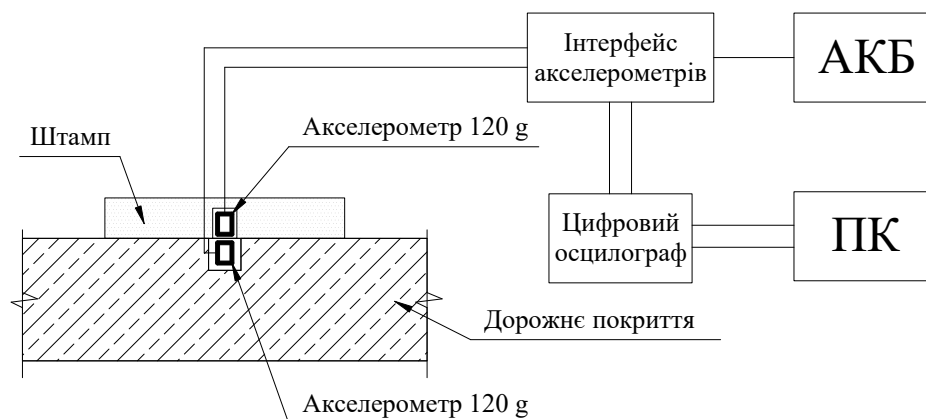


Рисунок 3.7 – Структурна схема електронного обладнання для вимірювання осідань штампа та покриття

Сигнали з датчиків підлягали подвійному інтегруванню, в результаті чого отримували переміщення штампа та покриття.

Для проведення досліджень було обрано три вимірювальні точки на дослідних ділянках «В1», «В2», «В3» з різними конструкціями нежорстких дорожніх одягів.

Перша точка вимірювань (ділянка «В1») знаходилась безпосередньо на поперечній тріщині асфальтобетонного покриття. Друга та третя точки – на ділянках «В2», «В3» з більш жорсткою та слабкою основами, відповідно. В кожній точці була виконана серія випробувань, що складалася з трьох ударів. Отримані результати наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання переміщень штампа та покриття на дослідних ділянках

№ удару	Переміщення, мм					
	Точка №1 (Тріщина)		Точка №2		Точка №3	
	Покриття	Штамп	Покриття	Штамп	Покриття	Штамп
1	1,51	0,93	1,07	0,99	1,50	1,55
2	1,94	1,11	1,03	1,03	1,46	1,47
3	1,43	1,02	0,97	0,81	1,02	0,99

Як бачимо, отримані значення переміщень штампа в точці, яка знаходилась на тріщині, значно відрізняються від переміщень покриття.

Це пояснюється нерівномірним осіданням частин дорожньої конструкції, внаслідок її розлому по всій довжині тріщини.

В той же час, між значеннями переміщень штампа та покриття в двох інших точках існує стійкий кореляційний зв'язок (рис. 3.8).

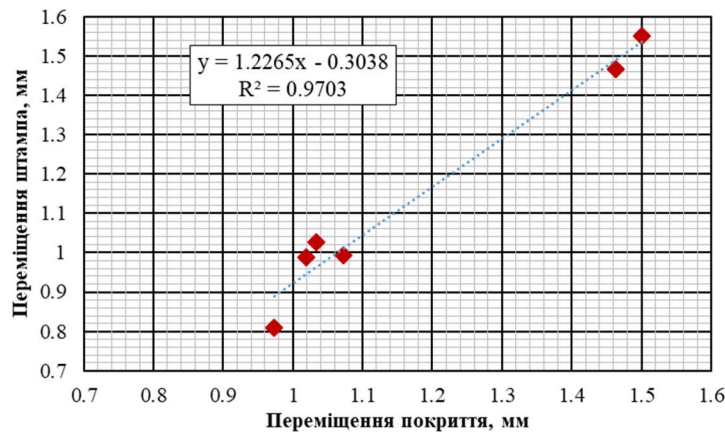


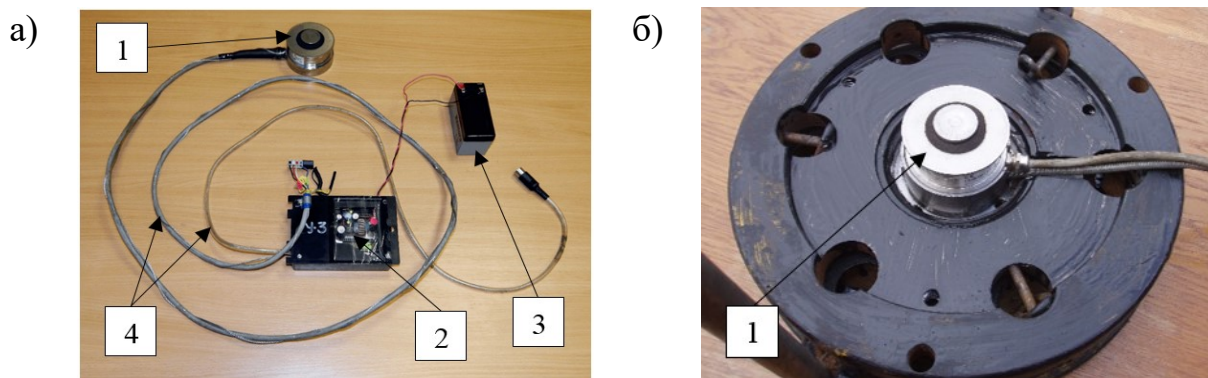
Рисунок 3.8 – Залежність між переміщеннями штампа та покриття, виміряними в точках № 2 та № 3

Отже, в цілому можемо стверджувати, що переміщення штампа та покриття, при одночасній дії на них динамічного навантаження, майже співпадають. При цьому величини похибок, що виникають при інтегруванні сигналів з датчиків прискорення є незначними.

3.3.2 Перевірка удосконаленого динамічного методу визначення модуля пружності в польових умовах

На дослідних ділянках НТУ, розміщених на автомобільній дорозі державного значення М-06 «Київ – Чоп», було проведено ряд експериментальних досліджень з метою апробації нового методу визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій за величиною тривалості удару, описаного в підрозділі 2.2. Випробування проводились при температурі повітря до 5 °С [101].

Для визначення величини тривалості удару з достатньою точністю було запропоновано використовувати сигнал, який надходив з тензодатчика ваги торсійного типу RTN С3, розміщеного всередині штампа мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ» (рис. 3.9).



1 – тензодатчик ваги торсійного типу RTN С3; 2 – інструментальний підсилювач; 3 – акумуляторна батарея; 4 – з’єднувальні кабелі

Рисунок 3.9 – Тензодатчик ваги торсійного типу RTN С3: а) комплект додаткового обладнання; б) розміщення датчика в штампі мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ»

В кожній з обраних точок вимірювань за допомогою мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ» (рис. 3.10) визначали модуль пружності за формулою (2.22) та формулою (2.51).



Рисунок 3.10 – Експериментальні дослідження з використанням мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ»

Прогин покриття визначали шляхом інтегрування сигналу з датчика прискорення, встановленого в штампі мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ», та спеціалізованого програмного забезпечення.

На основі середніх значень прогинів, отриманих за трьома ударами, розраховували фактичні модулі пружності дорожніх конструкцій за формулою (2.22). Отримані результати наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати визначення модулів пружності дорожніх конструкцій на дослідних ділянках за формулою (2.22)

Пікетажне положення,		Напрямок руху	$S, \text{ м}^2$	$F, \text{ Н}$	$P, \text{ МПа}$	μ	$D, \text{ мм}$	$l_{сер}, \text{ мм}$	$E, \text{ МПа}$
км	+								
102	000	Зворотній	0,0855	82404,0	0,9635	0,33	330	0,542	523
Під'їзд до м. Житомир (Західний)		Зворотній	0,0855	86328,0	1,0093	0,33	330	0,700	424
5	000								
На тріщині а/б покриття		Прямий	0,0855	87309,0	1,0208	0,33	330	1,110	270
167	000								

Величини тривалості ударів визначали по графіках залежності зусилля від часу, приклади запису яких наведені на рис. 3.11, 3.12.

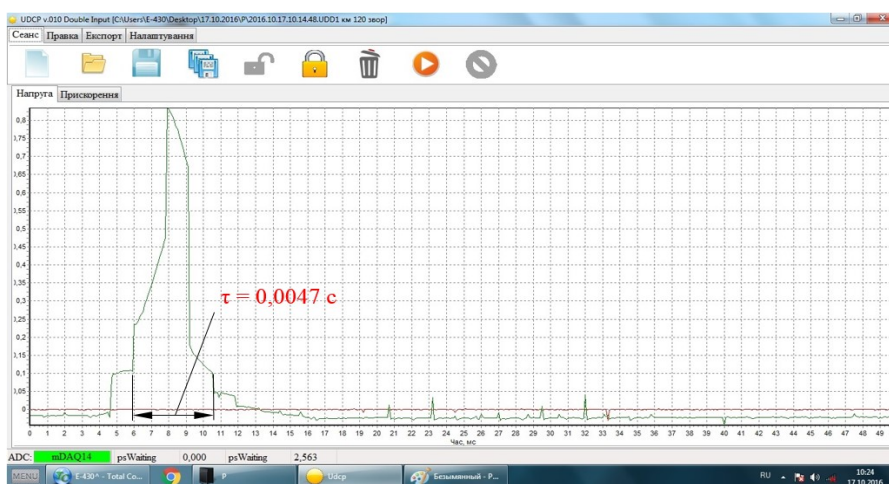


Рисунок 3.11 – Приклад визначення тривалості удару на дослідній ділянці, розміщеній на км 102+000 автомобільної дороги М-06

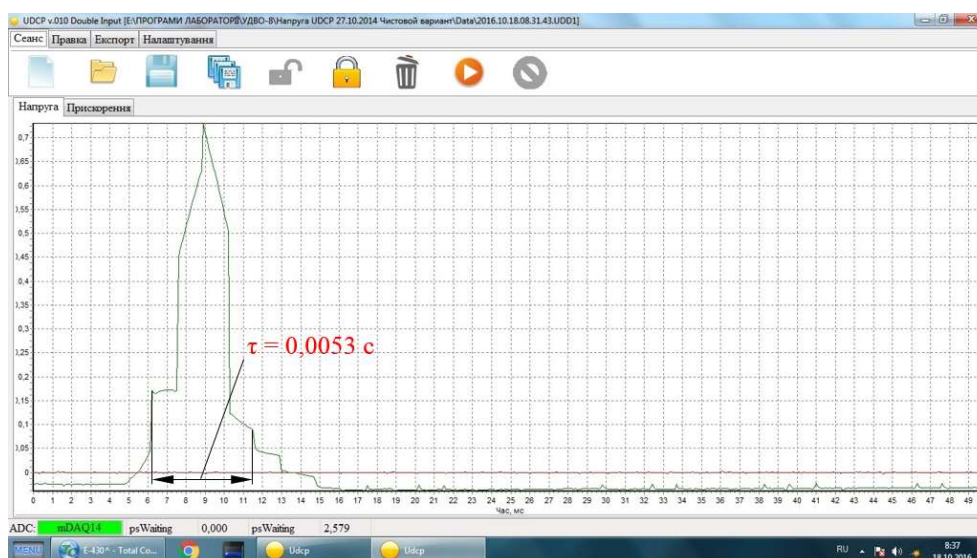


Рисунок 3.12 – Приклад визначення тривалості удару на дослідній ділянці, розміщеній на км 5+000 під'їзду до м. Житомир

На основі середніх значень величин тривалості ударів розраховували фактичні модулі пружності дорожніх конструкцій за формулою (2.51). Отримані результати наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати визначення модулів пружності дорожніх конструкцій на дослідних ділянках за формулою (2.51)

Пікетажне положення,		Напрямок руху	m , кг	μ	D , мм	τ , с	E , МПа
км	+						
102	000	Зворотній	340,0	0,33	330	0,0047	522
Під'їзд до м. Житомир (Західний)		Зворотній	340,0	0,33	330	0,0053	411
5	000						
На тріщині а/б покриття		Прямий	340,0	0,33	330	0,0063	291
167	000						

Результати зіставлення фактичних модулів пружності дорожніх конструкцій, визначених за формулами (2.22) та (2.51), наведені на рис. 3.13.

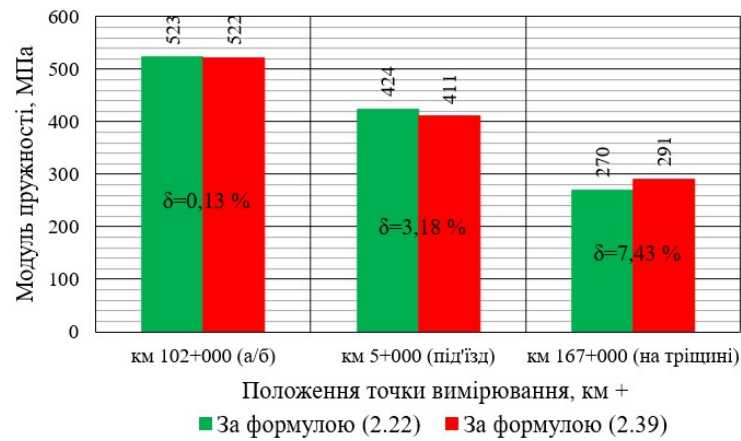


Рисунок 3.13 – Результати зіставлення фактичних модулів пружності дорожніх конструкцій, визначених за формулами (2.22) та (2.51)

Як бачимо, отримані значення фактичних модулів пружності дорожніх конструкцій, визначених за величиною тривалості удару, відрізняються від значень модулів пружності, визначених за величиною прогину покриття не суттєво. Зокрема, із дослідів випливає, що відносна похибка визначення модулів пружності дорожніх конструкцій запропонованим методом не перевищує 7 %.

Слід відзначити, що наведені результати відносяться до низької температури повітря та демпферних вузлів установки. При підвищенні температури жорсткість демпферних вузлів і дорожньої конструкції зменшується і тривалість удару значно збільшується (рис. 3.14).

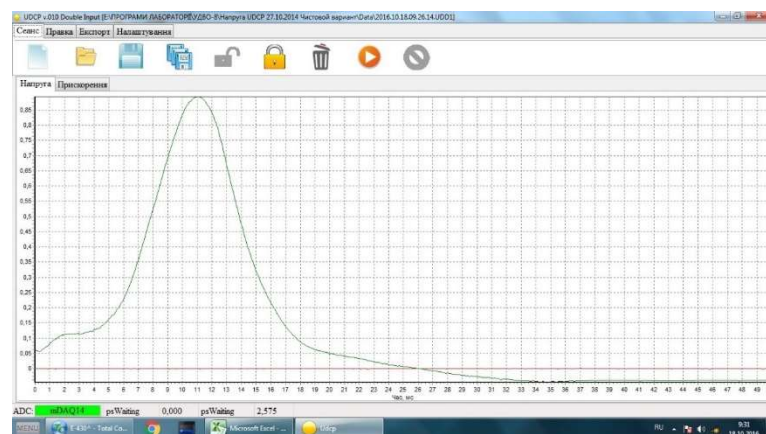


Рисунок 3.14 – Приклад визначення тривалості удару на дослідній ділянці, розміщеній на км 153+000 автомобільної дороги М-06

В цьому випадку слід враховувати в'язкі властивості дорожньої конструкції та демпферних вузлів, а формула (2.51) отримана в припущенні про те, що вони є абсолютно пружними тілами. З тим запропонований метод можна використовувати при низьких температурах повітря, що не перевищують 5 °С.

Також можна припустити, що даний метод доцільно застосовувати при випробуваннях цементобетонних покриттів, жорсткість яких не настільки сильно залежить від температури, на відміну від асфальтобетонних.

3.4 Дослідження прогинів дорожніх конструкцій з використанням вимірювальної станції

3.4.1 Вимірювальна станція для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів

Для вирішення задачі, поставленої в підрозділі 1.2, було розроблено вимірювальну станцію для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів [27-29].

Станція – це складний вимірювальний засіб, 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.

До складу станції входять:

- насосна станція;
- пульт керування насосною станцією;
- штамп з гідроциліндром і датчиком тиску;
- важільно-утримуючий механізм;
- блок керування важільно-утримуючим механізмом;
- прогиномір;
- вимірювальний блок.

Загальний вигляд вимірювальної станції, змонтованої на базовому автомобілі «ГАЗель» наведено на рис. 3.15.



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 3.15 – Загальний вигляд вимірювальної станції, змонтованої на базовому автомобілі «ГАЗель»

Вимірювальна станція також здійснює:

- визначення температури навколишнього повітря;
- визначення температури поверхні конструктивного шару, що випробовується;
- визначення поточних географічних координат місця проведення вимірювань;

- геопросторову прив'язку отриманих результатів.

Технічні характеристики станції наведені в табл. 3.4.

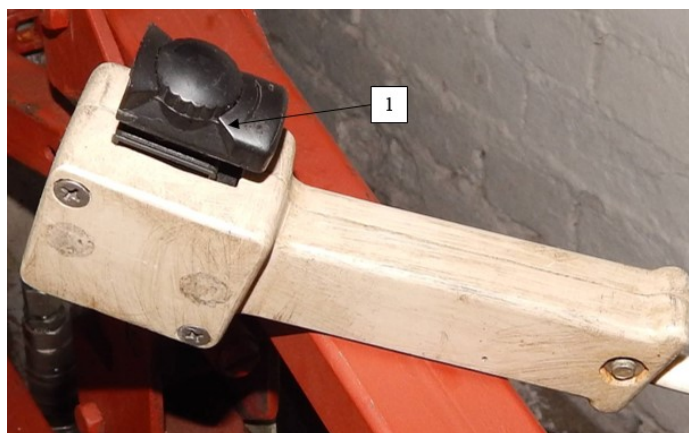
Таблиця 3.4 – Технічні характеристики вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів

Найменування параметру	Значення параметру
Маса, кг	$80 \pm 0,5$
Габаритні розміри:	
висота, мм	500
ширина, мм	400
довжина, мм	1600
Діаметр штамп, мм	300
Абсолютна похибка вимірювання навантаження, %	5
Максимальне навантаження на штамп, кН	100
Похибка вимірювання переміщення, мм	0,0025
Робоча температура, °C	від +5 до +40
Максимальна відносна вологість, %	95
Необхідні джерела живлення:	
змінний струм (електростанція), В / кВт	220 / 1,0
постійний струм, В / А	12 / 0,5
Температура зберігання, °C (ПК зберігається при температурі від +10 до + 35 °C)	від -10 до +60
Обслуговуючий персонал, чол.	2

На дорожнє покриття через жорсткий штамп прикладається зусилля, що створюється тиском оливи в гідроциліндрі, під'єднаному до насосної станції – автономного керованого джерела тиску оливи. Вимірювання величини зусилля здійснюється шляхом реєстрації тиску рідини в силовій гідросистемі за допомогою датчика тиску. Останній підключений до гідросистеми в безпосередній близькості з гідроциліндром, забезпечуючи тим самим високу точність і стабільність вимірювань.

Керування насосною станцією здійснюється оператором дистанційно, за допомогою пульта (рис. 3.16), шляхом натиснення на функціональну кнопку

якого створюється зусилля на штамп, а також регулюється швидкість навантаження.



1 – кнопка створення зусилля на штамп

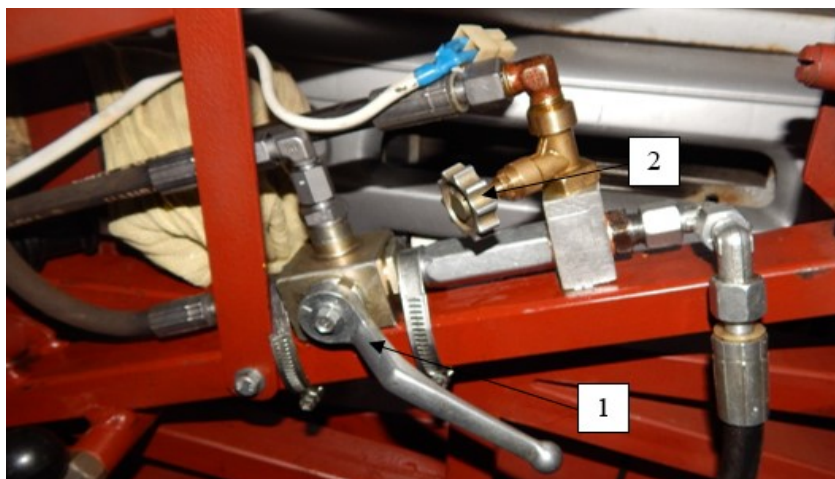
Рисунок 3.16 – Пульт керування насосною станцією

За рахунок цього виключається ручна праця оператора та підвищується продуктивність випробувань.

При цьому для створення навантаження можна використовувати будь-який вантажний автомобіль чи дорожню машину, які могли б забезпечити навантаження на штамп не менше ніж 7,5 Тс. Таким чином, виключається залежність від певного виду дорожньої техніки.

Обладнання монтується на транспортному засобі чи на дорожній машині. Транспортування елементів обладнання з одного місця випробувань на інше і встановлення штамп в точку випробувань здійснюється за допомогою важільно-утримуючого механізму. Наявність в останньому трьох важільних ланок з гідروциліндром підйому дозволяє оператору переміщувати і встановлювати в точку вимірювань важкий комплект гідроциліндра зі штампом без особливих зусиль.

Керування важільно-утримуючим механізмом і роботою гідроциліндра підйому здійснюється за допомогою блоку керування ВУМ (рис. 3.17), який складається з трьохходового крану і крану зливу оливи для зняття зусилля на штамп.



1 – трьохходовий кран; 2 – кран зливу оливи

Рисунок 3.17 – Блок керування ВУМ

Для реєстрації і обробки результатів вимірювань використовується вимірювальний блок (рис. 3.18), із встановленим на ньому спеціальним програмним забезпеченням.



1 – графічний дисплей; 2 – клавіатура; 3 – роз'єм для підключення зовнішнього носія інформації; 4 – перемикач живлення; 5 – системний роз'єм

Рисунок 3.18 – Вимірювальний блок

Однією з головних особливостей вимірювального блоку є можливість відображення результатів вимірювань у текстовому та графічному вигляді на

дисплеї, з подальшим збереженням і експортом цих результатів на зовнішній енергонезалежний носій інформації.

Надалі по тексту вимірювальний блок буде зображуватися схематично, як це показано на рис. 3.19.

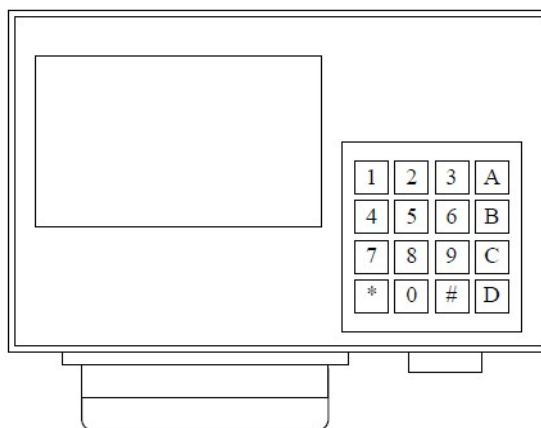


Рисунок 3.19 – Схематичне зображення передньої панелі вимірювального блоку

Прогиномір являє собою металеву телескопічну реперну балку на трьох опорах, задня з яких має вертикально рухому п'яту, а дві інші – на колесах. Це дозволяє оператору швидко та зручно налаштовувати його для проведення вимірювань.

Методика проведення статичних штампових випробувань з використанням вимірювальної станції наведена в підрозділі 4.2.

3.4.2 Результати лабораторних випробувань вимірювальної станції

На першому етапі лабораторні випробування станції проводились в лабораторії відділу метрологічного забезпечення вимірювань геометричних величин ДП «Укрметртестстандарт» у відповідності з програмою і методикою, наведеною в [129, 130].

Метою лабораторних випробувань було визначення значень вимірювального зусилля, абсолютної похибки та діапазону вимірювань вузла переміщень станції та перевірка їх відповідності нормативним вимогам.

Випробування проводили в умовах, наведених в табл. 3.5, з застосуванням повірених засобів виміральної техніки та робочих еталонів, технічні характеристики яких наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.5 – Умови проведення лабораторних випробувань

Найменування параметру	Значення параметру
Температура навколишнього повітря, °C	від 15 до 25
Відносна вологість повітря, %	від 30 до 80
Атмосферний тиск, кПа	від 80 до 106

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики засобів виміральної техніки та робочих еталонів

Найменування і позначення РЕ та ЗВТ	Нормативна документація	Технічні характеристики
Плоскопаралельні кінцеві міри довжини IV розряду	ДСТУ 3741	Номинальні значення довжини мір від 0,1 до 10 мм, $\delta = \pm (0,2 + 2 \cdot L_m)$ мкм
Ваги для статичного зважування	ГОСТ 29329	Діапазон вимірювань від 0,2 до 3 кг, $\Delta = \pm 3$ г
Стійка С - II	ГОСТ 10197	H = 250 мм, неплоскостинність столика 0,004 мм
Термометр метеорологічний скляний ТМ-6	ГОСТ 112-78	Діапазон вимірювань від 10 до 30 °C; ціна поділки 1 °C; $\Delta = \pm 1$ °C
Барометр-анероїд контрольний М-67	ТУ 2504-1797	Ціна поділки 0,1 кПа; $\Delta = \pm 0,15$ кПа

Перед початком проведення випробувань вузол переміщень станції перевірили на відсутність механічних та інших дефектів, які могли б вплинути на точність вимірювань, змонтували на лабораторному стенді та приєднали до джерела електричного живлення.

Вимірвальне зусилля вузла переміщень визначали за допомогою ваг для статичного зважування під час контакту стрижня вимірального датчика з площадкою ваг. Для цього вимірвальний датчик вузла переміщень

закріплювали в стійці типу С - II з діапазоном переміщень не менше, ніж діапазон вимірювань вузла переміщень.

Опускали стрижень вимірювального датчика і знімали покази ваг на початку, в середині та кінці діапазону вимірювань вузла переміщень при прямому ході стрижня датчика (при підйомі стрижня вимірювального датчика).

Покази ваг в грамах, поділені на 100, дорівнювали вимірювальному зусиллю в ньютонах (Н).

В результаті проведення випробувань встановили, що значення вимірювального зусилля вузла переміщень станції знаходиться в межах 1 - 3 Н, що відповідає нормативним вимогам, наведеним в [129, 130].

Абсолютну похибку вимірювань з використанням вузла переміщень станції визначали за допомогою плоскопаралельних кінцевих мір довжини IV розряду номінальним розміром 0,1 мм, 2 мм, 4 мм, 6 мм, 8 мм, 10 мм (рис. 3.20).



1 – вимірювальний датчик вузла переміщень станції; 2 – стійка С - II; 3 – столик стійки С - II; 4 – вимірювальний блок станції; 5 - плоскопаралельні кінцеві міри довжини IV розряду

Рисунок 3.20 – Визначення абсолютної похибки вимірювань з використанням вузла переміщень станції

Методика визначення абсолютної похибки полягала у виконанні наступної послідовності операцій:

- вимірювальний датчик вузла переміщень закріпили в стійці;
- опустили стрижень вимірювального датчику до контакту з робочою поверхнею столика;
- показання вимірювального блоку станції встановили на «нуль»;
- на столик стійки встановлювали кінцеву міру довжини з найменшим номінальним значенням;
- виконували вимірювання довжини кінцевої міри, попередньо встановивши стрижень вимірювального датчика на її робочу поверхню;
- піднімали стрижень вимірювального датчика і замінювали встановлену кінцеву міру довжини на кінцеву міру більшого розміру;
- вимірювання довжини кожної кінцевої міри виконували три рази, знімаючи відліки на екрані дисплею вимірювального блоку станції.

Довжину L_p кожної з шести кінцевих мір, $p = 1 \dots 6$, виміряну вузлом переміщень станції, визначали за формулою:

$$L_p = \frac{\sum_{i=1}^3 L_{pi}}{3}, \quad (3.1)$$

де L_{pi} – показання вимірювального блоку станції при i – му вимірюванні p - тої кінцевої міри довжини, мм.

Абсолютну похибку Δ_p вузла переміщень при вимірюванні довжини кожної з шести кінцевих мір, $p = 1 \dots 6$, визначали за формулою:

$$\Delta_p = L_p - L_{pd}, \quad (3.2)$$

де L_{pd} – дійсне значення довжини p - тої кінцевої міри, мм.

За дійсне значення абсолютної похибки вимірювань з допомогою вузла переміщень станції приймали максимальне з отриманих значень.

Середнє квадратичне відхилення випадкової складової похибки вузла переміщень при вимірюванні довжини кожної з шести кінцевих мір, $p = 1 \dots 6$, визначали за формулою:

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (L_{pi} - L_{pd})^2}{2}}. \quad (3.3)$$

За діапазон вимірювань переміщень приймали діапазон, в якому абсолютна похибка при вимірюванні переміщень не перевищувала гранично допустимого значення $\pm 0,01$ мм.

Отримані результати наведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати визначення абсолютної похибки та діапазону вимірювань вузла переміщень станції

№ п/п	Довжина КМД L_{pd} , мм	Показання вузла переміщень L_{pi} , мм	Довжина КМД L_p , мм	Абсолютна похибка Δ_p , мм	Середнє квадратичне відхилення S_p , мм
1	0,10	0,08	0,1000	0,000	0,0141
2		0,11			
3		0,11			
1	2,00	2,00	2,0067	0,007	0,0094
2		2,02			
3		2,00			
1	4,00	4,01	4,0100	0,010	0,0000
2		4,01			
3		4,01			
1	6,00	5,99	6,0067	0,007	0,0125
2		6,02			
3		6,01			
1	8,00	8,01	8,0033	0,003	0,0094
2		8,01			
3		7,99			
1	10,00	10,01	10,0133	0,013	0,0047
2		10,01			
3		10,02			
Дійсне значення абсолютної похибки вузла переміщень $\Delta_{max} = 0,013$ мм					
Максимальне середнє квадратичне відхилення $S_{max} = 0,0141$ мм					
Діапазон вимірювань вузла переміщень від 0,1 до 10,0 мм					

Як слідує з таблиці, дійсне значення абсолютної похибки вимірювань з використанням вузла переміщень станції не перевищує гранично допустимого значення $\pm 0,01$ мм, а діапазон вимірювань складає від 0,1 до 10,0 мм, що відповідає нормативним вимогам, наведеним в [129, 130].

Стандартну невизначеність при визначенні абсолютної похибки вимірювань з використанням вузла переміщень станції розраховували за формулою:

$$u = \sqrt{u_a^2 + u_b^2 + u_c^2 + u_d^2}, \quad (3.4)$$

де u_a – невизначеність плоскопаралельних кінцевих мір довжини (для кінцевих мір довжини IV розряду $u_a = 0,00012$ мм);

u_b – невизначеність зняття відліку ($u_b = 0,003$ мм);

u_c – невизначеність $S_{\max}$ відліку, мм;

u_d – невизначеність відхилення температури навколишнього повітря від 20 °С, (при проведенні вимірювань в лабораторії $u_d = 0$).

Розширену невизначеність при визначенні абсолютної похибки вимірювань з використанням вузла переміщень станції розраховували за формулою:

$$U = k \cdot u, \quad (3.5)$$

де k – коефіцієнт охоплення, (для довірчої ймовірності 0,95 за нормального закону розподілу ймовірностей $k = 2$).

Отримані результати наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку невизначеності при визначенні абсолютної похибки вимірювань

№ п/п	Найменування параметра	Значення параметру
1	Стандартна невизначеність u , мм	0,013
2	Розширена невизначеність U , мм	0,026

Як слідує з таблиці, розширена невизначеність U при визначенні абсолютної похибки вимірювань з використанням вузла переміщень станції не перевищує гранично допустимого значення $\pm 0,03$ мм, що відповідає нормативним вимогам, наведеним в [130].

На другому етапі лабораторні випробування станції проводились в лабораторії автомобільних доріг та аеродромів НТУ на спеціально розробленому стенді за методикою, наведеною в [131].

В ході даних випробувань виконувалась перевірка точності визначення зусилля, що створюється станцією, та перевірка точності визначення переміщень, що реєструються вимірювальною системою станції [28].

Перевірка точності визначення зусилля, що створюється станцією (рис. 3.21), здійснювалась шляхом порівняння показань вимірювальної системи станції з показаннями еталонної гідравлічної месдозы, яка пройшла періодичну повірку в установленому порядку (Додаток Д).



1 – металева балка протизаги; 2 – гумова пластина; 3 – штамп; 4 – еталонна гідравлічна месдоза; 5 – гідроциліндр; 6 – датчик зусилля вимірювальної станції

Рисунок 3.21 – Перевірка точності визначення зусилля, що створюється станцією

З цією метою, для імітації переміщення штампа у визначене місце під металеву балку протитяги 1 розмістили гумову пластину 2 товщиною 30 мм, розміром 50×50 см. Встановили штамп 3 з еталонною гідравлічною месдозою 4 на вищезгадану гумову пластину. На штамп з еталонною гідравлічною месдозою встановили гідроциліндр 5 з датчиком зусилля 6. Створюючи тиск в гідравлічній системі станції, задавали ступінчате навантаження на штамп 0, 1, 2, 3, 4, 5 тс.

Результати перевірки точності визначення зусилля, що створювалося станцією наведені в табл. 3.9.

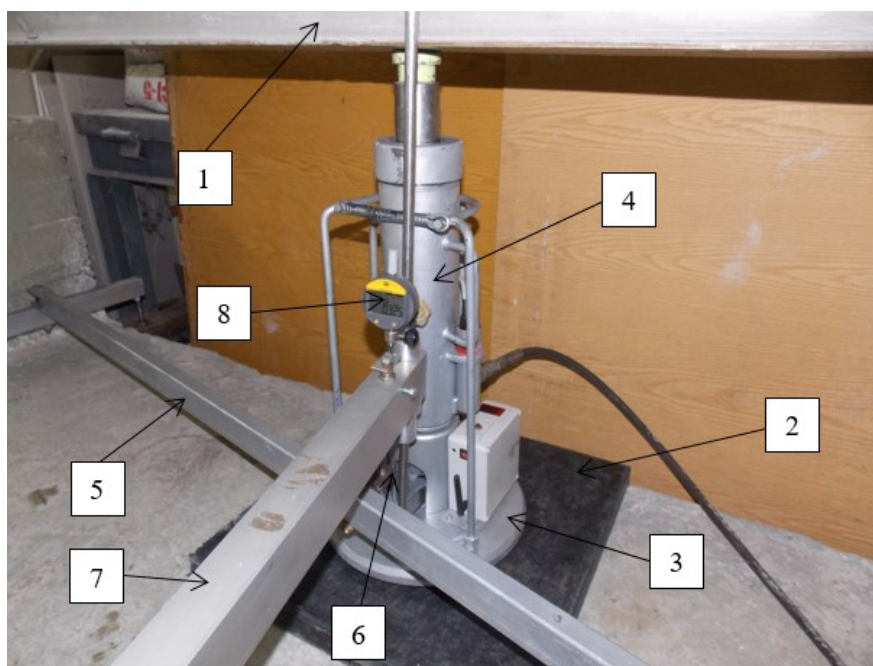
Таблиця 3.9 – Результати перевірки точності визначення зусилля, що створюється станцією

№ п/п	Показання гідравлічної месدوزи при i - му навантаженні P_{mi} , тс	Показання станції при i - му навантаженні P_{ci} , тс	Модуль абсолютної похибки Δ_{zi} , тс	Відносна похибка δ_{zi} , %
1	0	0	—	—
2	1	1,028	0,028	2,80
3	2	2,050	0,050	2,50
4	3	3,037	0,037	1,23
5	4	4,020	0,020	0,50
6	5	5,023	0,023	0,46

Як слідує з таблиці, відносна похибка δ_{zi} визначення зусилля, що створювалось станцією при кожному навантаженні, не перевищувала гранично допустимого значення 5 %, наведеного в [131].

Перевірка точності визначення переміщень, що реєструються вимірною системою станції (рис. 3.22), здійснювалась шляхом порівняння показань вимірної системи станції з показаннями еталонного

датчика переміщень, який пройшов періодичну метрологічну атестацію в установленому порядку (Додаток Д).



1 – металева балка протипаги; 2 – гумова пластина; 3 – штамп; 4 – гідроциліндр; 5 – реперна балка; 6 – щуп; 7 – прогиномір; 8 – еталонний датчик переміщень «TESA»

Рисунок 3.22 – Перевірка точності визначення переміщень, що реєструються вимірювальною системою станції

Для імітації переміщення штампа у визначене місце під металеву балку протипаги 1 розмістили гумову пластину 2 товщиною 30 мм, розміром 50×50 см. Встановили штамп 3 на вищезгадану гумову пластину під металеву балку протипаги. На штамп встановили гідроциліндр 4. Поряд встановили реперну балку 5 з щупом 6. Також встановили прогиномір 7 з еталонним датчиком переміщень «TESA» 8 в робоче положення, завчасно розмістивши щуп прогиноміра максимально близько до щупа реперної балки. Створюючи тиск в гідравлічній системі станції, задавали ступінчате навантаження на штамп 0, 1, 2, 3, 4, 5 тс.

Результати перевірки точності визначення переміщень, що реєструвались вимірювальною системою станції, наведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Результати перевірки точності визначення переміщень, що реєструються вимірювальною системою станції

№ п/п	Показання електронного датчика переміщень S_{di} , мм	Показання Станції S_{ci} , мм	Модуль абсолютної похибки Δ_{ni} , мм	Відносна похибка δ_{ni} , %
1	0	0	-	-
2	4,31	4,44	0,13	3,02
3	7,04	7,23	0,19	2,70
4	8,68	8,89	0,21	2,42
5	9,71	9,96	0,25	2,57
6	10,64	10,86	0,22	2,07

Як слідує з таблиці, відносна похибка δ_{ni} визначення переміщень, що реєструвались вимірювальною системою станції при кожному навантаженні не перевищувала 4 %, що значно менше гранично допустимого значення 10 %, наведеного в [131].

Отже, в цілому можемо зробити висновок про те, що розроблений дослідний зразок вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів успішно пройшов всі етапи лабораторних випробувань.

3.4.3 Результати польових випробувань вимірювальної станції

Після успішного проходження лабораторних випробувань, описаних в п. 3.4.2, дослідний зразок вимірювальної станції також був випробуваний в польових умовах [132].

Спочатку випробування приладу проводились при визначенні пружних прогинів ґрунтової основи та щебених шарів дорожнього одягу. Метою випробувань була перевірка працездатності як окремих складових частин, так і всієї вимірювальної станції в цілому (рис. 3.23).



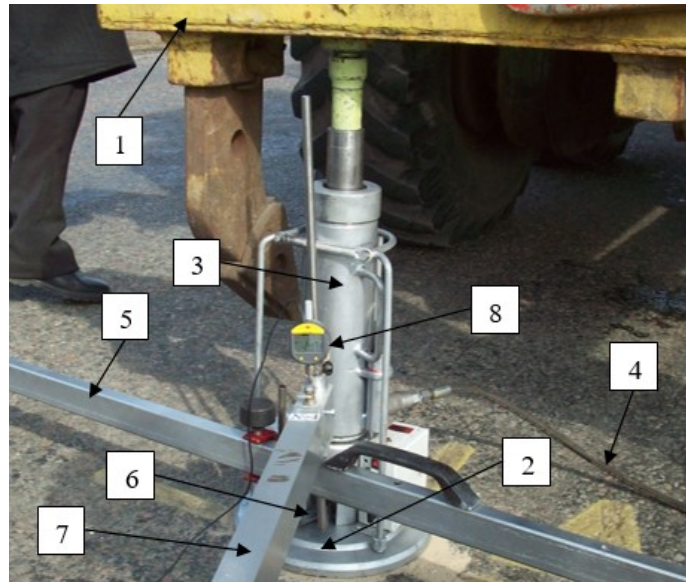
Рисунок 3.23 – Статичні штампіві випробування з використанням вимірювальної станції: а, б) ґрунтової основи; в, г) щебених шарів

За результатами проведених випробувань дійшли до висновку, що станція знаходиться в працездатному стані.

Подальші випробування вимірювальної станції проводили на дослідних ділянках доріг з асфальтобетонним покриттям, розміщених на території Бориспільського району Київської області (Додаток А, Б).

Метою випробувань було визначення пружних прогинів поверхні дорожніх покриттів за допомогою вимірювальної станції та порівняння отриманих даних з результатами визначення прогинів за допомогою прогиноміра традиційної конструкції. Для створення розрахункового навантаження на дорожню конструкцію використовувався автогрейдер, наданий Бориспільським РайДУ.

Випробування почали виконувати в точці вимірювань, розміщеній на дослідній ділянці «Д1». Для цього автогрейдер підігнали так, щоб опорна рама 1 знаходилася безпосередньо над точкою вимірювань (рис. 3.24).



1 – опорна рама автогрейдера; 2 – жорсткий штамп; 3 – гідроциліндр; 4 – рукав високого тиску; 5 – реперна балка; 6 – щуп; 7 – прогиномір; 8 – еталонний датчик переміщень «TESA»

Рисунок 3.24 – Розміщення складових частин вимірювальної станції в точці проведення вимірювань

Поверхню покриття заздалегідь вирівняли тонким шаром (1-5 мм) просіяного піску. Під опорну раму автогрейдера встановили жорсткий штамп 2 і ретельно притерли. На штамп встановили гідроциліндр 3, який за допомогою рукава високого тиску 4 під'єднали до насосної станції. Поряд зі штампом встановили реперну балку 5 з вимірювальним щупом 6.

Для контролю показань вимірювальної системи станції додатково встановили прогиномір 7 з еталонним датчиком переміщень «TESA» 8, завчасно розмістивши щуп прогиноміра максимально близько до щупа реперної балки.

Перед початком випробувань перевірили стійкість складових частин випробувального обладнання та виконали привантаження силою 1 кН. Навантаження на дорожню конструкцію при випробуваннях прикладали рівнями до досягнення максимального розрахункового значення 57,5 кН. Час витримування навантаження становив 30 с, паузи після розвантаження – по 30 с.

Подальші випробування на інших дослідних ділянках виконувались аналогічним чином. Хід проведення випробувань наведено на рис. 3.25.



Рисунок 3.25 – Статичні штампіві випробування з використанням вимірювальної станції на дослідних ділянках: а) «Д2»; б) «7»; в) «8+»; г) «10»; д) «11»; е) «ПЗ»

Результати зіставлення значень пружних прогинів, визначених з використанням вимірювальної станції, з значеннями прогинів, визначених за допомогою прогиноміра, наведені на рис. 3.26.

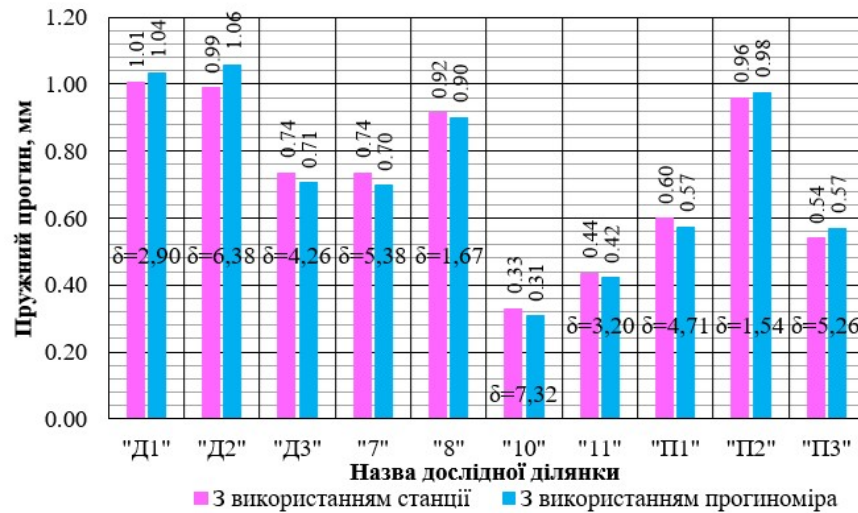


Рисунок 3.26 – Результати зіставлення пружних прогинів поверхні покриттів, визначених на дослідних ділянках

Отримані результати свідчать про те, що в переважній більшості випадків значення пружних прогинів, отримані з використанням двох незалежних один від одного засобів вимірювань майже співпадають. Відносна похибка δ визначення пружних прогинів поверхні покриттів з використанням вимірювальної станції не перевищує 8 %, що відповідає вимогам, наведеним в [131]. Деякі розбіжності між показаннями вимірювальної системи станції і еталонного датчика переміщень «TESA» обумовлені похибками вимірювань, що виникають внаслідок істотного впливу вітрового навантаження на бічні поверхні реперної балки та прогиноміра.

Отже, можемо зробити висновок, що розроблений дослідний зразок вимірювальної станції успішно пройшов польові випробування.

3.5 Дослідження щодо оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії в польових умовах

3.5.1 Вибір засобів вимірювань для проведення досліджень

У підрозділі 2.3 було теоретично обґрунтовано, що при оцінюванні стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії в натурних умовах на

існуючих ділянках автомобільних доріг випробувальне обладнання для створення навантаження повинно мати наступні параметри: величина тестового навантаження повинна складати від 11 тс до 15 тс, при радіусі сферичного індентора від 170 мм до 350 мм.

Проаналізувавши технічні характеристики відомих динамічних установок з падаючим вантажем [128], було встановлено, що серед вітчизняного обладнання цього типу необхідні параметри має вузол вимірювання міцності установки «УДВО-НТУ» [26, 133], обладнаний сферичним штампом (рис. 3.27).

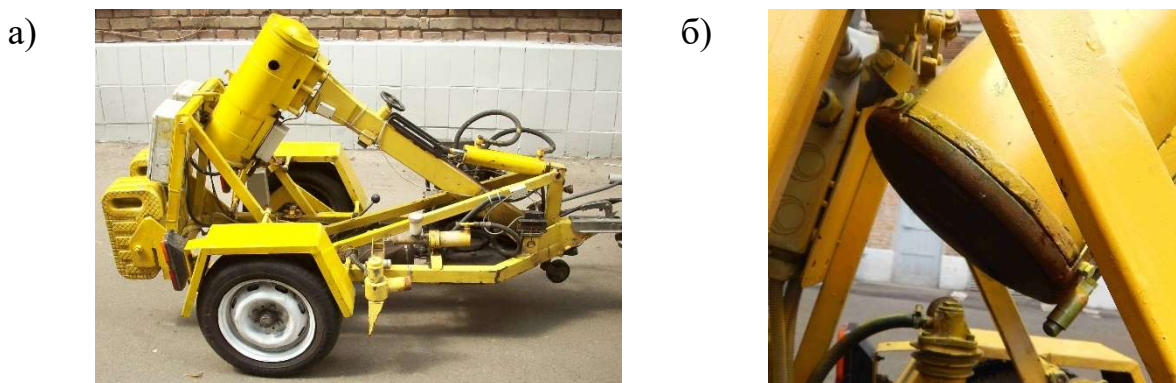


Рисунок 3.27 – Універсальне дорожнє вимірювальне обладнання «УДВО-НТУ»: а) загальний вигляд установки; б) вузол вимірювання міцності, обладнаний сферичним штампом

Технічні характеристики вузла наведені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики вузла вимірювання міцності установки «УДВО-НТУ»

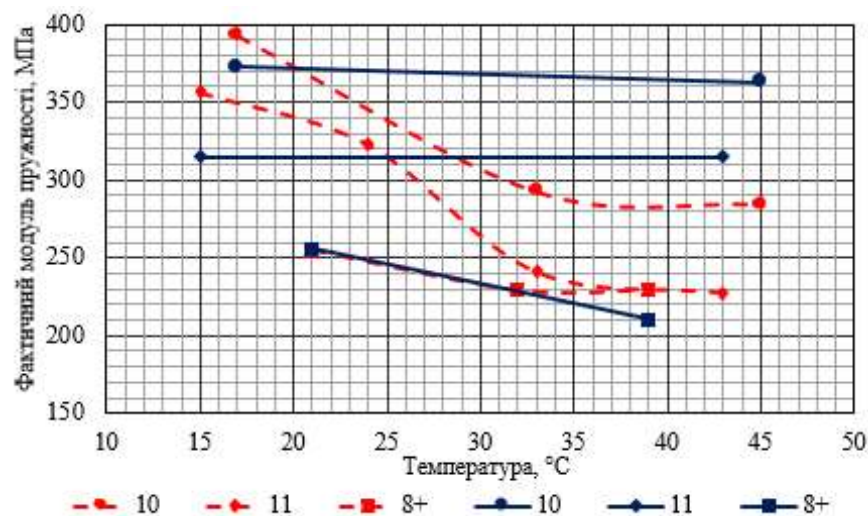
Найменування параметру	Значення параметру
Величина тестового навантаження, кгс	$14\,200 \pm 100$
Діаметр ударника, мм	220 ± 1
Радіус сферичного штампа, мм	312 ± 1

Така установка обладнана автоматизованою системою керування вимірювальними процесами [133], що дозволяє виконати серію ударів будь-якої кількості з різними інтервалами часу. Це дає змогу найбільш повно відтворити реальний напружено-деформований стан дорожніх конструкцій при дії на них рухомого транспорту.

Для кінцевого вирішення питання про форму штампа було проведено ряд експериментальних досліджень на дослідних ділянках, розміщених на території Київської та Житомирської областей.

У процесі досліджень проводились вимірювання фактичного модуля пружності з використанням як плоского, так і сферичного штампів при різних температурах поверхні дорожніх покриттів.

Отримані результати вимірювань наведені на рис. 3.28.



Суцільна лінія – при використанні плоского штампa, пунктирна лінія – при використанні сферичного штампa, цифрами наведені позначення дослідних ділянок

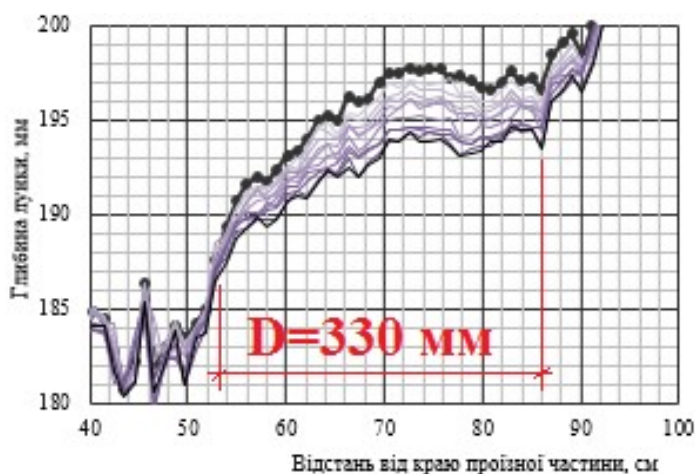
Рисунок 3.28 – Залежність зміни фактичного модуля пружності від температури поверхні покриття

З рис. 3.28 випливає, що при зміні температури поверхні покриттів в діапазоні від 15 °C до 45 °C значення фактичного модуля пружності, отримані за допомогою плоского штампa, майже не змінювались, окрім дослідної ділянки «8+».

При цьому, величини фактичних модулів пружності, отримані сферичним штампом, змінювались суттєво.

Таким чином, показники, отримані за допомогою сферичного штампа, більш чутливі до зміни температури поверхні дорожнього покриття. Тому доцільним є його застосування для оцінювання стійкості дорожніх конструкцій із асфальтобетонним покриттям до утворення колії у реальних умовах на конкретних ділянках автомобільних доріг [134].

Детальне вивчення форми лунки, яка утворюється після здійснення серії ударних навантажень, виконаних за допомогою мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ», обладнаного плоским штампом, призвело до результатів, зображених на рис. 3.29.



Суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів

Рисунок 3.29 – Залежність глибини та розмірів лунки від кількості ударів мобільним комплексом «МК-ДЕС-НТУ», обладнаним плоским штампом

З аналізу отриманої залежності глибини та розмірів лунки від кількості ударів слідує, що на результати вимірювань негативний вплив мають початкові нерівності покриття, а також неоднозначність деформацій на

границі штампа. Це ще раз доводить доцільність застосування сферичного штампа при оцінюванні стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії.

Також, в підрозділі 2.3 було встановлено, що обладнання для реєстрації величини заглиблення індентора повинно мати вимірювальний діапазон від 1,0 до 15,0 мм.

У польових умовах для подібних цілей можна використовувати різноманітні рейки та геодезичні прилади [23, 93]. Але більш доцільно застосовувати ультразвукові та лазерні профілографи [23, 45, 72, 74, 135, 136], ручні цифрові вимірювачі, що дозволяють виконувати статичні вимірювання поперечного профілю в необхідному діапазоні шляхом безперервної реєстрації відхилень датчика, який переміщується вздовж рейки [45, 75, 77].

У Національному транспортному університеті розроблено лазерний профілограф для сканування поверхні дорожнього покриття (рис. 3.30) [137, 144].



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

Рисунок 3.30 – Лазерний профілограф

Прилад складається з балки на двох опорах і вимірювальної каретки з комплектом необхідних датчиків. Технічні характеристики приладу наведені в табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Технічні характеристики лазерного профілографа

Найменування параметру	Значення параметру
1	2
Довжина, мм	2 500

Кінець табл. 3.12

1	2
Висота, мм	300
Ширина, мм	150
Маса, кг	12
Діапазон вимірювань лазерного датчика, мм	80 – 330
Частота сканування, см	Не менше 1
Швидкість руху каретки, м/с	0,1
Тривалість запису профіля, с	20
Напруга живлення, В	12
Обслуговуючий персонал, чол.	2

Основним робочим елементом приладу є лазерний датчик, встановлений усередині вимірювальної каретки (рис. 3.31).



Рисунок 3.31 – Вимірювальна каретка з датчиками

Прилад здійснює сканування та автоматичний запис відміток поверхні покриття у файл, який зберігається в персональному комп'ютері. При цьому, на відміну від відомих аналогів, частота запису відміток поверхні покриття набагато більша (через ≈ 1 см). У результаті вимірювань отримуємо детальний профіль поверхні покриття.

Отже, при проведенні експериментальних досліджень щодо оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії в польових умовах будемо

використовувати вузол вимірювання міцності установки «УДВО-НТУ», обладнаний сферичним штампом, та лазерний профілограф.

3.5.2 Дослідження впливу температури на розміри лунки

На дослідних ділянках на території Київської області (як з наявністю, так і відсутністю залишкових пластичних деформацій у вигляді колії) було проведено ряд експериментальних досліджень щодо оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії у польових умовах (рис. 3.32) [99, 138, 139].

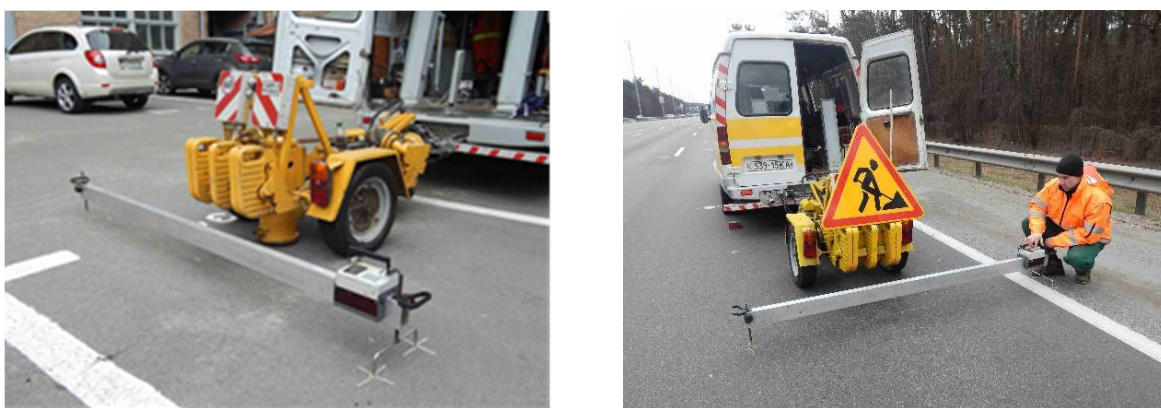


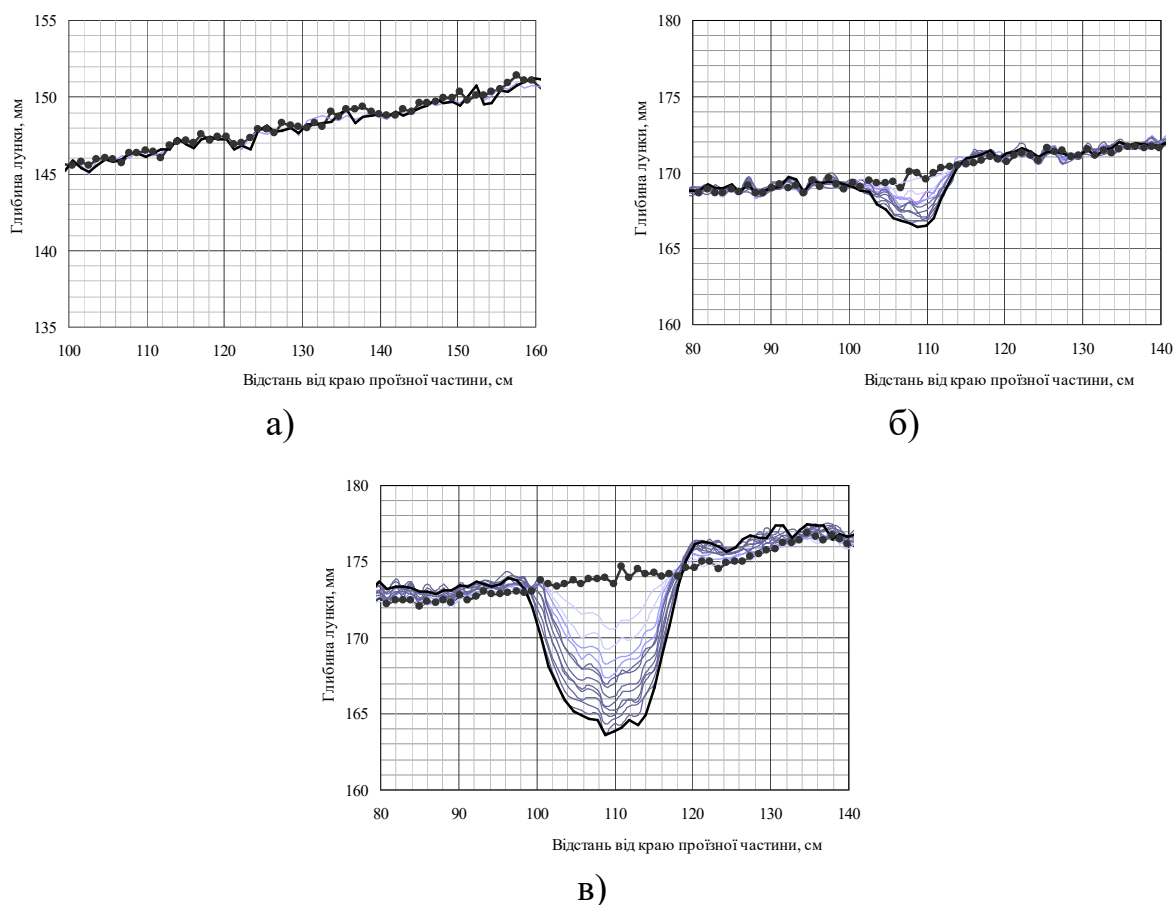
Рисунок 3.32 – Експериментальні дослідження стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії

Дослідження виконувались на ділянках доріг з різноманітними конструкціями нежорстких дорожніх одягів у різні пори року як при високих, так і низьких температурах на поверхні покриттів. Детальна схема розміщення дослідних ділянок наведена в Додатку А.

У процесі проведення експериментальних досліджень розглядалося питання впливу температури поверхні покриття на розміри лунки.

На ділянці «11», розміщеній на з'їзді автомобільної дороги М03 Київ – Харків – Довжанський, з однаковою конструкцією дорожнього одягу та відстанню між точками не більше 10 м були виконані три серії

випробувань при температурах поверхні покриття $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $+54\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно. Отримані результати випробувань наведені на рис. 3.33.



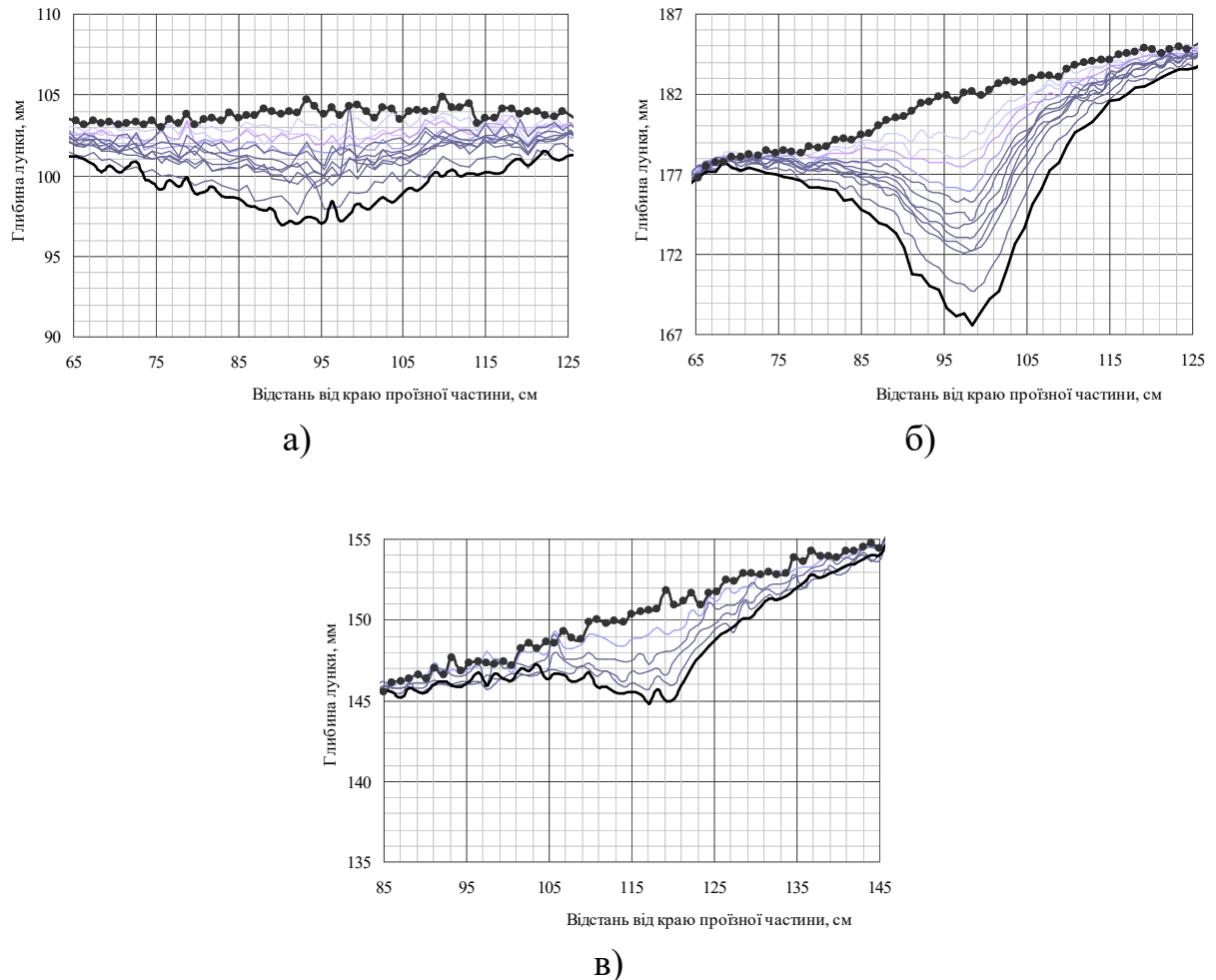
Суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів

Рисунок 3.33 – Результати досліджень впливу температури на розміри лунки при температурі покриття: а) $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$; в) $+54\text{ }^{\circ}\text{C}$

З рис. 3.33, а видно, що при температурі $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ лунки не утворюється, тобто стійкість покриття до утворення колії забезпечена. При цьому максимальна глибина лунки з підвищенням температури покриття збільшується. Так, при температурі $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$ глибина лунки після 13 ударів становила 3,5 мм, а при температурі $+54\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 10,5 мм відповідно. Тобто цей метод чутливий до температури поверхні покриття, що дає можливість оцінити стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії залежно від температури.

3.5.3 Дослідження впливу температури на форму лунки

У процесі подальших досліджень на дослідній ділянці «У1», розміщеній у дворі НТУ, виявили вплив температури поверхні покриття не тільки на глибину, а й на форму лунки (рис. 3.34).



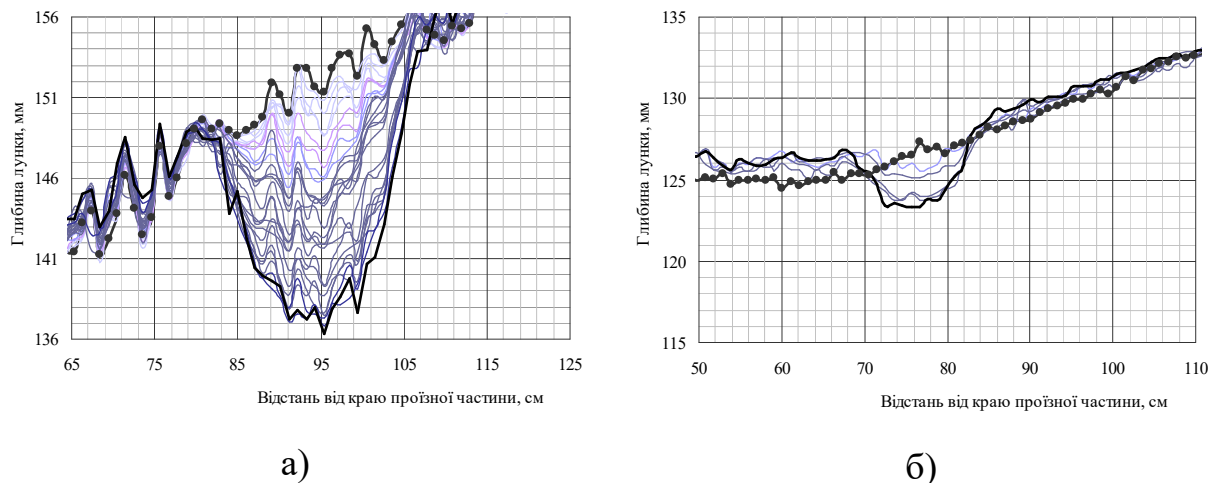
Суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів

Рисунок 3.34 – Результати досліджень впливу температури на форму лунки при температурі покриття: а) +8 °C; б) +30 °C; в) +39 °C

Так, при температурі поверхні покриття +8 °C схили лунки є більш пологими. Крутизна схилів збільшується з підвищенням температури (рис. 3.34, б, в).

3.5.4 Дослідження стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії на дослідних ділянках доріг

За формою лунки можна оцінити тип колійності, який залежить від жорсткості основи дорожнього одягу. Так, на дослідній ділянці «К1» (рис. 3.35, а) з покриттям у вигляді поверхневої обробки по верху шару чорного щебеню та основою низької міцності, випори не спостерігаються. Цього не можна сказати про ділянку «І2» з покриттям у вигляді кількох шарів дрібнозернистого асфальтобетону та жорсткою основою (рис. 3.35, б). На цій ділянці лунка має по краях випори внаслідок випирання асфальтобетону (рис. 3.35, б).

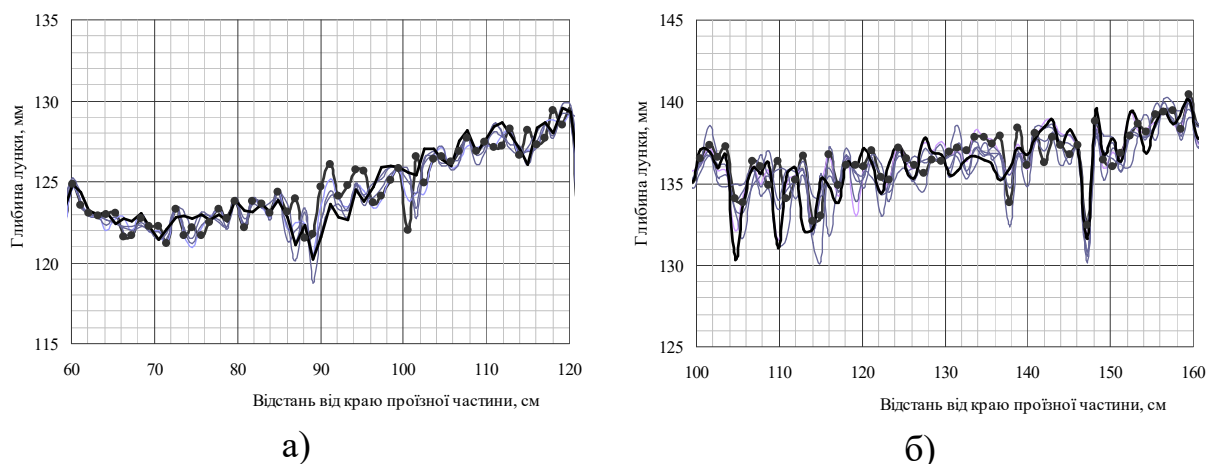


Суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів

Рисунок 3.35 – Результати досліджень на ділянках доріг з різними конструкціями дорожніх одягів: а) з покриттям у вигляді поверхневої обробки та слабкою основою; б) з покриттям у вигляді кількох шарів дрібнозернистого асфальтобетону та жорсткою основою

У результаті проведення досліджень на дослідній ділянці «І1», розміщеній на 19 км автомобільної дороги М03, при температурі поверхні покриття +38 °С лунки не спостерігалось (рис. 3.36, а).

Лунка не утворилась і при випробуваннях на дослідній ділянці «І7», розміщеній на 38 км автомобільної дороги М06, при температурі поверхні покриття $+35^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.36, б).



Суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів

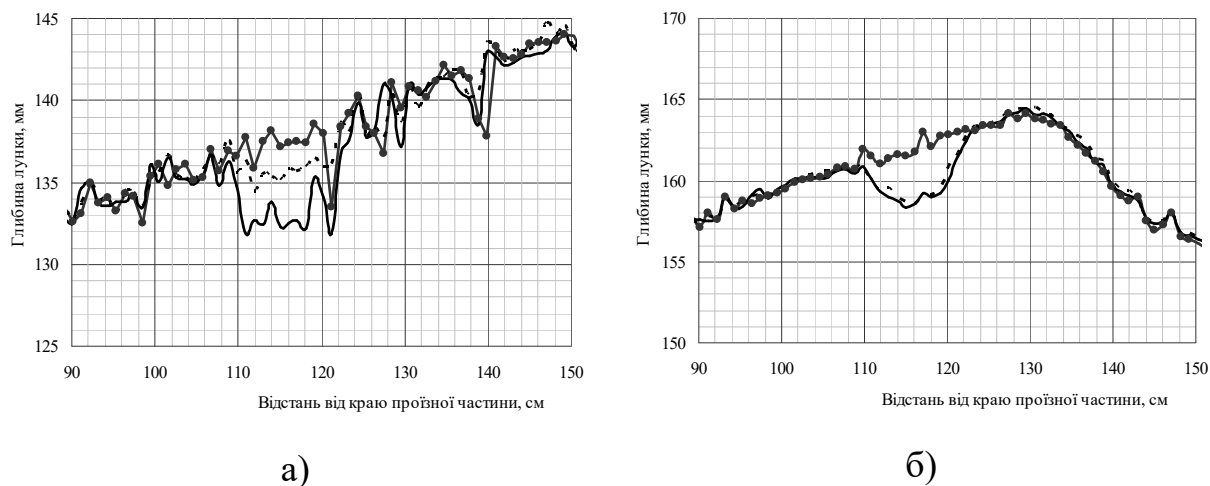
Рисунок 3.36 – Результати досліджень на ділянках доріг з покриттям із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей: а) на ділянці автомобільної дороги М03; б) на ділянці автомобільної дороги М06

Це свідчить про високу міцність конструкцій дорожніх одягів, а також пояснюється застосуванням для будівництва шарів покриття щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей.

3.5.5 Дослідження відновлення форми лунки після припинення ударів

У процесі експериментальних досліджень було виявлено ще одну цікаву особливість поведінки асфальтобетону, пов'язану з відновленням форми лунки після припинення ударів.

Ця особливість була помічена при дослідженні відновлення форми лунки протягом 35 – 40 хв. На рис. 3.37, б показано, що на ділянці «І4», після остаточного припинення ударів лунка не відновилася, а на ділянці «І6» з таким же типом покриття вона відновилася на 60 % (рис. 3.37, а).



Суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; без маркерів – після нанесення ударів; штрихова лінія – відновлення через 40 хв

Рисунок 3.37 – Результати досліджень відновлення форми лунки після припинення ударів на дослідних ділянках: а) «I6»; б) «I4»

При цьому на ділянці «I4» спостерігалася значна колія на покритті, а на ділянці «I6» колія була відсутня.

Наведені результати вказують на те, що 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. Отже, розроблена методика дає можливість оцінити стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії не тільки за глибиною та параметрами лунки, а й за характером відновлення поверхні покриття після серії ударів.

3.5.6 Дослідно-виробнича перевірка розробленого методу оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії

Дослідно-виробничу перевірку розробленого у дисертаційній роботі методу оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії виконували під час проведення натурних досліджень на ділянці, розташованій по вул. Овруцькій в м. Києві.

Метою досліджень було виявлення причин утворення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії на поверхні шару асфальтобетонного покриття, вже через декілька місяців після його влаштування.

Випробування проводили в безпосередній близькості від зупинки громадського транспорту, де глибина колії на покритті була максимальною (рис. 3.38, а).

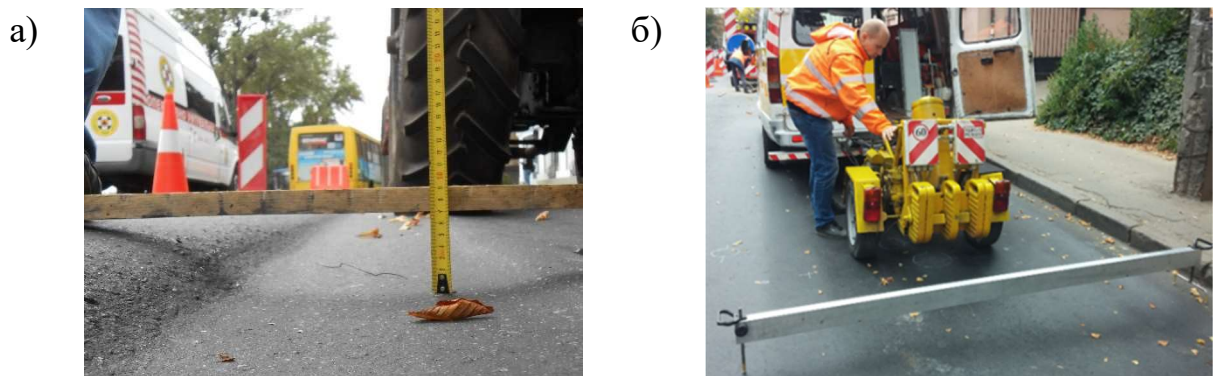


Рисунок 3.38 – Підготовка до проведення випробувань на дослідній ділянці: а) вимірювання глибини колії на поверхні покриття; б) розташування точки проведення випробувань

При цьому точка проведення випробувань знаходилась між правою та лівою смугами накату (рис. 3.38, б). Температура поверхні покриття при випробуваннях становила $+16^{\circ}\text{C}$. За допомогою вузла вимірювання міцності установки «УДВО-НТУ» було виконано три серії навантажень, що склались з п'яти ударів кожна. Отримані результати наведені на рис. 3.39.

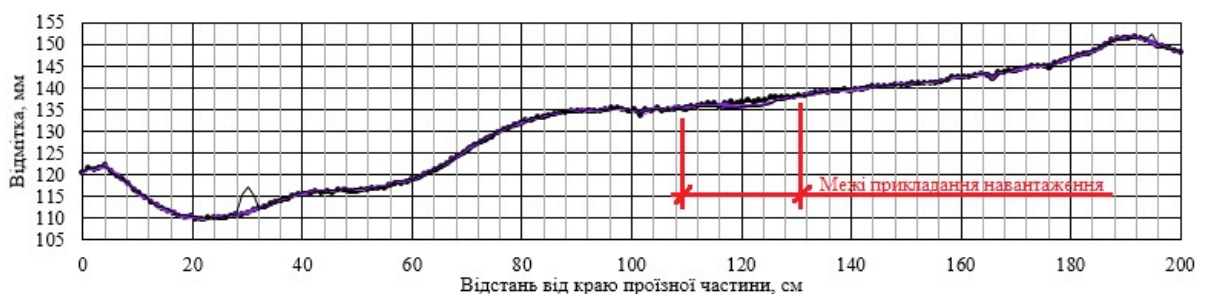
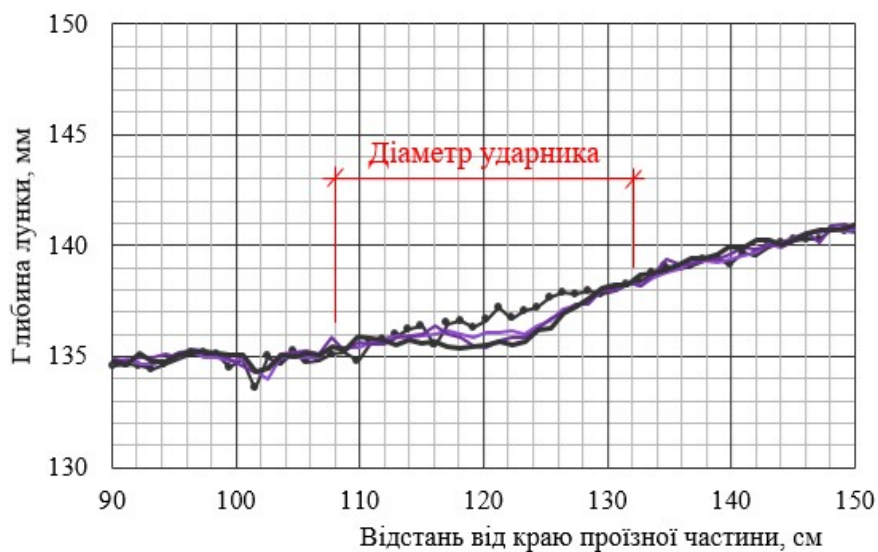


Рисунок 3.39 – Загальний вигляд поперечного профілю поверхні покриття, після декількох серій ударів

З рисунка 3.39 слідує, що на поверхні покриття проїзної частини вулиці має місце колія поверхневого типу, що утворилась під дією тривалого навантаження від маршрутних транспортних засобів при високих літніх температурах.

В цьому можна переконатися, детально проаналізувавши форму лунки після 15 ударних навантажень (рис. 3.40).



Суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; без маркерів – після нанесення ударів

Рисунок 3.40 – Залежність глибини та параметрів поперечного профілю лунки від кількості ударів

Так, із рис. 3.40 видно, що залишкові пластичні деформації виникають в асфальтобетонних шарах дорожнього одягу, а не в основі, оскільки зміни в профілі лунки відбулися лише в межах прикладання навантаження.

У випадку деформування основи форма лунки мала б розміри, значно більші ніж діаметр ударника установки «УДВО-НТУ».

В ході проведення подальших досліджень даний висновок був підтверджений за допомогою методу руйнівної діагностики шляхом влаштування вирубки в колії на лівій смузі накату (рис. 3.41, а).

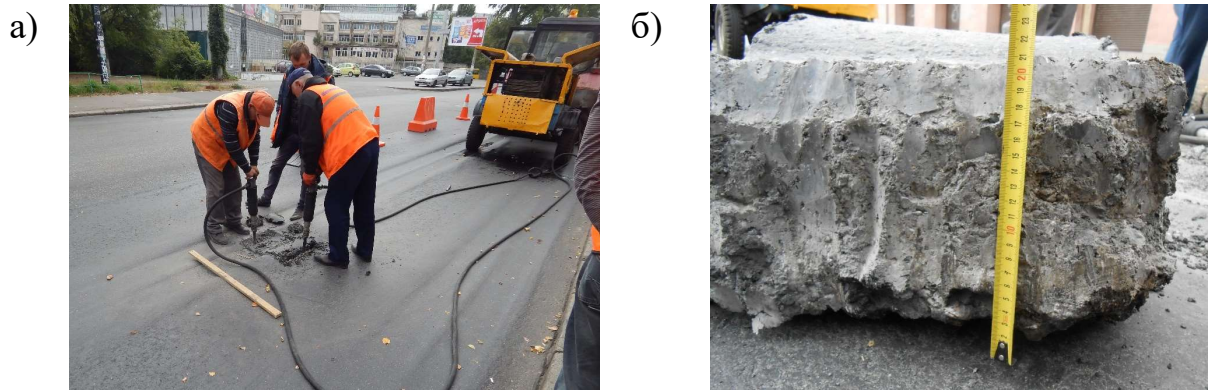


Рисунок 3.41 – Дослідження за допомогою методу руйнівної діагностики: а) процес влаштування вирубки; б) результати розкриття вирубки

За результатами розкриття вирубки (рис. 3.41, б) з'ясувалось, що виміряні фактичні значення товщини верхнього асфальтобетонного шару покриття дещо менші від проектних.

Це ще раз підтверджує той факт, що в процесі експлуатації на поверхні покриття утворилась колія поверхневого типу за рахунок доущільнення асфальтобетонної суміші.

В цілому, можемо стверджувати, що розроблений метод оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії успішно пройшов дослідну перевірку в виробничих умовах.

3.6 Висновки по розділу

За результатами експериментальних досліджень, наведеними в даному розділі можна зробити наступні висновки:

1. Підтверджено, що результати вимірювання осідання штампу за австрійською та німецькою методиками відрізняються не суттєво: середнє значення осідання штампу, взате по трьох індикаторах, має відхилення не більше 5 % від показань індикатора, встановленого на центр штампа. Отже, на практиці доцільно застосовувати німецьку методику. Цю особливість

необхідно врахувати при розробці нової конструкції штампа для вимірювальної станції.

2. Встановлено, що переміщення штампа та покриття, при одночасній дії на них динамічного навантаження, майже співпадають. При цьому величини похибок, що виникають при інтегруванні сигналів з датчиків прискорення є незначними.

3. Виконано апробацію запропонованого методу визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій на дослідних ділянках. 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 суттєво. Разом з тим виявлено обмеження області застосування методу – при температурі повітря до 5 °С.

4. Розроблено вимірювальну станцію для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів, яка об'єднує випробувальне обладнання в єдиний автоматизований комплекс, що монтується на базовому автомобілі. При цьому виключається необхідність ручної праці оператора, підвищується продуктивність та точність випробувань, забезпечується можливість виконання багаторазових навантажень.

5. В результаті проведення лабораторних випробувань вимірювальної станції встановлено, що значення вимірювального зусилля, абсолютної похибки та діапазону вимірювань вузла переміщень станції відповідають нормативним вимогам. При цьому значення відносної похибки δ_{zi} визначення зусилля та відносної похибки δ_{ni} визначення переміщень, що створюються станцією, не перевищують гранично допустимих значень.

6. Виконано польові випробування вимірювальної станції при проведенні вимірювань на ґрунтовій основі, щебеневих шарах та асфальтобетонному покритті дорожнього одягу. Встановлено, що відносна похибка δ визначення пружних прогинів поверхні асфальтобетонних

покриттів з використанням вимірювальної станції не перевищує 8 %, у порівнянні зі стандартними методами.

7. Виконано апробацію запропонованого методу оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії на дослідних ділянках. Установлено залежності форми і глибини лунки від типу асфальтобетону й температури поверхні покриття. Виявлено можливість установлення типу колійності за формою лунки.

8. Досліджено поведінку дорожніх конструкцій після повторних динамічних навантажень. Виявлено, що стійкість дорожніх конструкцій до утворення колії визначається не тільки глибиною лунки після виконання серії ударів, а й здатністю їх відновлювати форму поверхні покриття після її закінчення.

9. Виконано дослідну перевірку запропонованого методу в виробничих умовах при виявленні причин утворення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії на поверхні асфальтобетонного покриття проїзної частини вул. Овруцької в м. Києві.

Основні результати досліджень третього розділу висвітлено в роботах автора: [27-29, 99, 101, 127, 128, 132, 134, 137-139, 144].

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Рекомендації щодо конструкції штампа для вимірювальної станції

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень, отриманих в підрозділах 2.1 та 3.2, було удосконалено конструкцію штампа для вимірювальної станції (рис. 4.1).

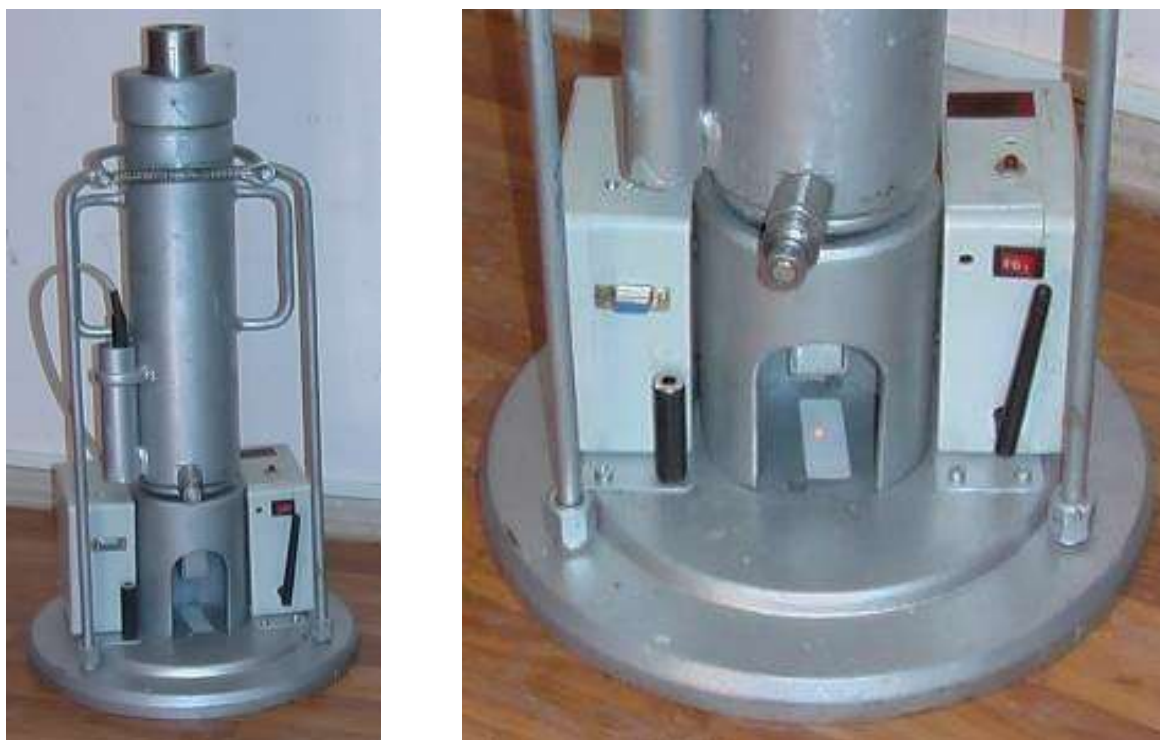


Рисунок 4.1 – Удосконалена конструкція штампа для вимірювальної станції

Головною її особливістю є те, що на штампі на відміну від відомих аналогів [36] розміщено спеціальний металевий стакан, всередині якого змонтовано лазерний датчик переміщення. Промінь датчика падає на

площадку, встановлену на кінці прогиноміра (рис. 4.2), фіксуючи при цьому осідання штампа.



Рисунок 4.2 – Прогиномір зі спеціально встановленою площадкою

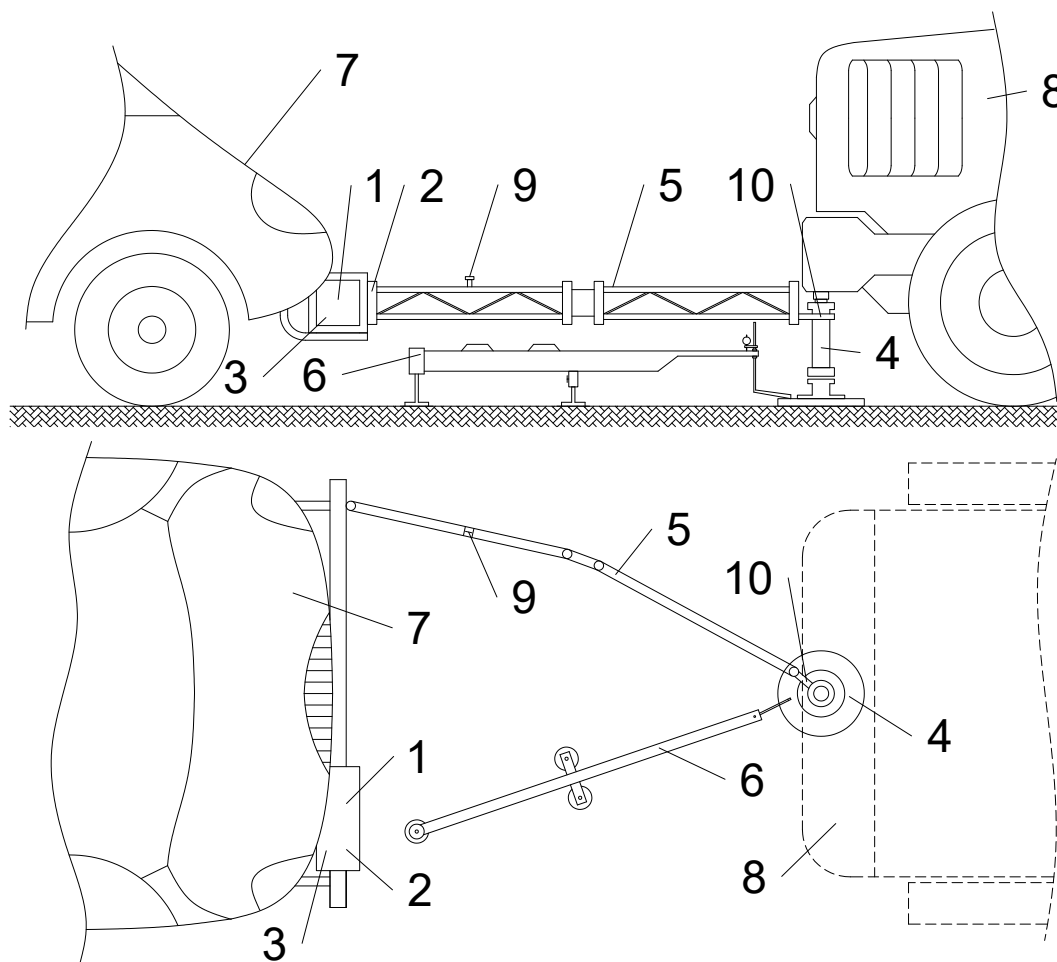
Крім того, така конструкція дозволяє зберегти лазерний датчик, що є досить крихким і дорогим пристроєм, від небажаних механічних пошкоджень, а також спростити технологічні операції щодо приведення станції з транспортного положення в робоче і навпаки.

В той же час, овальний отвір в металевому стакані дозволяє використовувати і традиційні конструкції прогиномірів з вимірювальними щупами. При цьому щуп вільно розміщується по центру штампа.

4.2 Методика статичних штампових випробувань з використанням вимірювальної станції

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу сформулювати наступну методику статичних штампових випробувань з використанням розробленої у дисертаційній роботі вимірювальної станції (рис. 3.15).

1. Базовий автомобіль «ГАЗель», на якому змонтовано станцію, встановлюють передньою частиною до засобу навантаження на відстані до 2 м (рис. 4.3).



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 4.3 – Схема встановлення вимірювального обладнання станції

2. Запускають в роботу джерело живлення – електростанцію, завчасно приєднавшись до бортової електромережі базового автомобіля. Розблоковують транспортне кріплення ВУМ. Вмикають пульт керування насосною станцією (рис. 3.16).

3. Штамп з гідроциліндром, удосконалена конструкція якого наведена в підрозділі 4.1 (рис. 4.1), встановлюють в точку вимірювань так, щоб шток

гідроциліндра знаходився під опорною площадкою навантажувального засобу. Ці операції проводять шляхом ручного розгортання ВУМ, а також з допомогою пульта керування насосною станцією (рис. 3.16) і блоку керування ВУМ (рис. 3.17). Підйом і встановлення гідроциліндра в точку вимірювань проводять при горизонтальному положенні рукояті трьохходового крана (рис. 3.17) та кнопки пульта керування насосною станцією (рис. 3.16). Перемістивши рукоять трьохходового крана (рис. 3.17) в нижнє вертикальне положення, кнопкою (рис. 3.16) підіймають головку гідроциліндра до контакту з опорною площадкою засобу навантаження. Захват, що тримає гідроциліндр, відводять в сторону.

4. Розгортають прогиномір з транспортного положення в робоче і встановлюють його на поверхню дорожньої конструкції, що досліджується, згідно зі схемою, наведеною на рис. 4.3.

На консолі прогиноміра закріплюють площадку та встановлюють її в середині металевого стакану, що знаходиться на штампі так, щоб промінь лазерного датчика падав на площадку.

5. У робочому положенні вимірювальний блок закріплюють на важільно-утримуючому механізмі, як це показано на рис. 3.15. Для цього необхідно:

- послабити кріпильні гвинти на задній частині блоку;
- встановити блок на кріпильну площадку, яка знаходиться на штанзі;
- затягнути кріпильні гвинти на задній частині блоку.

Для підключення вимірювального блоку необхідно:

- зняти заглушки на гніздах роз'ємів блоку;
- вставити відповідні штекери в потрібні гнізда роз'ємів блоку;
- зафіксувати роз'єми у підключеному стані за допомогою застібок.

6. Вмикають вимірювальний блок шляхом натискання на перемикач живлення блоку. Під час запуску здійснюється завантаження програмного забезпечення до мікроконтролера блоку, перевірка наявності та працездатності вимірювального обладнання. На екрані дисплею близько

однієї секунди відображаються результати перевірки. Приклад відображення результатів вдалої перевірки обладнання наведено на рис. 4.4.

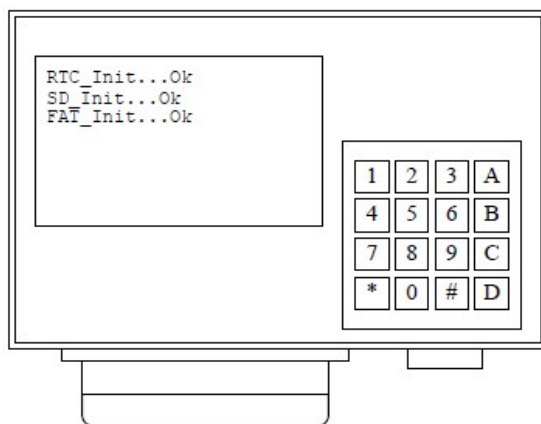


Рисунок 4.4 – Відображення результатів вдалої перевірки обладнання після запуску вимірювального блоку станції

У випадку відсутності чи непрацездатності обладнання відображається надпис «ErrX», де X – номер помилки. Для прикладу, результат перевірки у випадку відсутності SD-картки наведено на рис. 4.5.



Рисунок 4.5 – Відображення результатів перевірки обладнання у випадку відсутності SD-картки

Можливі результати перевірки обладнання при старті вимірювального блоку станції, види несправностей та рекомендовані варіанти їх усунення детально описані у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Можливі результати перевірки обладнання при старті вимірювального блоку станції

№ п/п	Складова обладнання, що перевіряється	Позначення	Код помилки	Розшифрування несправності	Порядок усунення несправності
1	SD-картка	«SD_Init»	Err1	SD-картка не підключена або несправна	Підключити SD-картку, або замінити її
2			Err2	Те саме	Те саме
3			Err3	Те саме	Те саме
4	Файлова система на SD-картці	«FAT_Init»	Err1	Файлова система відсутня (SD-картка не відформатована)	Відформатувати SD-картку у форматі FAT-16
5	Датчик переміщення	«RF25X_Init»	Err1	Відсутній, або несправний датчик переміщення	Перевірити підключення датчика, перевірити живлення, замінити датчик
6	Годинник реального часу	«RTC_Init»	Err1	Відсутній, або несправний годинник реального часу	Звернутись до розробників обладнання
7		«GPS_Init»	Err1	Відсутній, або несправний GPS-модуль	Те саме
8	Датчик температури повітря	«ds18b20Init»	Err1	Відсутній, або несправний датчик температури повітря	Те саме
9			Err2	Помилка ініціалізації датчика температури повітря	Те саме

7. Після виконання перевірки обладнання, на екрані дисплею з'являється головне меню. Подальші операції здійснюють у інтерактивному режимі: необхідний пункт меню користувач обирає за допомогою відповідних кнопок клавіатури. Із головного меню передбачено виконання таких операцій:

- запуск сеансу вимірювань (пункт «Вимірювання»);

- перегляд результатів попередніх вимірювань (пункт «Перегляд»);
- перевірка показів датчиків (пункт «Покази датчиків»);
- редагування налаштувань приладу (пункт «Налаштування»);
- проведення перевірки (пункт «Тест»).

Загальний вигляд головного меню вимірювального блоку станції наведено на рис. 4.6.



Рисунок 4.6 – Головне меню вимірювального блоку станції

8. Проведення вимірювального сеансу передбачає виконання оператором наступних операцій:

- проведення підготовки до сеансу;
- запуск сеансу вимірювань;
- проведення вимірювань;
- перегляд результатів у графічному вигляді;
- збереження результатів вимірювань.

Для проведення підготовки до сеансу вимірювань необхідно натиснути кнопку «А» на клавіатурі, після чого на дисплеї з'явиться підменю підготовки до сеансу. На цьому етапі користувачу необхідно вказати позначку, яка відповідає позиції, у якій проводяться вимірювання. Для введення позначки слід використовувати цифри «0» – «9» та букви «А», «В», «С» та «D»

клавіатури. Максимальна довжина позначки становить 16 символів. Загальний вигляд підменю підготовки до вимірювального сеансу наведено на рис. 4.7.

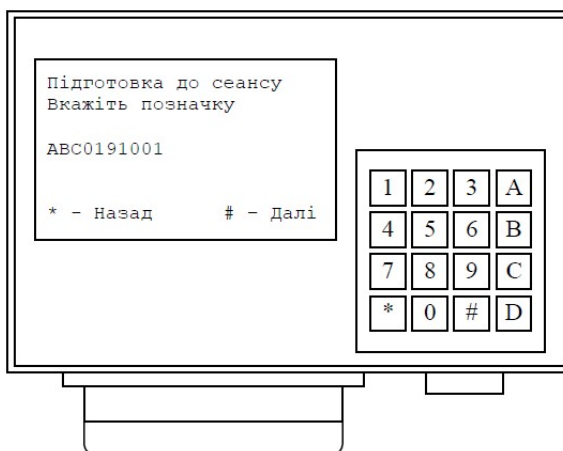


Рисунок 4.7 – Підменю підготовки до вимірювального сеансу

У нижній частині екрану відображаються підказки про можливі варіанти навігації. Так, натиснення кнопки «*» приведе до повернення у головне меню (рис. 4.6). Введений текст позначки при цьому буде очищений. При натисненні кнопки «#» буде застосовано введений текст позначки, а пристрій перейде до наступного етапу.

Текст позначки призначений лише для асоціативної прив'язки до вимірювальної позиції. Ніякого впливу на порядок вимірювань, отримання та збереження результатів він не здійснює. Текст позначки може бути залишений порожнім.

9. Наступний етап передбачає ознайомлення оператора із поточними показами датчиків, які (параметри) будуть прийняті незмінними під час проведення сеансу: дата, час, широта, довгота, температура навколишнього повітря та поверхні дорожнього покриття.

На даному етапі навігація здійснюється аналогічним чином, як і на попередньому, за допомогою кнопок «*» та «#». У ранніх версіях програмного забезпечення може бути відсутня інформація про географічні координати позиції. Поля «Широта» та «Довгота» у такому випадку будуть містити нулі.

Вигляд графічного дисплею під час ознайомлення оператора із поточними показами датчиків наведено на рис. 4.8.

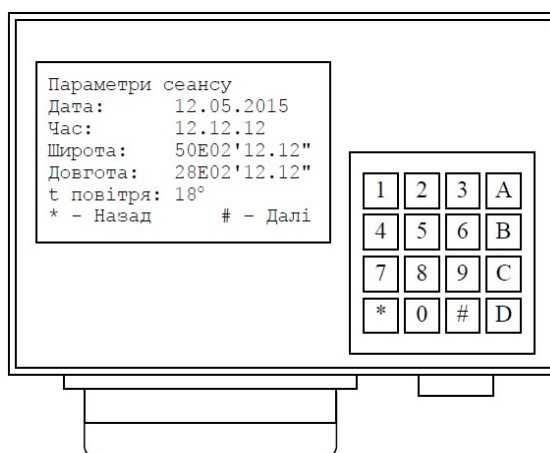


Рисунок 4.8 – Ознайомлення оператора із поточними показами датчиків перед початком вимірювань

10. Запуск сеансу вимірювань. Натиснення кнопки «#» переводить пристрій до запуску сеансу вимірювань. На екрані дисплею відобразатимуться значення навантаження, яке діє на поверхню шару дорожнього одягу, що досліджується, та його прогин під дією цього навантаження. Вигляд графічного дисплею після запуску вимірювань наведено на рис. 4.9.



Рисунок 4.9 – Вигляд графічного дисплею після запуску вимірювань

Під час проведення вимірювань користувач може:

- переглядати поточне значення зусилля та прогину поверхні шару дорожнього одягу, що досліджується;
- встановлювати поточний прогин як початковий, натиснувши на кнопку «0», після чого у полі «прогин» буде відображатись відносне його значення;
- відновлювати абсолютне значення поточного прогину, натиснувши кнопку «*»;
- зберігати поточну пару значень величин зусилля – прогин до оперативної пам'яті пристрою, натиснувши кнопку «A»;
- завершувати вимірювальний сеанс, натиснувши кнопку «#».

11. Плавним натисненням на кнопку пульту керування насосною станцією (рис. 3.16) здійснюють попереднє навантаження на штамп ($0,35 \pm 0,05$) тс тривалістю 30 с. Розвантажують штамп. Зняття навантаження на штамп проводять за допомогою крану зливу оливи (рис. 3.17). Здійснюють серію навантажень зі швидкістю не більше 0,05 МПа/с, після кожного із яких зберігають пару відліків зусилля – прогин після затухання деформації (не більше 0,01 мм за час від 20 с до 30 с).

12. Максимальна кількість пар значень зусилля-прогин, що може зберігатись у оперативній пам'яті пристрою під час випробувань на точці вимірювань, складає 128. Оператор самостійно вибирає момент, в який потрібно зафіксувати пару значень зусилля-прогин і їх кількість, в залежності від шуканої деформаційної характеристики ґрунту, шару основи чи дорожньої конструкції в цілому.

Поточна кількість накопичених відліків відображається поряд з написом «А-Відлік». Вимкнення живлення пристрою на цьому етапі призводить до втрати накопичених відліків.

13. Перегляд результатів у графічному вигляді. Натиснення кнопки «#» переводить до перегляду результатів у вигляді графіка залежності прогину від

зусилля. Діапазони значень прогину і зусилля наводяться у верхній частині графіку (рис. 4.10).

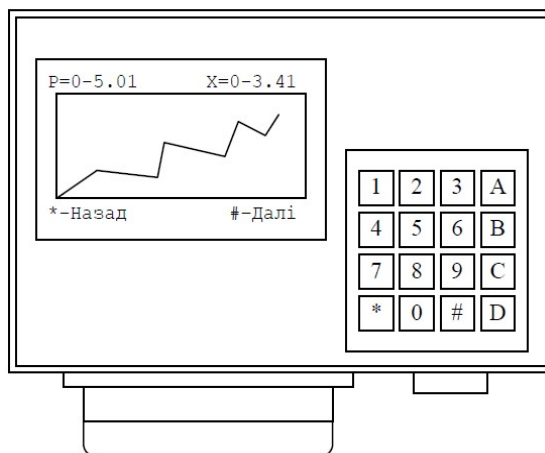


Рисунок 4.10 – Вигляд графічного дисплею на етапі перегляду результатів

На цьому етапі користувач має змогу:

- повернутись назад до накопичення вимірів, натиснувши на кнопку «*»;
- перейти до наступного етапу, а саме збереження вимірів, натиснувши кнопку «#».

14. Збереження результатів вимірювань. На цьому етапі користувачу надається змога:

- зберегти результати вимірювального сеансу у вигляді окремого файлу, натиснувши на кнопку «A»;
- одночасно зберігати на SD-картці до 200 000 файлів з результатами вимірювань;
- повернутись до попередніх етапів перегляду та накопичення вимірів, натиснувши на кнопку «*»;
- завершити вимірювальний сеанс, натиснувши на кнопку «#».

Вигляд графічного дисплею на етапі збереження результатів наведено на рис. 4.11.

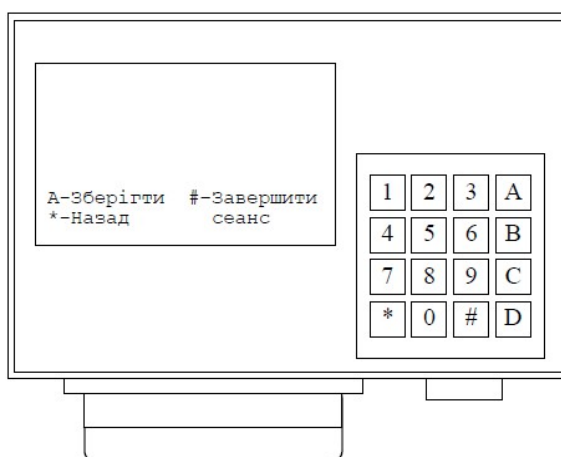


Рисунок 4.11 - Вигляд графічного дисплею на етапі збереження результатів

Після збереження результатів вимірювань знову відображається головне меню вимірювального блоку (рис. 4.6). Користувач має змогу повторно здійснити вимірювання в поточній точці чи вимкнути станцію та переміститись до наступної точки випробувань.

15. Для оброблення результати вимірювань слід скопіювати із SD-картки на ЕОМ. Далі необхідно відкрити потрібний файл за допомогою програми Excel і зберегти його в форматі Excel (рис. 4.12).

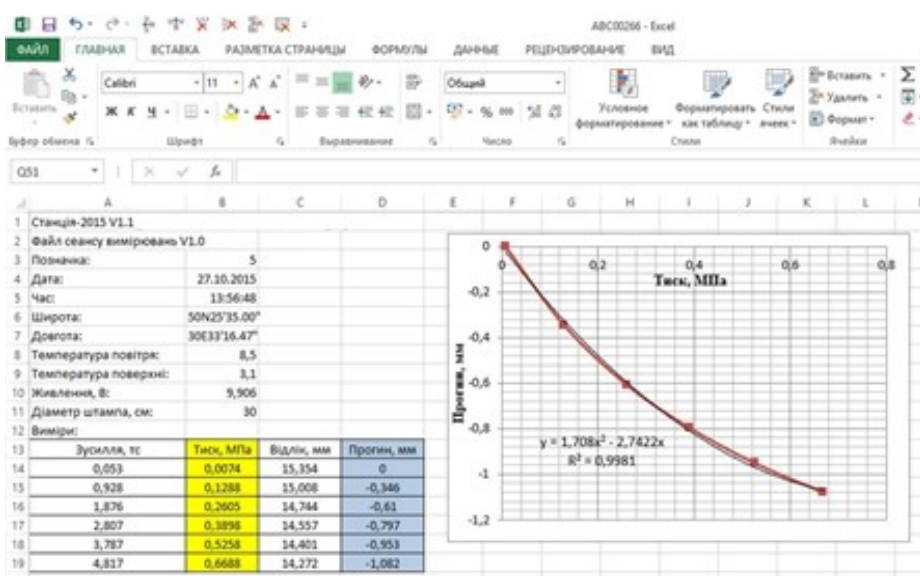


Рисунок 4.12 – Вигляд файлу вимірювань в Excel

16. В рядках 14 - 18 (рис. 4.12) наводяться значення зусилля, тиску та відліки з датчика переміщень, збережені при випробуваннях в точці.

17. Для того, щоб отримати абсолютне значення осідання штампу, потрібно від кожного відліку відняти значення відліку при нульовому навантаженні на штамп і отримати нову колонку з прогинами. Ця операція виконується засобами програми Excel.

18. За даними колонок «Тиск, МПа» та «Прогин, мм» засобами програми Excel будують графік залежності прогину від тиску (рис. 4.12).

19. Графік можна використовувати для обчислення шуканої деформаційної характеристики ґрунту, шару основи чи дорожньої конструкції в цілому, за формулами, наведеними у відповідних нормативних документах.

20. Визначення кількості точок вимірювань на ділянці, яка контролюється, та оформлення результатів здійснюють у відповідності з ВБН В.2.3-218-186-2004 [42], СОУ 45.2-00018112-042:2009 [140] та з іншими нормативними документами.

19. Для геопросторової прив'язки результатів вимірювань знаходять координати точки вимірювань, як це показано на рис. 4.13.

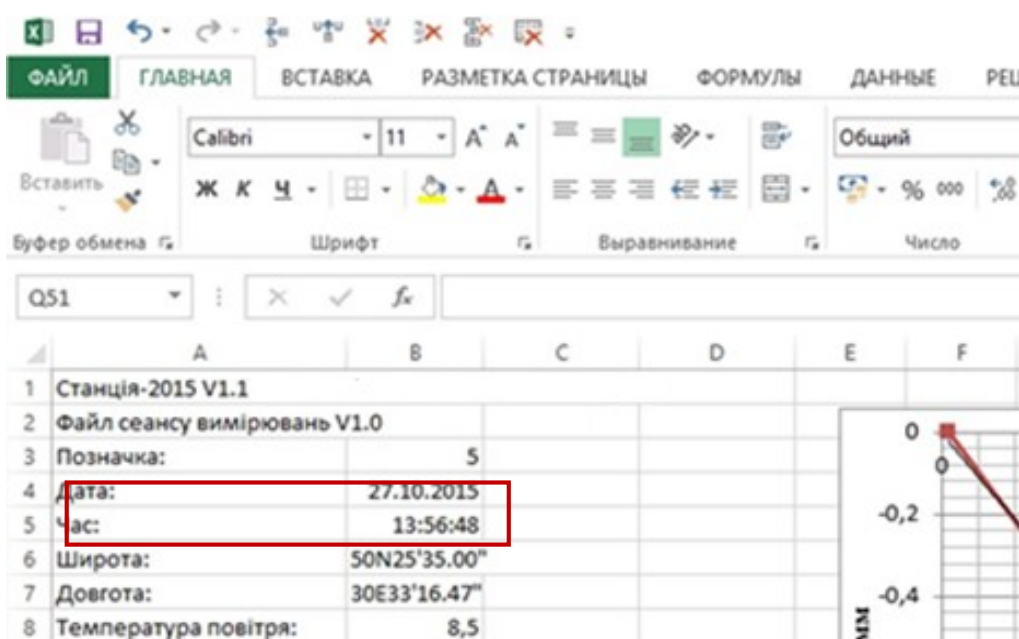


Рисунок 4.13 – Поле з координатами GPS прив'язки

20. Переходять на сайт «<https://www.google.com.ua/>», вставляють скопійовані координати в поле «Искать на Google Картах». Система «Google» автоматично перейде до позиції точки вимірювань та покаже її розміщення на карті.

Алгоритм роботи автоматизованої системи керування вимірювальними процесами станції наведений в Додатку Г.

Наведена методика використана при розробці нормативних документів МР В.2.3-02070915-860:2015 «Методичні рекомендації щодо проведення вимірювань з використанням вимірювальної станції для штапових випробувань дорожніх конструкцій «ВСПВДК-2-15» [141] та ДСТУ Б В.2.3-42:2016 «Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу» [35].

4.3 Методика випробувань дорожніх конструкцій з використанням мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ»

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу сформулювати наступну методику випробувань дорожніх конструкцій з використанням мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ» (рис. 3.10).

Методика полягає у виконанні наступної послідовності операцій:

1. На покритті обирають точку для проведення вимірювань, яку позначають фарбою або крейдою.
2. Мобільний комплекс «МК-ДЕС-НТУ» розміщують так, щоб штамп знаходився над позначкою на покритті в обраній точці.
3. Буксирний автомобіль гальмують ручним гальмом та проводять заходи щодо безпеки згідно чинних нормативно-правових актів та нормативних документів.
4. Запускають в роботу джерело живлення – електрогенератор.

5. Проводять опускання штампа з розміщеним всередині тензодатчиком ваги торсіонного типу RTN C3 на поверхню покриття (до повного виходу штока відповідного гідроциліндра).

6. Здійснюють динамічне навантаження поверхні дорожнього покриття шляхом скидання в автоматичному режимі вантажу з заданої висоти.

7. Реєструють сигнал з тензодатчика ваги RTN C3 та обробляють його за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, встановленого на ПК.

8. Отримують графік, аналогічний наведеним на рис. 3.11, 3.12, з якого визначають тривалість удару.

9. Випробування повторюють. Якщо два отримані значення тривалості удару відрізняються між собою не більше, ніж на 5 %, вимірювання закінчують і визначають їх середній результат, на основі якого розраховують фактичний модуль пружності за формулою (2.51). У випадку, коли два отримані значення тривалості удару відрізняються між собою більше, ніж на 5 %, випробування необхідно продовжити.

10. Значення тривалості удару, отримане при першому вимірюванні, до уваги не приймається.

Наведена методика використана при розробці ДСТУ Б В.2.3-42:2016 «Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу» [35].

4.4 Методика оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу сформулювати наступну методику оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії з використанням Універсального дорожнього вимірювального обладнання «УДВО-НТУ» (рис. 3.27) та лазерного профілографа (рис. 3.30).

Методика полягає у виконанні наступної послідовності операцій:

1. За допомогою лазерного профілографа фіксують поперечний профіль поверхні покриття до навантаження. При цьому на поперечному профілі обирають точку для подальших навантажень, яку позначають на поверхні покриття фарбою.

2. На поверхні покриття фарбою фіксують положення опор лазерного профілографа з метою забезпечення можливості повторного сканування цього ж профілю після здійснення серії ударних навантажень.

3. Установивши прилад «УДВО-НТУ» так, щоб сферичний штамп ударника розміщувався в точці навантаження, здійснюють серію ударів, після яких на покритті залишається лунка (рис. 4.14).



Рисунок 4.14 – Лунка на покритті, що утворюється після серії ударних навантажень

4. Зміни поперечного профілю лунки після кожного удару фіксують за допомогою лазерного профілографа.

5. У результаті отримують графік залежності глибини та параметрів поперечного профілю лунки від кількості ударів, аналогічний наведеним на рис. 3.33 – 3.37.

6. На протязі 60 хвилин після остаточного припинення ударів слідкують за відновленням форми лунки. Для цього кожні 10 хвилин за допомогою лазерного профілографа фіксують поперечний профіль лунки.

7. Після закінчення часу, відведеного на відновлення, фіксують остаточний поперечний профіль лунки та порівнюють його з профілем, який було зафіксовано одразу ж після припинення ударів.

8. Встановлюють відсоток відновлення лунки.

9. У випадку, коли лунка відновила більше ніж на 50 %, можна стверджувати, що стійкість дорожньої конструкції до утворення колії буде забезпечена. Якщо ж лунка відновила менше ніж на 50 %, на даній ділянці автомобільної дороги скоріше за все буде розвиватися колійність. В такому випадку буде необхідно детально проаналізувати поперечний профіль лунки, який було зафіксовано одразу ж після припинення ударів та визначити, який саме тип колійності буде розвиватися в майбутньому.

10. Якщо лунка матиме по краях випори внаслідок випирання асфальтобетону, то на даній ділянці дороги буде розвиватися поверхнева колійність. У випадку, коли випори не спостерігатимуться, скоріше за все на даній ділянці розвиватиметься конструктивна колійність.

4.5 Економічна ефективність використання результатів досліджень

Результати статичних або динамічних випробувань дорожніх конструкцій широко використовуються при контролі якості будівництва та ремонту автомобільних доріг.

Вартість виконання таких випробувань на пряму залежить від вартості вимірювального обладнання, що застосовується, а також від кількості ручної праці, необхідної для проведення даних робіт.

На сьогоднішній день в Україні не виробляють обладнання для проведення статичних штампових випробувань, а застосовують малоефективні та морально застарілі прилади та засоби, розроблені ще в Радянському Союзі, або зразки закордонного обладнання, вартість яких є досить значною.

Проведення численних польових вишукувань, а також Державних кореляційних випробувань засобів оцінювання деформативності дорожніх конструкцій в 2012 – 2018 роках, дозволило оцінити ефективність використання вимірювальної станції, розробленої в даній дисертаційній роботі.

При проведенні статичних штампових випробувань фіксували час, необхідний для здійснення вимірювань в одній точці. Тривалість випробувань з використанням автоматизованої вимірювальної станції порівняно з випробуваннями за допомогою традиційного комплексу ручного обладнання, описаного в [42], зменшилась в 5 разів, за рахунок виключення ручної праці та автоматизації робіт, пов'язаних з переносом та встановленням складових частин обладнання.

При цьому, шляхом розробки конструкції штампа з одним датчиком переміщення замість трьох, вдалося досягти зменшення вартості одного комплексу вимірювальної станції приблизно на 12 %.

Ефективність використання нового методу визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій за величиною тривалості удару також має дві складові.

Перша з них полягає у підвищенні точності вимірювань за рахунок виключення складних операцій подвійного інтегрування сигналу з датчика прискорення. Кількісна оцінка цієї складової ускладнена.

Друга складова полягає у підвищенні продуктивності мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ» за рахунок виключення необхідності застосування реперної балки та впровадження тензодатчика ваги торсіонного типу RTN C3 безпосередньо в конструкцію штампа. Порівняно з попередньою модифікацією комплексу, продуктивність вимірювань зросла в 3 рази.

При цьому, відсутність реперної балки дозволяє зменшити вартість самого мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ» приблизно на 10 %.

Ефективність використання результатів досліджень наведена на рис. 4.15.

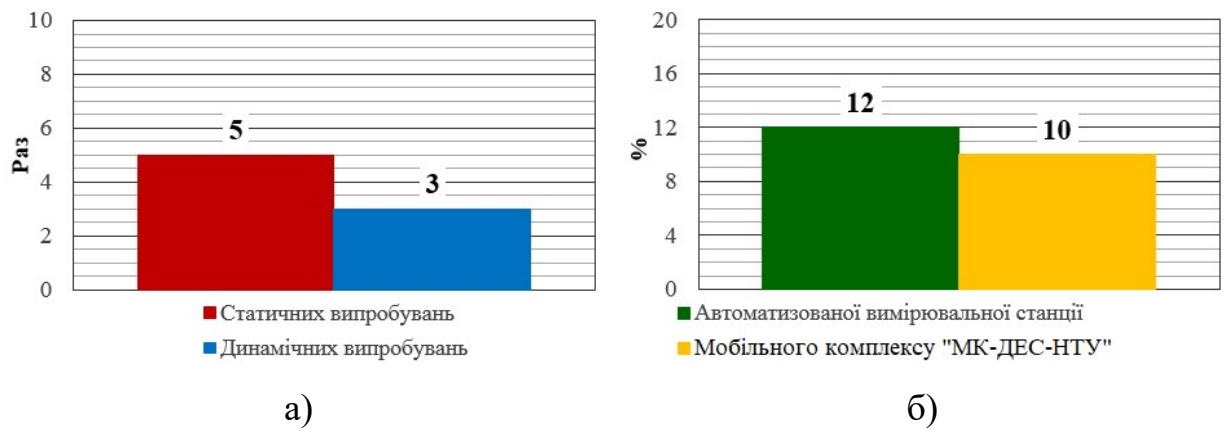


Рисунок 4.15 – Ефективність використання результатів досліджень:
а) – підвищення продуктивності випробувань; б) – зменшення вартості випробувального обладнання

Ефективність використання розробленого методу оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії полягає в наступному. Шляхом здійснення динамічного навантаження поверхні дорожнього покриття можна спрогнозувати розвиток колійності на будь-якій ділянці автомобільної дороги в процесі її подальшої експлуатації. Проведення комплексу заходів щодо ліквідації причин можливої появи даного дефекту дозволить в майбутньому виключити необхідність виконання дорогих ремонтних операцій.

Крім того, вартість вимірювального обладнання, необхідного для реалізації запропонованого методу, в декілька десятків разів нижча, у порівнянні з відомими закордонними аналогами.

Так, вартість мобільної версії установки Nordic-HVS для оцінювання колієстійкості, розробленої вченими Фінляндії та Швеції, складає близько 3 млн. доларів, а вартість її модифікованого зразка CRREL HVS Mk IV, що застосовується в США, складає близько 5 млн. доларів [87]. При цьому, вартість комплексу вимірювального обладнання, що складається з установки

динамічного навантаження «УДВО-НТУ» та лазерного профілографа становить близько 100 тис. доларів.

4.6 Висновки по розділу

За результатами роботи, наведеними в даному розділі, можна зробити наступні висновки:

1. Розроблено рекомендації щодо конструкції штампа для вимірювальної станції.
2. Розроблено методику статичних штампових випробувань з використанням вимірювальної станції.
3. Розроблено методику випробувань дорожніх конструкцій з використанням мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ».
4. Розроблено методику оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії.
5. Результати досліджень знайшли відображення в таких нормативних документах: Р Г.1-02070915-845:2014 «Рекомендації щодо удосконалення вітчизняної нормативної бази по оцінці якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу» [143], МР В.2.3-02070915-860:2015 «Методичні рекомендації щодо проведення вимірювань з використанням вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій «ВСШВДК-2-15» [141], ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016 «Настанова з улаштування земляного полотна автомобільних доріг» [142], ДСТУ Б В.2.3-42:2016 «Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу» [35].
6. Економічна ефективність розроблених методик полягає в тому, що:
 - 1) продуктивність статичних штампових випробувань з використанням автоматизованої вимірювальної станції підвищується в 5 разів за рахунок виключення ручної праці та автоматизації робіт, пов'язаних з переносом та встановленням складових частин обладнання;

2) вартість одного комплексу вимірювальної станції зменшується на 12 %;

3) продуктивність динамічних випробувань з використанням мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ» зростає в 3 рази за рахунок виключення необхідності застосування реперної балки та впровадження тензодатчика ваги торсіонного типу RTN C3 безпосередньо в конструкцію штампа;

4) вартість мобільного комплексу «МК-ДЕС-НТУ» зменшується на 10 %;

5) шляхом використання розробленого методу оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії можна спрогнозувати розвиток колійності на будь-якій ділянці автомобільної дороги та завчасно вжити заходи щодо ліквідації причин появи даного дефекту, виключивши в майбутньому необхідність виконання дорогих ремонтних операцій;

6) вартість вітчизняного комплексу обладнання для оцінювання стійкості дорожніх конструкцій до утворення колії в декілька десятків разів нижча у порівнянні з закордонними аналогами.

Основні результати досліджень четвертого розділу висвітлено в роботах автора: [27, 28, 99, 101].

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 «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».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б А.1.1-100:2013. Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять. [Чинний від 2014-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 52 с.
2. Дорожная терминология: справочник / под ред. М. И. Вейцмана. Москва : Транспорт, 1985. 310 с.
3. Справочник дорожных терминов / под общ. ред. В. В. Ушакова. Москва : Экон, 2005. 256 с.
4. Титаренко А. М. Неразрушающий способ определения деформационных характеристик слоев дорожной конструкции на основании измерения чаши прогиба и расчёта на ПЭВМ : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Киевский автомобильно-дорожный институт. Киев, 1992. 179 с.
5. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. Москва : Наука, 1975. 567 с.
6. Апестин В. К., Шак А. М., Яковлев Ю. М. Испытания и оценка прочности нежестких дорожных одежд. Москва : Транспорт, 1977. 102 с.
7. Батракова А. Г. Методологія моніторингу дорожніх одягів нежорсткого типу із застосуванням георадіолокаційних технологій : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.11 / ХНАДУ. Харків, 2014. 397 с.
8. Бируля А. К., Михович С. И. Работоспособность дорожных одежд. Москва : Транспорт, 1968. 172 с.
9. Булах Є. О. Удосконалення методів оцінювання деформативності дорожніх конструкцій : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11 / НТУ. Київ, 2010. 175 с.
10. Гамеляк І. П. Основи забезпечення надійності конструкцій дорожнього одягу : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.11 / НТУ. Київ, 2005. 370 с.

11. Гладун С. А., Гончаренко Ф. П. Обґрунтування кількості вимірювань для достовірної оцінки міцності дорожнього одягу. *Автошляховик України*. 2015. № 1 – 2. С. 42–45.
12. Гусев В. Н. Полевые методы оценки прочности нежестких дорожных одежд : дис. ... канд. техн. наук / КАДИ. Киев, 1966. 205 с.
13. Иванов Н. Н. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. Москва : Транспорт, 1973. 327 с.
14. Иванов Н. Н., Лейвак В. А., Яковлев Ю. М. Исследование упругого прогиба и радиуса кривизны при многократном действии кратковременных нагрузок. *Труды МАДИ*. Москва, 1974. Вып. 84. С. 38–45.
15. Иноземцев А. А. Сопротивление упруго-вязких материалов. Л. : Стройиздат, 1966. 168 с.
16. Казарновский В. Д. Использование результатов штамповых испытаний дорожной одежды. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2007. № 3. С. 29–30.
17. Кіяшко І. В., Новаковський Д. М., Любченко В. А., Смолянчук Р. В., Мінаков О. С., Олексюк О. І. Історичний огляд розвитку методів та обладнання з оцінки міцності дорожніх конструкцій. *Автошляховик України*. 2014. № 4. С. 18–21.
18. Коганзон М. С., Яковлев Ю. М. Работоспособность дорожных одежд нежесткого типа. Москва : МАДИ, 1985. 51 с.
19. Коновалов С. В., Коганзон М. С. Теория, расчёт и контроль прочности нежестких дорожных одежд. *Труды МАДИ*. Москва, 1972. Вып. 44. С. 23–60.
20. Яковлев Ю. М., Коновалов С. В., Лейвак В. А., Шагал Л. В. Исследование расчётных параметров для оценки прочности и расчёта усиления нежестких дорожных одежд при испытании динамической

- нагрузкой. Ростов-на-Дону : изд. Ростовского областного управления НТО, 1977. 31 с.
21. Красиков О. А. Оценка прочности и расчет усиления нежестких дорожных одежд. Алматы : Казгос ИНТИ, 2006. 308 с.
 22. Лейвак В. А. Исследование параметров, характеризующих прочность нежестких дорожных одежд при их испытаниях динамической нагрузкой : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / МАДИ. Москва, 1976. 25 с.
 23. Леонович И. И., Богданович С. В. Диагностика автомобильных дорог: учебно-методическое пособие для студентов специальности «Автомобильные дороги». Минск : БНТУ, 2012. 226 с.
 24. Сиденко В. М., Михович С. И. Эксплуатация автомобильных дорог. Москва : Транспорт, 1976. 288 с.
 25. Новаковський Д. М. Удосконалення методів контролю якості влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11 / ХНАДУ. Харків, 2012. 180 с.
 26. Павлюк Д. О., Лебедев О. С., Булах Є. О., Глуховеря В. М., Русин Р. М., Собачко С. М., Богданенко А. І. Кореляційні випробування засобів оцінки міцності дорожніх конструкцій. *Автошляховик України*. 2008. № 2. С. 26–33.
 27. Шуляк І. С., Павлюк Д. А., Павлюк В. В., Павлюк В. В., Лебедев А. С., Гаврищук В. В., Шурьяков М. В. Станция для штамповых испытаний дорожных конструкций и их слоев. *Автошляховик України*. 2013. № 2. С. 30–35.
 28. Шуляк І. С., Павлюк Д. О., Павлюк В. В., Павлюк В. В., Лебедев О. С., Гаврищук В. В., Іващенко А. П., Шур'яков М. В. Результати приймальних випробувань станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2013. Вип. 90. С. 56–62.

29. Пристрій для штапових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів: пат. 109061 Україна: МПК E01C 23/07. № u 201601295; заявл. 15.02.16; опубл. 10.08.16, Бюл. № 15. 4 с.
30. Павлюк Д. О., Павлюк В. В., Лебедев О. С., Булах Є. О., Перістий О. О. Начіпне обладнання НТУ для оцінки міцності і деформативності дорожніх конструкцій та ґрунтових основ. *Автошляховик України*. 2008. № 3. С. 33–36.
31. Радовский Б. С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.03. Москва, 1983. 552 с.
32. Сиденко В. М. Сезонные изменения прочности грунта дорожного полотна в степных районах. *Труды ХАДИ*. Харьков, 1959. Вып. 20. С. 62–72.
33. Яковлев Ю. М. Оценка и обеспечение прочности дорожных одежд нежесткого типа в процессе эксплуатации : дис. ... докт. техн. наук : 05.23.14 / МАДИ. Москва, 1985. 435 с.
34. Kopf F., Adam D., Paulmichl I. Untersuchungen des dynamischen Lastplattenversuches mit dem Leichten Fallgewichtsgerät unter Verwendung der Randelement-methode. *Österreichisch Ingenieur - und Architekten-Zeitschrift*. W., 2005. № 4–5. P. 116.
35. ДСТУ Б В.2.3-42:2016. Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 47 с.
36. Каталог продукции ОАО «СНПЦ «РОСДОРТЕХ» / ОАО «СНПЦ «РОСДОРТЕХ». Саратов, 2013. 83 с.
37. DIN 18134 (1990): Baugrund. Versuche und Versuchsgeräte. Plattendruckversuch. Deutsches Institut für Normung.
38. ÖNORM B 4417 (1978): Erd- und Grundbau. Untersuchung von Böden. Lastplattenversuch. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

39. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 11.061 (1975): Grundlagen. Bodenphysikalische Prüfverfahren. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien.
40. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 8.24 (1979): Erdarbeiten. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien.
41. Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau RVS 8S.05.11 (1997): Oberbauarbeiten (ohne Deckarbeiten) Tragschichten. Ungebundene Tragschichten. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen. Wien.
42. ВБН В.2.3–218–186–2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. [Чинний від 2005-01-01]. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2004. 176 с.
43. Яковлев Ю. М. Исследование метода испытаний грунтов и нежестких дорожных одежд установкой динамического нагружения: дис. ... канд. техн. наук : / МАДИ. Москва, 1962. 211 с.
44. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. [Чинний від 1985-15-08]. Москва : Транспорт, 1985. 156 с.
45. Жилин С. Н., Ермолаев В. И. Современные автоматизированные технические средства диагностики автомобильных дорог. Обзорная информация. *Информавтодор*. 2002. № 5. 60 с.
46. Коновалов С. С., Коганзон М. С., Яковлев Ю. М. Динамические методы оценки прочности дорожных одежд. Москва : ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1975. 36 с.
47. Беляев Д. С., Кочетков А. В., Янковский Л. В. Совершенствование метода вибродиагностики технического состояния элементов дорожных конструкций и кольцевых стендов: монография. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2012. 151 с.

48. ВСН 46-72. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. [Чинний від 1973-24-11]. Москва : Транспорт, 1973. 178 с.
49. Мордвин С. С. Совершенствование метода определения прочности нежестких дорожных одежд динамическим нагружением: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Московский автомоб.-дор. гос. техн. ун-т (МАДИ). Москва, 2011. 22 с.
50. Паспорт КБ 0024.00.00.000 ПС. Установка динамического нагружения Дина-3М / ГУП СНПЦ «Росдортех». Саратов, 1996. 11 с.
51. Phares B. M., Ceylan H., Souleyrette R., Smadi O., Gopalakrishnan K. Development of a High Speed Rigid Pavement Analyzer – Phase I Feasibility and Need Study (Report No. CTRE Project 06-281). Ames, IA : Iowa State University, National Concrete Pavement Technology Center, 2008. 56 p.
52. Graves R. C., Allen D. L. Road Rater Correlation (Report No. KTC-90-22). Lexington, KY : University of Kentucky, 1990. 26 p.
53. COST 336. Use of Falling Weight Deflectometers in Pavement Evaluation. Final Report of the Action. European Commission, Directorate General Transport, 2005. 392 p.
54. Irwin L. H., Orr D. P., Atkins D. Falling Weight Deflectometer Calibration Center and Operational Improvements : Redevelopment of the Calibration Protocol and Equipment (Report No. FHWA-HRT-07-040). McLean, VA : Federal Highway Administration, Office of Infrastructure Research and Development, 2011. 268 p.
55. Ferne B., Langdale P. Different loads and load pulses make comparisons between LWD, FWD, HWD and SHWD difficult or Harmonising 'FWD's. *6th European FWD User's Group Meeting* (Brussels, 10.06-11.06.2010 y.). Brussels, 2010. 45 p.
56. Arnold G., Salt G., Stevens D., Werkmeister S., Alabaster D., van Blerk G. Compliance testing using the Falling Weight Deflectometer for pavement

- construction, rehabilitation and area-wide treatments (Research report No. 381). Wellington : NZ Transport Agency, 2009. 80 p.
57. Isola M. FWD and LWD in Flexible Pavements. Gainesville, FL : University of Florida, 2012. 27 p.
 58. Gucunski N., Maher A. Evaluation of Seismic Pavement Analyzer for Pavement Condition Monitoring (Report No. FHWA-NJ-2002-012). Rutgers, NJ : The State University, Department of Civil & Environmental Engineering, 2002. 117 p.
 59. Nazarian S., Baker M.R., Crain K. Development and Testing of a Seismic Pavement Analyzer (Report No. SHRP-H-375). El Paso, TX : The University of Texas at El Paso, Center for Geotechnical and Highway Materials Research, 1993. 166 p.
 60. Онищенко А. М. Наукові основи підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.11 / НТУ. Київ, 2017. 394 с.
 61. Brown E. R., Cross S. A. A national study of rutting in hot mix asphalt pavements. Auburn : Auburn University, National Center for Asphalt Technology, 1992. 41 p.
 62. Aschenbrener T., Stuart K. Comparison of Results Obtained from the French Tester with Pavements of Known Performance. Denver : Colorado Department of Transportation, 1992. 71 p.
 63. Горячев М. Г. Прогнозирование эксплуатационного состояния нежёстких дорожных одежд с учётом процесса накопления остаточных деформаций : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.23.11 / МАДИ. Москва, 2017. 37 с.
 64. Sybilski D. Validation of empirical test for polymer-modified bitumens. *Eurobitume workshop*. 1999. № 88. P. 19–22.

65. Prithvi S. K., Allen Cooley Jr. L. Evaluation of permanent deformation of asphalt mixtures using Loaded Wheel Tester. Auburn : Auburn University, National Center for Asphalt Technology, 2002. 16 p.
66. Мирончук С. А. Метод определения устойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог к накоплению остаточных деформаций под воздействием динамических нагрузок : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / ВГАСУ. Воронеж, 2015. 188 с.
67. Золотарев В. А., Сибильски Д., Чугуенко С. А. Сравнение показателей сдвигоустойчивости при кручении и колееобразовании. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харьков, 2005. Вып. 29. С. 255–258.
68. Мозговий В. В., Куцман О. М., Ольховий Б. Ю., Кирієнко О. С. Випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харьков, 2008. Вип. 40. С. 73–76.
69. Мозговой В. В., Онищенко А. Н., Прудкий А. В., Куцман А. М. и др. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеейности. *Каталог-справочник «Дорожная техника-2010»*. СПб, 2010. С. 114–128.
70. Аксьонов С. Ю. Метод розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11 / НТУ. Київ, 2016. 272 с.
71. Матуа В. П., Мирончук С. А. Новое лабораторное оборудование и методика проведения испытаний дорожно-строительных материалов. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2012. № 4. С. 16–18.
72. Соловчук А. А. Автоматизированные методы измерения глубины колеи и использование их результатов при планировании ремонтных работ. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2000. № 3. С. 34–35.

73. Чирва Д. В. Влияние упруго-вязко-пластичных свойств асфальтобетона на накопление остаточных деформаций при пространственном динамическом нагружении дорожных конструкций : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / ПГСУ. Волгоград, 2010. 23 с.
74. Sixbey D. G. It makes More than Mirrors to See Your «True Profile». *Public Roads*. 1998. Vol. 61. № 5. P. 36–39.
75. Serigos P. A., Prozzi J. A., Nam B. H., Murphy M. R. Field Evaluation of Automated Rutting Measuring Equipment. Austin : The University of Texas at Austin, Center for Transportation Research, 2012. 170 p.
76. Александров А. С. Развитие теоретических положений комплексного расчета дорожных конструкций по сопротивлению сдвигу и пластическому деформированию : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.23.11 / СибАДИ. Омск, 2017. 40 с.
77. Hoffman B. R., Sargand S. M. Verification of Rut Depth Collected with the INO Laser Rut Measurement System (LRMS). Athens : Ohio University, Ohio Research Institute for Transportation and the Environment (ORITE), 2011. 80 p.
78. Wu R. Calibration of the CalME Rutting Model Using 2000 NCAT Data. California : University of California, Pavement Research Center, 2008. 69 p.
79. Willis R., Timm D., West R., Powell B. etc. Accelerated Performance Testing on the 2006 NCAT Test Track. Auburn : Auburn University, National Center for Asphalt Technology, 2009. 140 p.
80. Смирнов А. В. Теоретические и экспериментальные исследования работоспособности нежестких дорожных одежд : дис. ... докт. техн. наук. Омск, 1989. 391 с.
81. Archilla A. R., Madanat S. A Economic Model of Pavement Rutting in Asphalt Concrete Mixes. California : University of California, Department of Civil and Environmental Engineering, 2001. 39 p.

82. Радовский Б. С. Современное состояние разработки американского метода проектирования асфальтобетонных смесей Суперпейв. *Каталог-справочник «Дорожная техника-2008»*. СПб, 2008. С. 12–22.
83. Мозговий В. В., Онищенко А. М., Прудкий О. В., Куцман О. М. та ін. Випробування конструкцій дорожнього одягу на кільцевому стенді – успіхи, проблеми, перспективи (частина 2). *Автошляховик України*. 2010. № 4. С. 24–31.
84. Мозговий В. В., Білан О. О., Головка С. К. Випробування конструкцій дорожнього одягу на кільцевому стенді: успіхи, проблеми, перспективи. *Автошляховик України*. 2010. № 1. С. 24–30.
85. Кусков В. Н. Прогноз сроков службы дорожных одежд на основе стендовых испытаний : дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 1986. 179 с.
86. Воловик О. О. Підвищення стійкості асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг до утворення колії : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11 / ХНАДУ. Харків, 2016. 148 с.
87. Поздняков М. К., Быстров Н. В. Зарубежный опыт оценки сдвигоустойчивости асфальтобетона. *Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона*. Москва, 2009. С. 7–17.
88. Schäfer F. Asphaltbeanspruchung aus Beschleunigungsvorgängen. Dissertation von der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs. 2009. 127 s.
89. Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытаний. Обзорная информация. *Информавтодор*. 2005. Вып. 6. 104 с.
90. EN 12697-20:2012. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 20: Indentation using cube or cylindrical specimens (CY). [Publication Date 2012-02-26]. Brussels : European Committee for Standardization, 2012. 22 p. (European standard).

91. Обзорная информация об отечественных и зарубежных методах предотвращения колееобразования на асфальтобетонных покрытиях в условиях современных транспортных нагрузок. Москва : Росавтодор, 2005. 130 с.
92. Каталог продукции компании «InfraTest» / Компания Би Эй Ви. Москва, 2015. 32 с.
93. Каталог продукции ООО «Спецдортехника» / ООО «Спецдортехника». Саратов, 2015. 64 с.
94. СОУ 45.02-00018112-020:2009. Будівельні матеріали. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій. [Чинний від 2009-03-01]. Київ : Укравтодор, 2009. 14 с. (Нормативний документ Укравтодору).
95. Harvey J. T., Hoover T. P., Coetzee N. F., Monismith C. L. Rutting Evaluation of Asphalt Pavements Using Full-Scale Accelerated Load and Laboratory Performance Tests. Materials of Federal Aviation Administration Airport Technology Transfer Conference (May, 2002). SW Washington : U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2002. 19 p.
96. Калёнова Е. В., Лугов С. В. Сравнительная оценка износа асфальтобетонных покрытий. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2014. № 2. С. 23–25.
97. Илюхин А. В., Марсов В. И., Колбасин А. М. Универсальный комплекс для испытаний дорожных покрытий. *Интернет-журнал «Науковедение»*. Москва, 2013. Вып. 6 (19). С. 101–114.
98. Герцог В. Н., Долгих Г. В., Кузин Н. В. Расчет дорожных одежд по критериям ровности. Часть 1. Обоснование норм ровности асфальтобетонных покрытий. *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 5 (57). С. 45–57.

99. Шуляк І. С., Павлюк Д. О. Спосіб оцінювання колієстійкості дорожніх конструкцій. *Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво*. Полтава, 2016. Вип. 2 (47). С. 246–257.
100. Шуляк І. С. Щодо удосконалення динамічного методу випробувань дорожніх конструкцій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2017. Вип. 98. С. 303–310.
101. Шуляк И. С. Оценка прочности дорожных конструкций при динамическом нагружении. *Автомобильные дороги и мосты*. 2017. Вып. 1 (19). С. 246–257.
102. Шуляк І. С., Павлюк Д. О., Шур'яков М. В., Гладун С. А. Обґрунтування формул для визначення модуля деформації як показника ущільнення ґрунтів земляного полотна. *Автошляховик України*. 2015. № 3. С. 41–43.
103. Leichtes Fallgewichtsgesetz ZFG-2000. Bedienungsanleitung. Gerhard Zorn Mechanische Werkstätten. Stendal, 2006. 21 s.
104. Спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій: пат. 111539 Україна: МПК G01N 3/30, E01C 23/01, G01N 29/04, G01M 5/00. № а 201413643; заявл. 19.12.14; опубл. 10.05.16, Бюл. № 9. 4 с.
105. ГОСТ Р54400-2011. Дороги автомобильные общего пользования. Асфальтобетон дорожный литой горячий. Методы испытаний. [Введен с 2011-09-14]. Москва : Стандартинформ, 2012. 14 с. (Национальный стандарт Российской Федерации).
106. Еремін А. В. Експлуатаційно-прочнісні властивості шлакових асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / ВГАСУ. Воронеж, 2000. 19 с.
107. Волокитин В. П. Определение деформационно-прочностных характеристик асфальтобетонных слоев нежестких дорожных одежд : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / ВГАСУ. Воронеж, 2004. 195 с.

108. Волокитина О. А. Совершенствование определения расчетных характеристик слоев дорожных одежд методом сферического штампа : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / ВГАСУ. Воронеж, 2012. 18 с.
109. Еремин В. Г., Волокитина О. А. Определение расчетных характеристик конструктивных слоев нежесткой дорожной одежды. *Вестник ВолгГАСУ. Сер. : стр-во и архит.* 2010. Вып. 17 (36). С. 61–65.
110. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 91 с.
111. МР В.2.3-02070915-848:2014. Методичні рекомендації зі встановлення параметрів розрахункового навантаження для проектування дорожніх одягів. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2014. 53 с. (Нормативний документ Укравтодору).
112. Пановко Я. Г. Введение в теорию механического удара. Москва : Наука, 1977. 224 с.
113. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. В 2-х кн. Кн. 1 / под ред. И. В. Крагельского и В. В. Алисина. Москва : Машиностроение, 1979. 358 с.
114. Зегжда С. А. Соударение упругих тел. СПб. : СПбГУ, 1997. 316 с.
115. Кильчевский Н. А. Теория соударения твёрдых тел. К. : Наукова думка, 1969. 245 с.
116. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М. : Мир, 1989. 510 с.
117. Лашков В. А., Матвеев С. К. Изменение шероховатости поверхности под воздействием облака твердых частиц. *Вестник Санкт-Петербургского университета.* СПб., 2009. Сер. 1. Вып. 1. С. 76–82.
118. Finnie I., Kabil Y.H. On the formation of surface ripples during erosion. *Wear. France : Elsevier Science Publishing Company*, 1965. Vol. 8. Issue 1. P. 60–69.

119. Алхимов А. П., Клинков С. В., Косарев В. Ф., Михатулин Д. С., Полежаев Ю. В. Гетерогенные технологии: проблемы взаимодействия частиц с преградой. *Теплофизика и аэромеханика*. Новосибирск, 2005. Т. 12. № 3. С. 415–431.
120. Максименко А. А., Котенева Н. В. Динамическая модель упругопластического контактного взаимодействия гладких тел. *Известия Томского политехнического университета*. Томск, 2007. Т. 310. № 2. С. 64–66.
121. Лашков В. А. Коэффициент восстановления скорости при ударе под углом. *Вестник Санкт-Петербургского университета*. СПб., 2010. Сер. 1. Вып. 2. С. 31–38.
122. Лушников П. А. Разработка экспресс-методов определения вязкоупругих свойств нежестких дорожных одежд с применением портативных приборов ударного действия : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / ВГАСУ. Воронеж, 2009. 142 с.
123. Мозговой В. В., Радовский Б. С. Определение напряжений в покрытии как вязкоупругом слое при колебаниях температуры. *Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд*. Киев, 2003. 240 с.
124. Витман Ф. Ф., Степанов В. А. Влияние скорости деформирования на сопротивление деформированию металлов при скоростях удара $10^2 - 10^3$ м/с. *Некоторые проблемы прочности твердого тела*. Москва, 1959. С. 207–221.
125. Витман Ф. Ф., Златин Н. А. О процессе соударения деформируемых тел и его моделировании. *Журнал технической физики*. Москва, 1963. Т. 33. № 8. С. 982–989.
126. Шуляк І. С. Обґрунтування параметрів випробувального обладнання для оцінювання колієстійкості дорожніх конструкцій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2017. Вип. 99. С. 67–76.

127. Шуляк І. С., Павлюк Д. О., Гаврищук В. В. Порівняння результатів вимірювання осідання штампу за методиками Австрії і Німеччини. *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах*: матеріали II міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 29–30.10.2013 р.). Вінниця, 2013. С. 54–56.
128. Шуляк І. С. Дослідження поведінки нежорстких дорожніх одягів при взаємодії зі штампом установки динамічного навантаження. *Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій*: матеріали всеукр. інтернет-конф. молодих учених і студентів (м. Полтава, 18.03.2015 р.). Полтава, 2015. С. 232–235.
129. Метрологія. Вузол вимірювання переміщень вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій. Програма і методика метрологічної атестації. Київ : НТУ, 2015. 8 с.
130. МКУ 463-23/01-2015/ Метрологія. Інтерферометри контактні. Методика калібрування. Вид. офіц. Київ : Укрметртестстандарт, 2015. 27 с. (Методичний документ з метрології).
131. Програма і методика приймальних випробувань. Дослідний зразок. Вимірювальна станція для штампових випробувань дорожніх конструкцій. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2015. 9 с. (Нормативний документ Укравтодору).
132. Шуляк І. С. Щодо необхідності уточнення розрахункових характеристик ґрунтів при обґрунтуванні проектних рішень по реконструкції і капітальному ремонті автомобільних доріг. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. Вип. 29. С. 493–503.
133. Павлюк Д. О., Лебедєв О. С., Павлюк В. В., Павлюк В. В., Рибіцький Л. Л. та ін. Універсальне дорожнє вимірювальне обладнання «УДВО-НТУ». *Автошляховик України*. 2011. № 1. С. 40–48.

134. Шуляк І. С., Литвиненко Т. В. Щодо доцільності застосування сферичного штампа при оцінюванні колієстійкості дорожніх конструкцій. Тези 69-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Том 1 (м. Полтава, 19.04.–19.05.2017 р.). Полтава, 2017. С. 71–72.
135. Le matériel LPC. Paris : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 1997. 132 p.
136. Farnell L. Road Measurement Data Acquisition System User's Guide. North Mymms, Hatfield (UK), 1996. 36 p.
137. Шуляк І. С., Павлюк Д. О., Павлюк В. В., Павлюк В. В., Лебедєв О. С., Іващенко А. П., Шур'яков М. В., Терещук В. П., Чаповський В. С., Клітченко Б. В. Результати наукової та дослідно-конструкторської роботи лабораторії автомобільних доріг та аеродромів Національного транспортного університету. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2015. Вип. 1 (31). С. 401–414.
138. Шуляк І. С. Контроль стійкості дорожніх одягів до колієутворення. *Контроль і управління в складних системах* : тези XII міжнар. конф. (м. Вінниця, 14–17.10.2014 р.). Вінниця, 2014. С. 73.
139. Шуляк І. С. Удосконалення способу оцінки колієстійкості нежорстких дорожніх одягів. *Сучасні геоінформаційні та комп'ютерно-інноваційні технології дорожньої галузі, аеродромного будівництва та землеустрою* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 26–27.05.2016 р.). Харків, 2016. С. 61–64.
140. СОУ 45.2-00018112-042:2009. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів. Київ : Укравтодор, 2009. 45 с. (Нормативний документ Укравтодору).
141. МР В.2.3-02070915-860:2015. Методичні рекомендації щодо проведення вимірювань з використанням вимірювальної станції для штампових

- випробувань дорожніх конструкцій «ВСШВДК-2-15». Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2015. 30 с. (Нормативний документ Укравтодору).
142. ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016. Настанова з улаштування земляного полотна автомобільних доріг. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. 105 с.
143. Р Г.1-02070915-845:2014. Рекомендації щодо удосконалення вітчизняної нормативної бази по оцінці якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу. Вид. офіц. Київ : Укравтодор, 2014. 79 с. (Нормативний документ Укравтодору).
144. Пристрій для вимірювання колійності дорожнього покриття: пат. 128144 Україна: МПК E01C 23/07. № u 201801526; заявл. 16.02.18; опубл. 10.09.18, Бюл. № 17. 4 с.
145. Шуляк І. С. Математична модель переміщень точок штампа при статичних випробуваннях. Тези LXXIV наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 16–18.05.2018 р.). Київ, 2018. С. 211.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

КАРТИ-СХЕМИ ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНОК

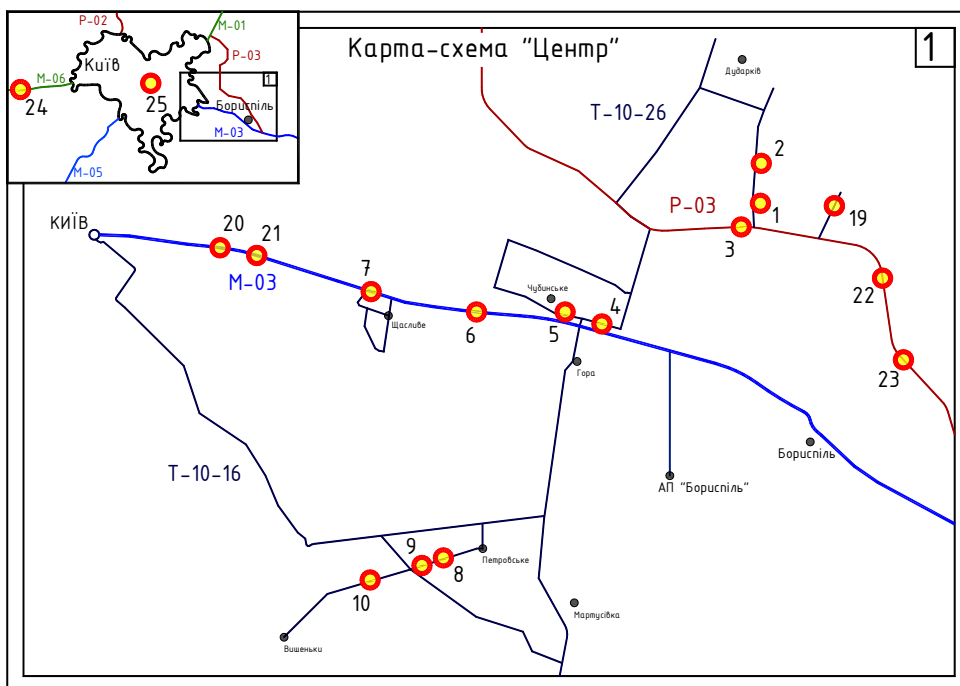


Рисунок А.1 – Центр

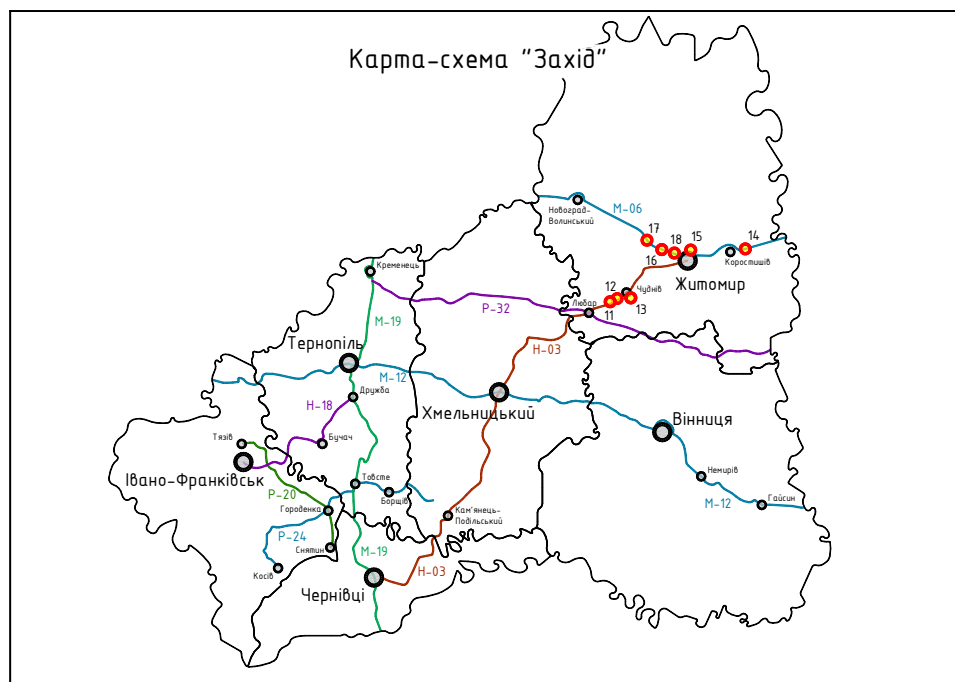


Рисунок А.2 – Захід

ДОДАТОК Б

ПЕРЕЛІК ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНОК

Таблиця Б.1 – Перелік та місцезнаходження дослідних ділянок

№ п/п	Назва дослідної ділянки	Назва автомобільної дороги	Код а/д	Місцезнаходження дослідної ділянки
1	2	3	4	5
1	«Д1»	Під'їзд до с. Дударків	—	—
2	«Д2»	Під'їзд до с. Дударків	—	—
3	«Д3»	Північно-східний обхід м. Києва	Р-03	км 13+000
4	«7 (Береза)»	Бровари – Требухів – Гора	Т-10-26	—
5	«8+»	Бровари – Требухів – Гора	Т-10-26	—
6	«10»	Київ – Харків – Довжанський	М-03	км 28+000
7	«11 (3'їзд)»	Київ – Харків – Довжанський	М-03	3'їзд а/д М-03
8	«П1»	Петровське – Вишеньки	—	—
9	«П2»	Петровське – Вишеньки	—	—
10	«П3»	Петровське – Вишеньки	—	—
11	«В1»	Житомир – Чернівці	Н-03	км 59+570
12	«В2»	Житомир – Чернівці	Н-03	км 59+550
13	«В3»	Під'їзд до а/д Н-03	—	—
14	—	Київ – Чоп (на Будапешт через Львів, Мукачеве, Ужгород)	М-06	км 102+000
15	—	Київ – Чоп (на Будапешт через Львів, Мукачеве, Ужгород)	М-06	км 141+000

Кінець табл. Б.1

1	2	3	4	5
16	—	Київ – Чоп (на Будапешт через Львів, Мукачеве, Ужгород)	М-06	км 153+000
17	—	Київ – Чоп (на Будапешт через Львів, Мукачеве, Ужгород)	М-06	км 167+000
18	—	Під'їзд до м. Житомир (Західний)	—	км 5+000
19	«К1»	Під'їзд до с. Лозівка	—	—
20	«І1»	Київ – Харків – Довжанський	М-03	км 19+000
21	«І2»	Київ – Харків – Довжанський	М-03	км 21+000
22	«І4»	Північно-східний обхід м. Києва	Р-03	—
23	«І6»	Північно-східний обхід м. Києва	Р-03	—
24	«І7»	Київ – Чоп (на Будапешт через Львів, Мукачеве, Ужгород)	М-06	км 38+000
25	«У1»	—	—	Двір Національного транспортного університету

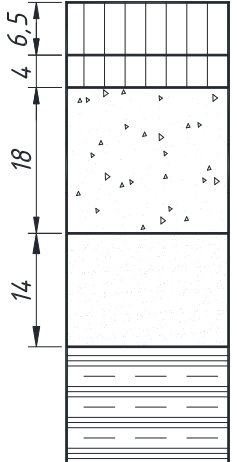
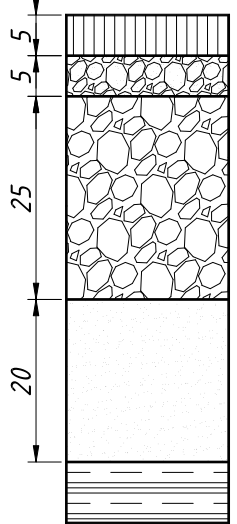
ДОДАТОК В

ХАРАКТЕРИСТИКА КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ НА ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНКАХ

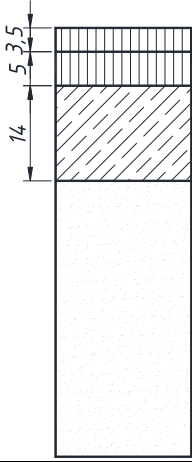
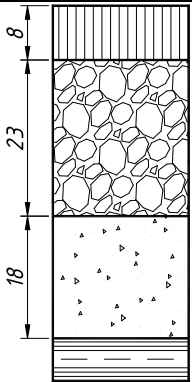
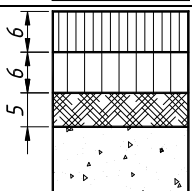
Таблиця В.1 – Характеристика конструкцій дорожніх одягів на дослідних ділянках

№ п/п	Назва автомобільної дороги та дослідної ділянки	Конструкція дорожнього одягу	Характеристика матеріалів шарів
1	2	3	4
1	Під'їзд до с. Дударків Точка «Д1»		1. Поверхнева обробка 2. Асфальтобетон. АСГ. Др. Щ. НП. І. БНД 90/130 3. Щебінь фр. 40-70 мм 4. Пісок 5. Суглинок
2	Під'їзд до с. Дударків Точка «Д2»		1. Поверхнева обробка 2. Асфальтобетон. АСГ. Др. Щ. НП. І. БНД 90/130 3. Щебінь фр. 40-70 мм 4. Пісок 5. Суглинок

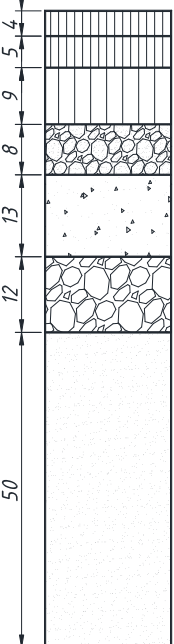
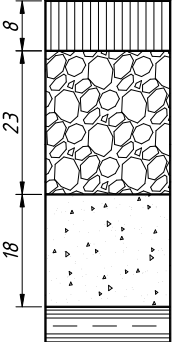
Продовження табл. В.1

1	2	3	4
3	Північно-східний обхід м. Києва Р-03 Точка «ДЗ»		1. Асфальтобетон. АСГ. Кр. Щ. НП. І. БНД 90/130 2. Асфальтобетон. АСГ. Кр. П. НП. І. БНД 60/90 3. Щебенево-піщана суміш (щебінь фр. 20-70) 4. Пісок 5. Суглинок
4	Бровари – Требухів – Гора Т-10-26 Точка «7» (Береза)		1. Асфальтобетон. АСГ. Др. Щ. НП. І. БНД 90/130 2. Щебінь, влаштований за способом просочення 3. Щебінь фр. 40-70 мм 4. Пісок 5. Суглинок ($h > 35$ см)

Продовження табл. В.1

1	2	3	4
5	Бровари – Требухів – Гора Т-10-26 Точка «8+» (Чубинське)		1. Асфальтобетон. АСГ. Др. Щ. НП. І. БНД 90/130 2. Асфальтобетон. АСГ. Др. Щ. НП. І. БНД 60/90 3. Цементобетон 4. Пісок ($h \approx 70$ см)
6	Петровське – Вишеньки Точка «П1»		1. Асфальтобетон. АСГ. Др. Щ. НП. І. БНД 90/130 2. Щебінь фр. 40-70 мм 3. Щебенево-піщана суміш 4. Суглинок
7	Петровське – Вишеньки Точка «П3»		1. Асфальтобетон. АСГ. Др. Щ. НП. І. БНД 90/130 2. Асфальтобетон. АСГ. Кр. Щ. НП. І. БНД 90/130 3. Шлакощебінь 4. Щебенево-піщана суміш

Кінець табл. В.1

1	2	3	4
8	Київ – Харків – Довжанський М-03 Точка «11» (З'їзд)		1. Асфальтобетон. АСГ. Др. Щ. НП. І. БНД 90/130 2. Асфальтобетон. АСГ. Др. Щ. НП. І. БНД 90/130 3. Асфальтобетон. АСГ. Кр. Щ. НП. І. БНД 60/90 4. Щебінь, влаштований за способом просочення 5. Щебенево-піщана суміш 6. Щебінь фр. 10-40 мм 7. Пісок
9	Петровське – Вишеньки Точка «П2»		1. Асфальтобетон. АСГ. Др. Щ. НП. І. БНД 90/130 2. Щебінь фр. 40-70 мм 3. Щебенево-піщана суміш 4. Суглинок

ДОДАТОК Г

АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ПРОЦЕСАМИ СТАНЦІЇ

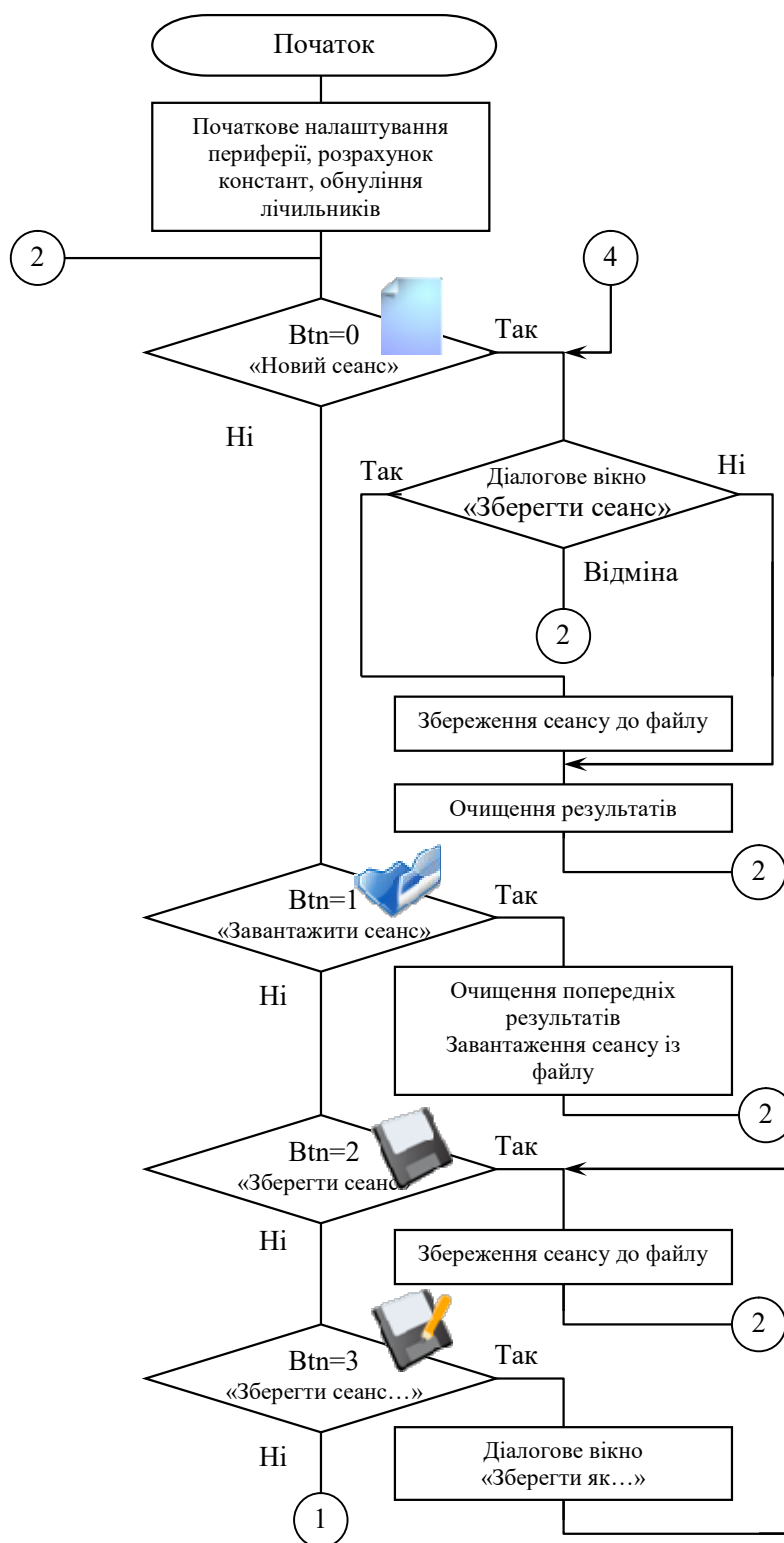


Рисунок Г.1 – Алгоритм роботи автоматизованої системи керування вимірювальними процесами станції

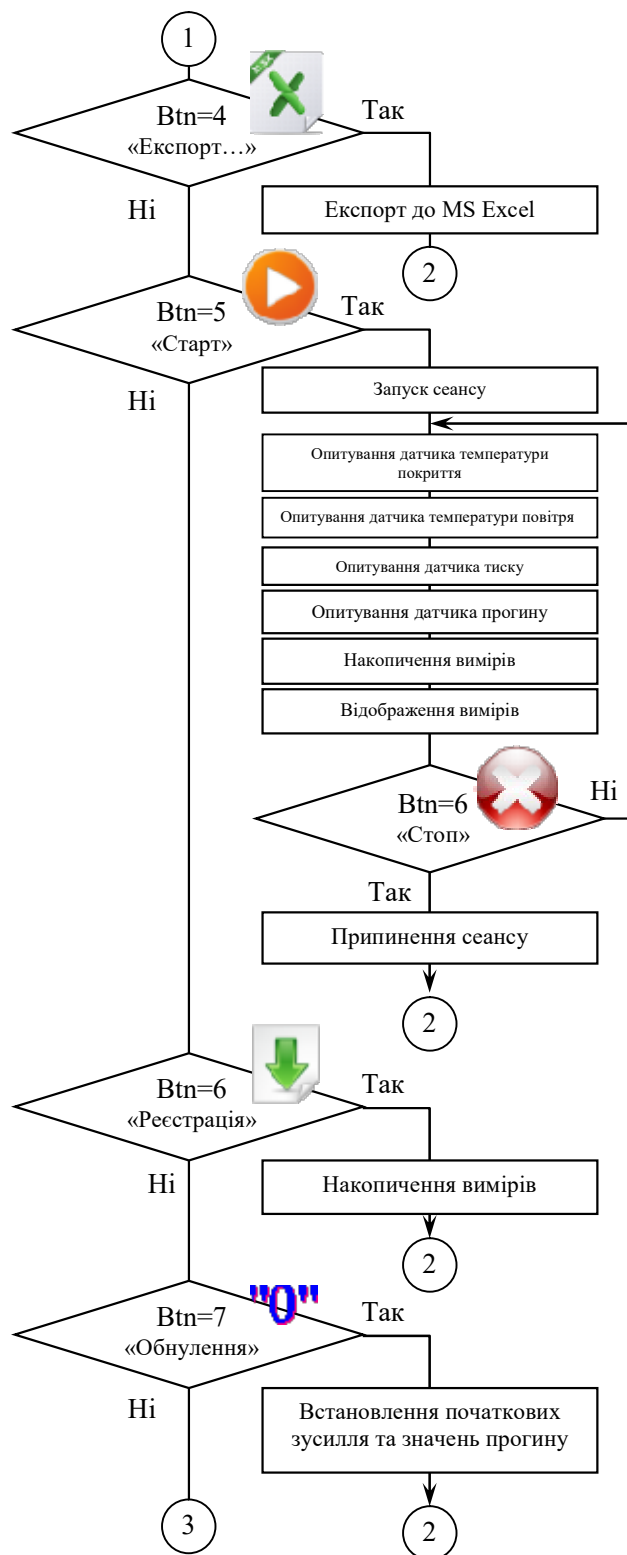


Рисунок Г.2 – Алгоритм роботи автоматизованої системи керування вимірювальними процесами станції (продовження)

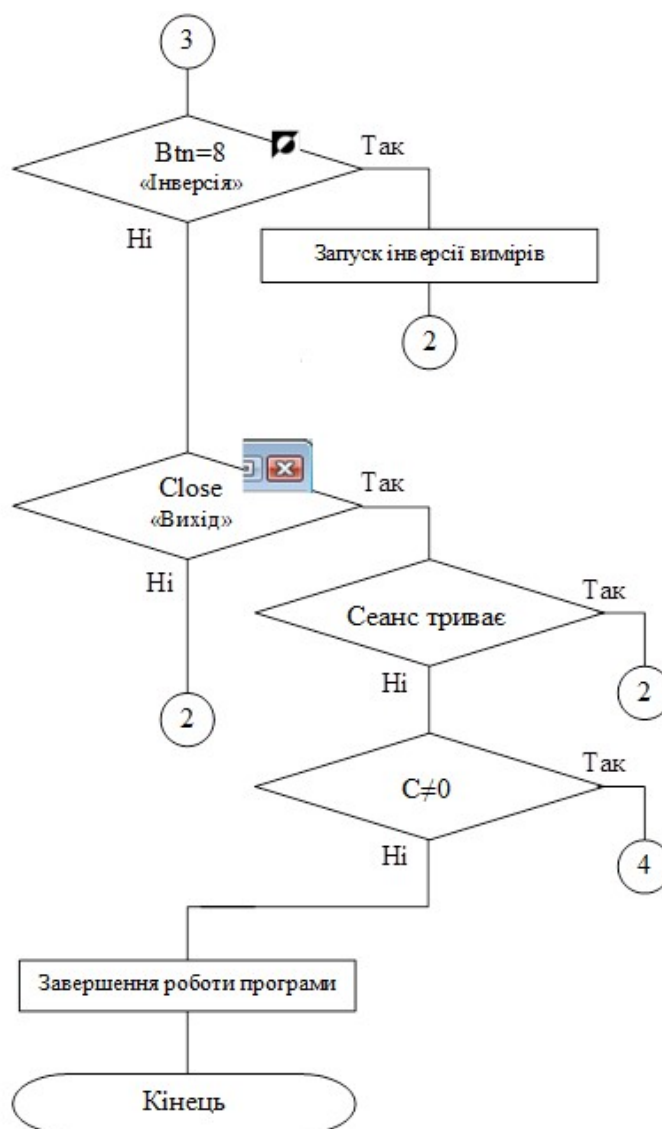


Рисунок Г.3 – Алгоритм роботи автоматизованої системи керування вимірювальними процесами станції (кінець)

ДОДАТОК Д

ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ



ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок аспіранта
Національного транспортного університету
Шуляка Івана Станіславовича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою Національного транспортного університету Шуляка були впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України при виконанні науково-дослідних робіт за темами: «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» (договір від 30.07.2012 № 100-12, № 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» (договір від 19.07.2013 № 41-13, № державної реєстрації 0113U004790); «Виконати дослідження та переглянути ВБН В.2.3-218-171-2002 «Спорудження земляного полотна автомобільних доріг» (договір від 03.04.2014 № 78-14, № державної реєстрації 0114U004051) та «Удосконалити експериментальний зразок вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій, розробити конструкторську документацію на прилад та методичні рекомендації щодо проведення вимірювань з його використанням» (договір від 29.08.2014 № 93-14, № державної реєстрації 0114U006209).

За результатами вищезазначених наукових робіт були розроблені:

- Р Г.1-02070915-845:2014 «Рекомендації щодо удосконалення вітчизняної нормативної бази по оцінці якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу», в яких розробки аспіранта Шуляка І.С. знайшли відображення в розділі 4.7 «Методика статичних штампових випробувань за ВБН В.2.3-218-186» та в Додатку Ж «Методика статичних штампових випробувань за ВБН В.2.3-218-186»;

- пропозицій по удосконаленню нормативно-технічної бази щодо оцінки і прогнозування транспортно-експлуатаційних показників та проектування дорожніх одягів, в яких розробки аспіранта Шуляка І.С.

знайшли відображення в розділі 1.3 «Обґрунтування пропозицій по удосконаленню нормативно-технічної бази щодо оцінки і прогнозування показників деформативності дорожніх одягів» та додатку Г «Пропозиції щодо прогнозування зміни показників деформативності дорожніх одягів»;

- ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016 «Настанова з улаштування земляного полотна автомобільних доріг», в якій розробки аспіранта Шуляка І.С. знайшли відображення в розділі 12 «Виробничий контроль якості. Приймання земляного полотна» та додатку Л «Штампові випробування при контролі ущільнення ґрунтів земляного полотна»;

- випробувальне обладнання для штампових випробувань дорожніх конструкцій та МР В.2.3-02070915-860:2015 «Методичні рекомендації щодо проведення вимірювань з використанням вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій «ВСШВДК-2-15», – безпосередня участь на всіх етапах дослідно-конструкторської частини договору, а також підготовка розділу 5 «Приведення станції в робочий стан», розділу 6 «Проведення вимірювань» та розділі 7 «Оброблення та оформлення результатів вимірювань» методичних рекомендацій.

Директор Департаменту розвитку
мережі доріг Укравтодору



Сергій Цепелев

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ



ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО –
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ
З ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРДІПРОДОР



03680, м. Київ, Повітрофлотський пр-кт, 39/1
тел./факс: (044) 249-84-83
e-mail: okt@diprodor.com

“ 22 ” 02 2014 р.

№ 130-11

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок
аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою
Національного транспортного університету
Шуляка Івана Станіславовича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою Національного транспортного університету Шуляка Івана Станіславовича були впроваджені в Українському державному інституті з проектування об'єктів дорожнього господарства «Укрдіпродор» при виконанні робіт з обстеження та збору даних по визначенню міцності дорожнього покриття проїзної частини автомобільних доріг державного значення М-06 Київ – Чоп км 707+500 – км 757+500, М-08 Об'їзна Ужгорода – КПП” Ужгород” км 2+000 – км 7+000, М-25 КПП” Соломоново” – В. Добронь – Яноші км 4+000 – 44+000, М-24 Мукачево – Берегово- КПП” Лужанка” км 0+000 – км 5+000, М-23 Берегово – Виноградово – В. Копаня км 3+000 - км 23+000, Н-09 Мукачево – Рахів – Богородчани – Івано-Франківськ - Львів км 4+000 – км 154+000, Н-13 Львів – Самбір – Ужгород км 156+203 - км 196+ 203, Н-21 Долина – Хуст км 48+000 - км 68+000.

Використання розробленого аспірантом Шуляком І.С. способу визначення модуля пружності дає змогу підвищити достовірність та продуктивність установок динамічного навантаження дорожніх одягів.

Довідку складено для подання в спеціалізовану вчену раду по захисту дисертацій.

Директор

Рибіцький Л.Л.
044-249-85-16



С.А. Гладун



Комунальне підприємство «Шляхово-експлуатаційне управління по ремонту та утриманню автошляхів та споруд на них Шевченківського району м.Києва»

Україна, 03150, м. Київ, вул. Ямська, 59 тел. (044) 529-40-30, факс (044) 528-75-19

23.09.2016 № 1104

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок
аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою
Національного транспортного університету
Шуляка Івана Станіславовича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою Національного транспортного університету Шуляка Івана Станіславовича було впроваджено в КП ШЕУ Шевченківського району при обстеженні покриття і аналізі руйнувань на вул. Овруцькій м. Києва.

Начальник КП ШЕУ
Шевченківського району
Головний інженер
Начальник шляхово-ремонтної ділянки



О.Б. Овсієнко

В. І. Листопадський
П. А. Григулець



**Приватне підприємство
«ВИТЯЗЬ»**

Україна, Київська область, Бориспільський район, с. Чубинське, вул. Шевцової, буд. 1
тел. +38 (067) 520 39 29 e-mail: morozn78@ukr.net

27.10.2016 № 76/03

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок
аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою
Національного транспортного університету
Шуляка Івана Станіславовича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи
аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою
Національного транспортного університету Шуляка Івана Станіславовича
знайшли практичне застосування при виконанні випробувань шарів
конструкцій одягу офісно-складського приміщення ТОВ «Сань-Сунь»,
с. Щасливе».

Директор



М.П. Мороз



визх. №20-25/04
виг 25.04.17.

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок
аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою
Національного транспортного університету
Шуляка Івана Станіславовича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи
аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою Національного
транспортного університету Шуляка Івана Станіславовича були впроваджені
в ТОВ «Ежіс-Україна» при виконанні робіт по визначенню деформаційних
характеристик дорожніх конструкцій на ділянках км 41+311 – км 45+000, км
170+500 – км 185+000 автомобільної дороги державного значення М-03.

Довідку складено для подання в спеціалізовану вчену раду по захисту
дисертацій.

Заступник директора

Русин Р.М.



ТОВ «Ежіс Україна»

Адреса: вул. Пушкінська 45/2, офіс 14, м. Київ, Україна, 01004
Тел.: +380 44 234 02 51, +980 44 246 64 48 – Факс: +380 44 230 23 87
www.egis-ukraine.com.ua – e-mail: info@egis-ukraine.com
Код ЄДРПОУ № 22916873 ; індивідуальний податковий номер 229168726595



004359



УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул.Суворова, 1, м. Київ, 01010 т.ф. +38 (044) 280 82 03, т. +38 (044) 280 87 65
 e-mail: general@ntu.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070915

13.02.2017 № 313/08-05

на № _____

ДОВІДКА

про впровадження наукових розробок
 аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою
 Національного транспортного університету
 Шуляка Івана Станіславовича

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи за темою «Удосконалення методів оцінювання та прогнозування деформацій дорожніх конструкцій» аспіранта кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою Національного транспортного університету Шуляка Івана Станіславовича впроваджено у навчальний процес, а саме: при викладанні дисципліни «Діагностика доріг і проектування капітального ремонту та реконструкції доріг» для студентів напряму підготовки 6.060.101 «Будівництво», спеціальності 7.06010105; 8.06010105 «Автомобільні дороги і аеродроми».

Проректор з навчальної роботи,

канд. техн. наук, проф.



О.К. Гришук

Завідувач кафедри проектування

доріг, геодезії та землеустрою,

докт. техн. наук, проф.

Д.О. Павлюк



(11) 111539

(19) UA

(51) МПК (2016.01)
 G01N 3/30 (2006.01)
 E01C 23/01 (2006.01)
 G01N 29/04 (2006.01)
 G01M 5/00

(21) Номер заявки: а 2014 13643
 (22) Дата подання заявки: 19.12.2014
 (24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.05.2016
 (41) Дата публікації відомостей про заявку та номер бюлетеня: 10.07.2015, Бюл. № 13
 (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.05.2016, Бюл. № 9

(72) Винахідники:
 Павлюк Дмитро
 Олександрович, UA,
 Лебедєв Олександр
 Сергійович, UA,
 Шур'яков Максим
 Валерійович, UA,
 Шуляк Іван Станіславович,
 UA,
 Тищенко-Тишковець
 Людмила Костянтинівна, UA

(73) Власник:
 НАЦІОНАЛЬНИЙ
 ТРАНСПОРТНИЙ
 УНІВЕРСИТЕТ,
 вул. Суворова, 1, м. Київ,
 01010, UA

(54) Назва винаходу:

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

(57) Формула винаходу:

Спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій, який полягає в тому, що за допомогою ударника проводять динамічне навантаження поверхні дорожнього одягу, за допомогою вимірювальної системи реєструють кінематичну характеристику системи "ударник-дорожній одяг", за якою обчислюють фактичний модуль пружності, який відрізняється тим, що як кінематичну характеристику системи "ударник-дорожній одяг" використовують тривалість удару, фактичний модуль пружності розраховують за формулою:

$$E = \frac{4\pi m(1-\mu^2)}{\tau^2 D}, (3)$$

де m - маса ударника, кг;
 μ - коефіцієнт Пуассона;
 τ - тривалість удару, с;
 D - діаметр штамп, м.



(11) 111539

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.

10.05.2016

Уповноважена особа



(підпис)

Сторінка 4 із 4



ЗГІДНО
ОРИГІНАЛОМ



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **111539** (13) **C2**

(51) МПК (2016.01)

G01N 3/30 (2006.01)**E01C 23/01** (2006.01)**G01N 29/04** (2006.01)**G01M 5/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2014 13643

(22) Дата подання заявки: 19.12.2014

(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.05.2016

(41) Публікація відомостей про заявку: 10.07.2015, Бюл.№ 13

(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.05.2016, Бюл.№ 9

(72) Винахідник(и):

Павлюк Дмитро Олександрович (UA),
Лебедєв Олександр Сергійович (UA),
Шур'яков Максим Валерійович (UA),
Шуляк Іван Станіславович (UA),
Тищенко-Тишковець Людмила
Костянтинівна (UA)

(73) Власник(и):

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010 (UA)

(74) Представник:

Краснокутська Зоя Ігорівна

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:

US 2005103120 A1, 19.05.2005
EA 011414 B1, 27.02.2006
UA 75797 C2, 15.05.2006
UA 87864 C2, 25.08.2009
TW 2010035546 A, 01.10.2010
SU 1068768 A, 23.01.1984
JPH 03180757 A, 06.08.1991
SU 1788122 A1, 15.01.1993
RU 2052791 C1, 20.01.1996
RU 137021 U1, 05.10.2000

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

(57) Реферат:

Спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій полягає в тому, що за допомогою ударника проводять динамічне навантаження поверхні дорожнього одягу, за допомогою вимірювальної системи реєструють кінематичну характеристику системи "ударник-дорожній одяг", за якою обчислюють фактичний модуль пружності, при цьому як кінематичну характеристику системи "ударник-дорожній одяг" використовують тривалість удару. Технічний результат - спрощення визначення осідання дорожньої конструкції.

UA 111539 C2

UA 111539 C2

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

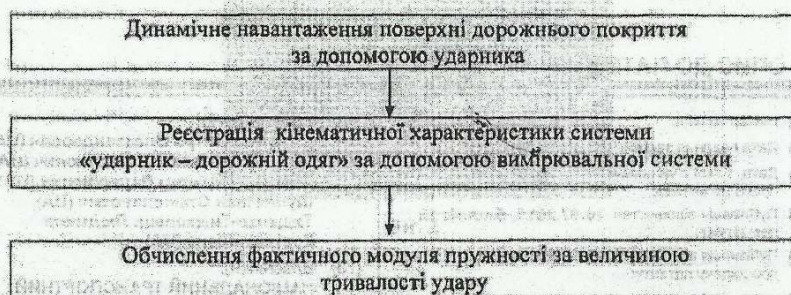


Fig.1

UA 111539 C2

Винахід належить до галузі будівництва та експлуатації автомобільних доріг, а саме до методів та способів діагностики стану дорожніх конструкцій.

Відомі способи визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій [1, 2, 3], що реалізують динамічний метод випробування. Суть способу полягає у вимірюванні максимального осідання штампа, на який діє короткочасне динамічне навантаження. За величиною максимального осідання штампа оцінюють деформативні характеристики ґрунту чи основи.

В установці "Дина-3М" [4, 5] прикладають навантаження до дорожньої конструкції і одночасно реєструють величину динамічного прогину покриття. Обробку результатів вимірювання здійснюють на основі кореляційної залежності між динамічним і статичним прогином покриття під дією розрахункового навантаження.

Фактичні значення модулів пружності дорожнього одягу (у МПа) визначаються за формулою [4]:

$$E_{\phi} = \frac{K_q p D (1 - \mu^2)}{I}, \quad (1)$$

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 - тиск на покриття, ($p = 0,6$ МПа);

D - діаметр штампа, ($D = 0,33$ м);

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

I - прогин покриття, м.

Головним недоліком установки "Дина-3М" є необхідність в установці реперної балки, що призводить до додаткових витрат сил та часу оператора. Під час вимірювань оператору необхідно виходити з автомобіля, а це підвищує небезпеку під час вимірювань. Показання прогину покриття від створеного навантаження необхідно записувати вручну, що створює додаткові незручності, особливо при несприятливих погодних умовах. Механізм опускання - піднімання рухомого штампа має складну конструкцію і часто виходить з ладу.

За найближчий аналог винаходу прийнято спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій за допомогою пристрою "ZFG-2000" (Німеччина) [3]. Проводять динамічне навантаження поверхні дорожнього одягу, реєструють сигнал від обладнання, отримують середнє значення осідання дорожньої конструкції, розраховують динамічний модуль деформації за формулою:

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma_{\max}}{S_{\max}}, \quad (2)$$

де r - радіус штампа;

$S_{\max}$ - середнє з осідань $S_{4\max}$, $S_{5\max}$, $S_{6\max}$ штампа при трьох ударах;

$\sigma_{\max}$ - нормальне напруження під штампом ($\sigma_{\max} = 0,1$ МН/м²).

Недоліком найближчого аналога є складність визначення осідання дорожньої конструкції. Реєстрація сигналу відбувається датчиком прискорення. Обробка сигналу прискорення для отримання осідання дорожньої конструкції вимагає подвійного інтегрування, а цей процес є досить складним та призводить до значної похибки.

Задача винаходу - удосконалення способу визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій шляхом спрощення вимірювальних операцій і зменшення похибки вимірювань.

Поставлена задача вирішується за рахунок введення в процес визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій замість операцій подвійного інтегрування, отримання середнього значення осідання, розрахунку динамічного модуля пружності на основі осідання, наступної операції: розраховують фактичний модуль пружності на основі тривалості удару.

На фіг. 1 показано схему способу визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій, а на фіг. 2 подано графік визначення тривалості удару як різниці між абсцисами ліній А і В.

Спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій полягає в наступному.

UA 111539 C2

За допомогою ударника проводять динамічне навантаження поверхні дорожнього одягу, за допомогою вимірювальної системи реєструють кінематичну характеристику системи "ударник-дорожній одяг" (тривалість удару), фактичний модуль пружності розраховують за формулою:

$$E = \frac{4\pi m(1-\mu^2)}{\tau^2 D}, \quad (3)$$

- 5 де m - маса ударника, кг;
 μ - коефіцієнт Пуассона;
 τ - тривалість удару, с;
 D - діаметр штампа, м.

- 10 Формулу (3) отримано з розв'язку диференційного рівняння руху ударника при взаємодії його з дорожньою конструкцією. За другим законом Ньютона:

$$m \frac{d^2 l}{dt^2} = -P, \quad (4)$$

- 15 де m - маса ударника, кг;
 l - осідання дорожньої конструкції, м;
 t - час, с;
 P - сила реакції, що дорівнює силі тиску:

$$P = \frac{\pi E D l}{4 \xi}, \quad (5)$$

З огляду на (4) матимемо лінійне однорідне диференційне рівняння другого порядку

$$\frac{d^2 l}{dt^2} + k^2 l = 0, \quad (6)$$

де

$$20 \quad k = \sqrt{\frac{A}{m}}, \quad A = \frac{\pi E D}{4 \xi}, \quad (7)$$

з такими початковими умовами:

$$t = 0; \quad l = 0; \quad \frac{dl}{dt} = V_0, \quad (8)$$

де V_0 - початкова швидкість ударника перед дотиканням до покриття, м/с.

Розв'язком рівняння (6) є функція

$$25 \quad l = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt, \quad (9)$$

З урахуванням того, що швидкість є похідна осідання по часу, та початкових умов (8) для швидкості ударника матимемо вираз:

$$V = V_0 \cos kt. \quad (10)$$

Максимальний прогин покриття буде мати місце при повній зупинці ударника $V=0$.

- 30 Прирівнюючи вираз (10) до нуля, знайдемо момент часу, коли це трапляється:

$$T = \frac{\pi}{2k}. \quad (11)$$

Якщо виміряти час τ удару, який буде в два рази більший, ніж час, визначений за формулою (11):

$$\tau = \frac{\pi}{k}, \quad (12)$$

- 35 то можна підрахувати величину параметра k :

$$k = \frac{\pi}{\tau}. \quad (13)$$

З урахуванням виразів (7) матимемо кінцевий вираз (3) для визначення E .

- 40 Запропонований спосіб розв'язує поставлену задачу, а саме забезпечує визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій за рахунок заміни в процесі їх визначення операцій визначення осідання дорожньої конструкції і на його основі розрахунку динамічного модуля пружності новими операціями визначення тривалості удару ударника та на його основі розрахунку фактичного модуля пружності.

Джерела інформації:

UA 111539 C2

1. Висоцький В.П., Нагайчук В.М., Поспішний В.О. Нові інструментальні методи контролю ущільнення земляного полотна та шарів дорожнього одягу // Автошляховик України. - № 4, 2008. - С. 33-36.
2. Technische PrüfVorschriften für Boden und Fels im Straßenbau TP BF-StB Teil B 8.3.
- 5 Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgerät. - Köln: Forschungsgesellschaft für Strassen-und Verkehrswesen. Arbeitsgruppe Erd-und Grundbau, 2003. - 75 s.
3. Leichtes Fallgewichtsgerät ZFG-2000. Bedienungsanleitung. Gerhard Zorn Mechanische Werkstätten. Stendal, 2006. - 21 s.
4. ВБН В.2.3-218-186 - 2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. - К.: Державна служба автомобільних доріг України "Укравтодор", 2004. - 145 с.
- 10 5. Каталог продукции компании "РОСДОРТЕХ". - Саратов, 2011. - 89 с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- 15 Спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій, який полягає в тому, що за допомогою ударника проводять динамічне навантаження поверхні дорожнього одягу, за допомогою вимірювальної системи реєструють кінематичну характеристику системи "ударник-дорожній одяг", за якою обчислюють фактичний модуль пружності, який відрізняється тим, що як кінематичну характеристику системи "ударник-дорожній одяг" використовують тривалість
- 20 удару, фактичний модуль пружності розраховують за формулою:

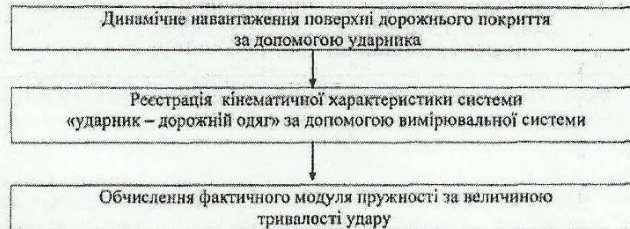
$$E = \frac{4\pi m(1-\mu^2)}{\tau^2 D}, \quad (3)$$

де m - маса ударника, кг;

μ - коефіцієнт Пуассона;

τ - тривалість удару, с;

- 25 D - діаметр штамп, м.

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Фіг.1

UA 111539 C2

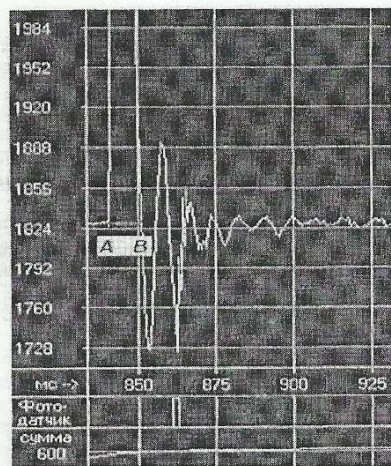


Fig.2

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



(11) 109061

(19) UA

(51) МПК
E01C 23/07 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2016 01295

(22) Дата подання заявки: 15.02.2016

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: 10.08.2016(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: 10.08.2016,
Бюл. № 15

(72) Винахідники:

Павлюк Дмитро
Олександрович, UA,
Павлюк Володимир
Васильович, UA,
Лебедев Олександр
Сергійович, UA,
Шуляк Іван Станіславович,
UA,
Гладун Сергій Анатолійович,
UA

(73) Власник:

НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Суворова, 1, м. Київ-10,
01010, UA

(54) Назва корисної моделі:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ШТАМПОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ І ЇХ ШАРІВ

(57) Формула корисної моделі:

Пристрій для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів, що містить гідравлічний циліндр, вузол створення тиску оливи в гідравлічному циліндрі, жорсткий штамп, прогиномір, який відрізняється тим, що пристрій додатково обладнаний важільно-утримуючим механізмом та насосною станцією, яка включає в себе гідравлічний насос і двигун.



(11) 109061

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
10.08.2016



Уповноважена особа

(підпис)



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **109061**

(13) **U**

(51) МПК

E01C 23/07 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2016 01295**

(22) Дата подання заявки: **15.02.2016**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.08.2016**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.08.2016, Бюл.№ 15**

(72) Винахідник(и):

Павлюк Дмитро Олександрович (UA),
Павлюк Володимир Васильович (UA),
Лебедев Олександр Сергійович (UA),
Шуляк Іван Станіславович (UA),
Гладун Сергій Анатолійович (UA)

(73) Власник(и):

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Суворова, 1, м. Київ-10, 01010 (UA)

(74) Представник:

Краснокутська Зоя Ігорівна

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ШТАМПОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ І ЇХ ШАРІВ

(57) Реферат:

Пристрій для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів містить гідравлічний циліндр, вузол створення тиску оливи в гідравлічному циліндрі, жорсткий штамп, прогиномір. Пристрій додатково обладнаний важільно-утримуючим механізмом та насосною станцією, яка включає в себе гідравлічний насос і двигун.

UA 109061 U

UA 109061 U

Корисна модель належить до галузі будівництва і експлуатації автомобільних доріг, а також до галузі будівництва основ, фундаментів та земляних споруд, а саме до пристроїв, які реалізують статичні штампові випробування дорожніх конструкцій і їх шарів.

Відомий пересувний дорожній прес ХАДІ [1, с. 75], призначений для вимірювання осідання нежорстких дорожніх одягів, їх шарів і ґрунту при статичному навантаженні через жорсткий штамп. Навантаження прикладають до штамп через гідравлічний домкрат, упором для якого є завантажений автомобіль. В міру підймання рейки домкрата вгору, вага навантаженого автомобіля передається через домкрат і месдозу на штамп. Осідання штамп реєструють двома індикаторами годинникового типу, які кріплять за допомогою утримуючих механізмів на реперній балці, встановленій на опорах поряд зі штампом.

Недоліками пересувного дорожнього преса ХАДІ є низька продуктивність випробувань, обумовлена необхідністю використання ручної праці оператора при створенні навантаження на штамп за допомогою ручного гідравлічного домкрата, при перенесенні елементів преса з одного місця випробувань на інше і при їх монтажі.

За найближчий аналог корисної моделі прийнято установку для штампових випробувань дорожнього одягу [2, с. 129, 3], що включає в себе гідравлічний циліндр, вузол створення тиску оливи в гідравлічному циліндрі, жорсткий штамп, прогиномір. Навантаження на поверхню конструкції, що випробується, передають через круглий жорсткий штамп і домкрат, що впирається в раму навантаженого автомобіля. Величину навантаження на штамп вимірюють за допомогою механічного динамометра чи манометра.

Вертикальне переміщення штамп фіксують прогиноміром важільного типу, вимірювальний стрижень якого встановлюють в центрі штамп. Домкрат встановлюють на штамп. Вертикальне переміщення штамп можна також заміряти двома індикаторами годинникового типу, встановленими вздовж діаметра штамп на рівних відстанях від його центру. В цьому випадку розрахункове переміщення приймають рівним півсумі відліків за цими індикаторами.

Недоліками цієї установки є низька продуктивність випробувань, обумовлена необхідністю використання ручної праці оператора при створенні навантаження на штамп за допомогою ручного гідравлічного домкрата, при переносці елементів установки з одного місця випробувань на інше і при їх монтажі.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення продуктивності статичних штампових випробувань за рахунок усунення ручної праці оператора при створенні статичного навантаження на штамп, при переносці елементів обладнання з одного місця випробувань на інше і при їх монтажі.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів містить гідравлічний циліндр, вузол створення тиску оливи в гідравлічному циліндрі, жорсткий штамп, прогиномір. Пристрій додатково обладнаний важільно-утримуючим механізмом та насосною станцією, яка включає в себе гідравлічний насос і двигун.

Суть корисної моделі пояснює фото, на якому наведено запропонований пристрій, де: 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.

Запропонований пристрій функціонує наступним чином.

Базовий автомобіль 7, на якому змонтовано пристрій для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів, встановлюють передньою частиною до засобу навантаження 8 на відстані до 2 м. Насосну станцію 1 під'єднують до бортової мережі автомобіля. Шляхом розблокування кронштейна кріплення 9 розгортають важільно-утримуючий механізм 5 з транспортного положення в робоче. Штамп з гідроциліндром 4 встановлюють в точку вимірювання, використовуючи захват 10 важільно-утримуючого механізму 5.

На дорожнє покриття через жорсткий штамп з гідроциліндром 4 прикладають зусилля, яке створюють тиском оливи в гідроциліндрі за допомогою насосної станції 1, яка включає в себе гідравлічний насос 2 і двигун 3, що приводить в дію гідравлічний насос 2. Осідання штамп реєструють прогиноміром 6.

Запропонований пристрій розв'язує поставлену задачу - підвищення продуктивності статичних штампових випробувань за рахунок усунення ручної праці оператора при створенні статичного навантаження на штамп, при переносці елементів обладнання з одного місця випробувань на інше і при їх монтажі.

Джерела інформації:

1. Бируля А.К. Работоспособность дорожных одежд / А.К. Бируля, С.И. Михович. - М.: Транспорт, 1968. - 172 с.

UA 109061 U

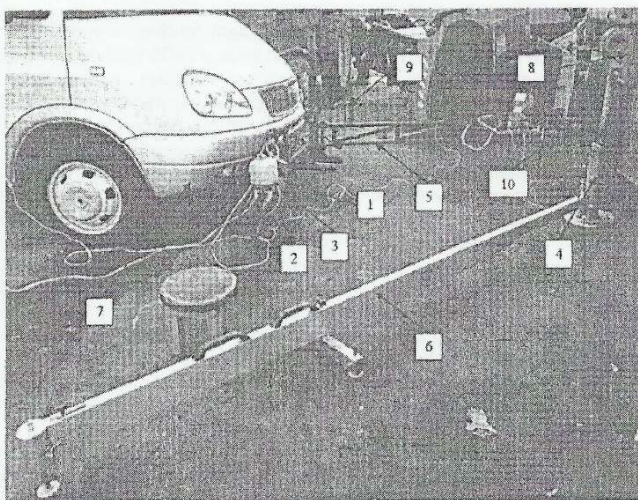
2. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004. - [Чинний від 2005-01-01]. - К.: Укравтодор, 2004. - 176 с.

3. Прибор для определения несущей способности грунтов 100 кН [Електронний ресурс] // Компания Би Эй Ви. - 2016. - Режим доступа до ресурсу: <http://www.bavcompany.ru/sale/catalogue/lab-infratest/ocenka-modulya-uprugosti/staticheskij-pribor-10-2350-100-kn>.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

10 Пристрій для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів, що містить гідравлічний циліндр, вузол створення тиску оливи в гідравлічному циліндрі, жорсткий штамп, прогиномір, який відрізняється тим, що пристрій додатково обладнаний важільно-утримуючим механізмом та насосною станцією, яка включає в себе гідравлічний насос і двигун.

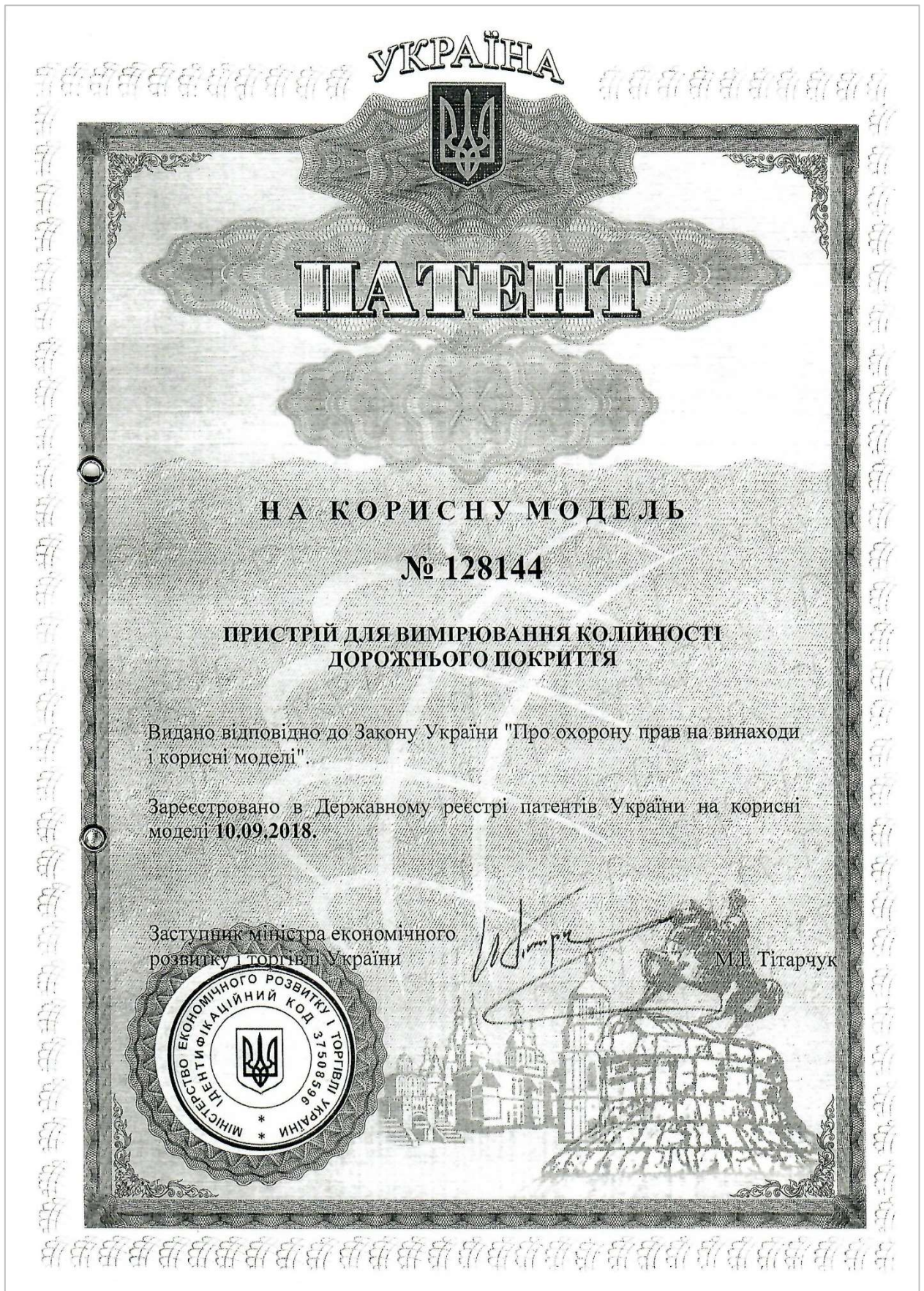
15



Комп'ютерна верстка В. Мацело

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



(11) **128144**(19) **UA**(51) МПК
E01C 23/07 (2006.01)(21) Номер заявки: **u 2018 01526**(22) Дата подання заявки: **16.02.2018**(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: **10.09.2018**(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: **10.09.2018,
Бюл. № 17**(72) Винахідники:
**Павлюк Дмитро
Олександрович, UA,
Павлюк Володимир
Васильович, UA,
Тищенко-Тишковець
Людмила Костянтинівна, UA,
Шуляк Іван Станіславович,
UA,
Севрюк Борис Миколайович,
UA**(73) Власник:
**НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Омеляновича-Павленка,
1, м. Київ-10, 01010, UA**

(54) Назва корисної моделі:

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЛІЙНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

(57) Формула корисної моделі:

Пристрій для вимірювання колійності дорожнього покриття, що включає базову жорстку балку на регульованих опорах, рухому каретку, на якій встановлено датчик відстані та комп'ютер, який відрізняється тим, що як датчик відстані використовується лазерний датчик, а комп'ютер встановлено на каретці.

(11) **128144**

Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Оригіналом цього документа є електронний документ з відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 1317070918.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>.
2. Виконати пошук за номером заявки.
3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з реєстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

Ідентичний за документарною інформацією та реквізитами паперовий примірник цього документа містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Уповноважена особа Укрпатенту



І.Є. Матусевич

10.09.2018



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **128144** (13) **U**
(51) МПК
E01C 23/07 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2018 01526	(72) Винахідник(и): Павлюк Дмитро Олександрович (UA), Павлюк Володимир Васильович (UA), Тищенко-Тишковець Людмила Костянтинівна (UA), Шуляк Іван Станіславович (UA), Севрюк Борис Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки: 16.02.2018	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ-10, 01010 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.09.2018	(74) Представник: Краснокутська Зоя Ігорівна
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.09.2018, Бюл.№ 17	

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЛІЙНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

(57) Реферат:

Пристрій для вимірювання колійності дорожнього покриття, що включає базову жорстку балку на регульованих опорах, рухому каретку, на якій встановлено датчик відстані та комп'ютер, крім того як датчик відстані використовується лазерний датчик, а комп'ютер встановлено на каретці.

UA 128144 U

UA 128144 U

Корисна модель належить до області будівництва і експлуатації автомобільних доріг, а саме до пристроїв з оцінки стану автомобільних доріг. Відомий пристрій для вимірювання колійності дорожнього покриття [1], що включає прямолінійну балку, встановлену на регульованих опорах та лазерний далекомір Leica, який переміщується оператором вздовж балки. Дані автоматично записуються в таблицю Excel через Bluetooth-з'єднання з комп'ютером у вигляді ординат поперечного профілю. Один такий поперечний профіль може містити до 27 вимірювань, причому на кожне необхідно приблизно 4 секунди.

Недоліком пристрою є трудомісткість вимірювань за рахунок ручного переміщення далекоміра та значними витратами часу на вимірювання.

Відомий також пристрій "MLS profiler" [1], що включає прямолінійну балку, встановлену на регульованих опорах та каретку з вимірювальним колесом, яка пересувається оператором вздовж балки. Вимірювання зміни в висоті по відношенню до базової площини для кожної горизонтальної координати здійснюється за допомогою лінійного змінного диференційного трансформатора. Система підключається до комп'ютера, який зберігає виміряні координати поперечного профілю.

Недоліком пристрою є трудомісткість вимірювань за рахунок ручного переміщення каретки з вимірювальним колесом. Автономність роботи пристрою "MLS profiler" залежить від комп'ютера, і тому він має обмеження у використанні.

За найближчий аналог корисної моделі прийнято пристрій "Transverse Profile Beam" [1,2] (Балка для визначення поперечного профілю), розроблений компанією ROMDAS у Новій Зеландії. Пристрій включає базову жорстку балку на регульованих опорах і рухому каретку, на якій встановлено датчик відстані та комп'ютер. Каретка рухає колесо поперек покриття, а її датчики фіксують коливання колеса по вертикалі з точністю 0,2 мм та по горизонталі з точністю 3 мм.

Недоліком пристрою є складність конструкції, обумовлена наявністю вимірювального колеса як датчика відстані та необхідністю підключення до зовнішнього комп'ютера під час вимірювання.

Мета корисної моделі - спрощення конструкції пристрою для вимірювання колійності дорожнього покриття.

Поставлена мета досягається за рахунок того, що як датчик відстані використовується лазерний датчик, а комп'ютер встановлено на каретці.

На кресленні наведена схема запропонованого пристрою, де 1 - балка; 2 - опори; 3 - рухома каретка; 4 - комп'ютер; 5 - лазерний датчик відстані.

Запропонований пристрій функціонує наступним чином.

На ділянку дорожнього покриття, що потребує фіксації вертикального профілю колійності, встановлюється балка 1 на опорах 2 так, щоб зона вимірювання параметрів дороги знаходилась в робочій зоні приладу. Рухому каретку 3 розміщують на стартовій позиції балки і задавши за допомогою клавіатури необхідні вихідні установки дають команду на вимір. В процесі руху по балці каретка за допомогою лазерного датчика 5 сканує з заданою частотою вертикальний профіль дорожнього покриття в робочій зоні. Після проходження робочої зони каретка повертається на стартову позицію з фіксованим профілем колійності, який відображається графічно на дисплеї і записується на картку пам'яті.

Запропонований пристрій розв'язує поставлену задачу - спрощення конструкції пристрою за рахунок використання для вимірювання відстані компактного лазерного датчика та встановлення комп'ютера на каретку.

Джерела інформації:

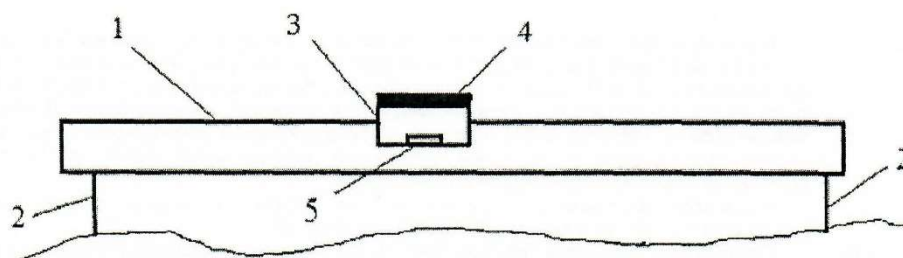
1. Field Evaluation of Automated Rutting Measuring Equipment. Technical Report No.FHWA/TX-12/0-6663-1 / P. A. Serigos, J. A. Prozzi, B. H. Nam, M. R. Murphy // Texas Department of Transportation. - Austin, 2012. -170 p.

2. Mallela R. Harmonizing Automated Rut Depth Measurement / R. Mallela, H. Wang, Wellington // Land Transport New Zealand Research Report 277. - Wellington, 2006.- 58 p.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

55 Пристрій для вимірювання колійності дорожнього покриття, що включає базову жорстку балку на регульованих опорах, рухому каретку, на якій встановлено датчик відстані та комп'ютер, який відрізняється тим, що як датчик відстані використовується лазерний датчик, а комп'ютер встановлено на каретці.

UA 128144 U



Комп'ютерна верстка І. Мироненко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ
Методи визначення деформаційних
характеристик земляного полотна
та дорожнього одягу

ДСТУ Б В.2.3-42:2016

Видання офіційне

Київ
Мінрегіон України
2017

ДСТУ Б В.2.3-42:2016

ПЕРЕДМОВА

1 РОЗРОБЛЕНО: Національний транспортний університет (НТУ), Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ)

РОЗРОБНИКИ:

НТУ (Д. Павлюк, д-р техн. наук (науковий керівник); С. Кизима, канд. техн. наук; О. Лебедєв; В. Павлюк; В. Павлюк, канд. техн. наук; О. Булах, канд. техн. наук; М. Шур'яков; І. Шуляк);
ДП "Укрметртестстандарт" (А. Іващенко);
ДП "Укрдїпродор" (Л. Рибіцький; С. Гладун);
ХНАДУ (Є. Прусенко, канд. техн. наук; І. Кіяшко, канд.техн. наук; Р. Смоляннюк, канд. техн. наук; Д. Новаковський, канд. техн. наук).

ЗА УЧАСТЮ: "Укравтодор" (А. Цинки).

2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ:

наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 01.07.2016 р. № 203, чинний з 2017-04-01

3 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ

4 Згідно з ДБН А.1.1-1-93 "Система стандартизації та нормування в будівництві. Основні положення" цей стандарт відноситься до комплексу В.2.3 "Споруди транспорту"

Право власності на цей національний стандарт належить державі.
Забороняється повністю чи частково видавати, відтворювати з метою розповсюдження і розповсюджувати як офіційне видання цей національний стандарт або його частину на будь-яких носіях інформації без дозволу Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України

Мінрегіон України, 2017

Видавець нормативних документів у галузі будівництва
і промисловості будівельних матеріалів Мінрегіону України
Державне підприємство "Укрархбудінформ"

ЗМІСТ		С.
1	Сфера застосування	1
2	Нормативні посилання	2
3	Терміни та визначення понять	3
4	Методи визначення загального модуля пружності дорожньої конструкції	6
5	Методи визначення модуля деформації	13
6	Вимоги безпеки	19
	Додаток А Строки початку та закінчення розрахункового періоду року	20
	Додаток Б Рекомендовані характеристики штампового обладнання для створення навантаження на шари дорожньої конструкції	21
	Додаток В Рекомендовані характеристики вимірювального обладнання	23
	Додаток Г Рекомендовані характеристики електронного прогиноміру для штампових випробувань дорожніх конструкцій	25
	Додаток Д Рекомендовані характеристики вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій	27
	Додаток Е Рекомендовані характеристики націпної вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій	28
	Додаток Ж Рекомендовані характеристики установки динамічного навантаження	30
	Додаток К Рекомендовані технічні характеристики устастановки динамічного навантаження для реєстрації чаші прогину	31
	Додаток Л Форма журналу вимірювання прогинів поверхні дорожнього одягу	32
	Додаток М. Форма акту визначення загальних модулів пружності	33
	Додаток Н Приклад оброблення результатів вимірювань для визначення фактичного модуля пружності дорожнього одягу характерної ділянки дороги II категорії	34
	Додаток П Приклад схеми ділянки будівництва та розміщення точок випробувань	35
	Додаток Р Форма акту визначення загального модуля деформації при першому та другому навантаженні та критерія достатнього ущільнення	36
	Додаток С Рекомендовані характеристики приладів для динамічних штампових випробувань	37
	Додаток Т Форма акту визначення фактичних динамічних модулів деформації	38
	Додаток Ф Форма акту визначення фактичного, максимального динамічного модуля деформації та критерію достатнього ущільнення	39
	Додаток Ц Приклад акту визначення фактичного, максимального динамічного модуля деформації та критерію достатнього ущільнення	41
	Додаток III Бібліографія	45



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

**НАСТАНОВА З УЛАШТУВАННЯ ЗЕМЛЯНОГО
ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016

Видання офіційне

**Київ
Мінрегіон України**

2016

ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016

ПЕРЕДМОВА

- 1 РОЗРОБЛЕНО: Національний транспортний університет (НТУ) Міністерства освіти і науки України; Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна (ДерждорНДІ) Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор)

РОЗРОБНИКИ:

В. Вирожемський, канд. техн. наук; **І. Волошина**; **І. Даніленко**; **В. Каськів**, канд. техн. наук; **С. Каськів**; **Д. Клишко**; **О. Лебедєв**; **А. Литвиненко**; **В. Нагайчук**, канд. техн. наук; **Д. Павлюк**, д-р техн. наук; **В. Петрович**, канд. техн. наук; **В. Савенко**, д-р техн. наук (науковий керівник); **Є. Ткачук**; **І. Шуляк**; **М. Шур'яков**

- 2 ПРИЙНЯТО ТА НАДАНО ЧИННОСТІ: наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 19.02.2016 р. № 32
- 3 УВЕДЕНО ВПЕРШЕ НА ЗАМІНУ ВБН В.2.7-218-171-2002
- 4 Згідно з ДБН А.1.1-1-93 «Система стандартизації та нормування в будівництві. Основні положення» цей стандарт відноситься до комплексу В.2.3 «Споруди транспорту»

Право власності на цей національний стандарт належить державі.

Забороняється повністю чи частково видавати, відтворювати з метою розповсюдження і розповсюджувати як офіційне видання цей національний стандарт або його частину на будь-яких носіях інформації без дозволу Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України

Мінрегіон, 2016

ЗМІСТ

1 Сфера застосування.....	1
2 Нормативні посилання.....	1
3 Терміни та визначення понять, позначення та скорочення	2
4 Організація робіт із спорудження земляного полотна	3
4.1 Загальні положення.....	3
4.2 Порядок організації виконання робіт	4
4.3 Вимоги з охорони навколишнього природного середовища	5
5 Підготовчі роботи	6
5.1 Загальні положення.....	6
5.2 Геодезичне забезпечення будівництва.....	6
5.3 Розчищення дорожньої смуги.....	9
5.4 Розробка ґрунтових кар'єрів	12
5.5 Улаштування тимчасових доріг.....	13
6 Спорудження земляного полотна.....	15
6.1 Загальні положення.....	15
6.2 Зняття і складування родючого шару ґрунту	17
6.3 Відведення поверхневих вод	18
6.4 Підготовка основи земляного полотна	19
6.5 Спорудження насипу з ґрунтів бічних резервів	20
6.6 Грейдерні роботи	20
6.7 Бульдозерні роботи.....	22
6.8 Скреперні роботи	23
6.9 Розробка ґрунтів екскаватором.....	26
6.10 Розробка виїмок і спорудження насипів землерийно-транспортними машинами при поздовжньому переміщенні ґрунту	26
6.11 Особливості робіт на косогах	34
6.12 Особливості робіт при розширенні земляного полотна.....	35
7 Ущільнення ґрунтів.....	35
7.1 Загальні положення.....	35
7.2 Укочування	38
7.3 Трамбування	39
7.4 Вібраційне ущільнення.....	40
7.5 Складні для виконання робіт умови та інші особливі випадки	40
8 Улаштування водовідвідних і дренажних споруд	43
8.1 Канави і кювети відкритого водовідводу	43
8.2 Перехоплюючий і підкюветний дренаж	43
8.3 Дренуючі, гідроізолюючі і капіляронериваючі шари.....	44

ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016

9	Опоряджувальні й укріплювальні роботи	45
9.1	Підготовчі роботи	45
9.2	Улаштування конструкцій укріплення	46
9.3	Догляд за конструкціями укріплення	50
9.4	Контроль якості укріплювальних робіт.....	51
9.5	Рекультивация порушених земель.....	52
10	Спорудження земляного полотна в складних інженерно-геологічних умовах	52
10.1	Спорудження земляного полотна в умовах підвищеної вологості ґрунтів	52
10.1.1	Загальні положення	52
10.1.2	Технологія виконання робіт	54
10.2	Спорудження земляного полотна в посушливих районах.....	60
10.3	Спорудження земляного полотна в умовах штучного зрошування земель	62
10.4	Виконання земляних робіт у засолених ґрунтах.....	63
10.5	Будівництво земляного полотна на просідних ґрунтах	64
10.6	Спорудження земляного полотна з великоуламкових ґрунтів і скельних порід.....	65
10.6.1	Загальні положення	65
10.6.2	Особливості спорудження насипу з великоуламкових і скельних порід.....	67
10.7	Спорудження земляного полотна на болотах.....	69
10.7.1	Загальні положення	69
10.7.2	Заміна слабого ґрунту в основі насипу	71
10.7.3	Улаштування вертикальних дренажів	76
10.7.4	Спорудження насипу способами поступового завантаження і тимчасового привантаження.....	79
11	Виконання земляних робіт у зимовий період	80
11.1	Загальні положення.....	80
11.2	Підготовчі роботи	81
11.3	Розробка виїмок і спорудження насипів.....	83
11.4	Ущільнення ґрунтів.....	85
12	Виробничий контроль якості. Приймання земляного полотна	86
12.1	Загальні положення.....	86
12.2	Вхідний контроль.....	86
12.3	Операційний контроль.....	88
12.4	Організація виробничого контролю.....	94
12.5	Виробничий контроль в складних інженерно-геологічних умовах.....	95
12.6	Приймання земляного полотна.....	97
	Додаток А Вимоги до ущільнення ґрунтів та інших параметрів земляного полотна.....	100

ДСТУ-Н Б В.2.3-32:2016

Додаток Б Форми документації, які складають при винесенні проекту на місцевість	103
Додаток В Технічна документація виробничого контролю якості	105
Додаток Г Приклади оформлення результатів випробування ґрунтів	106
Додаток Д Дані для статистичної оцінки якості елементів земляного полотна...	110
Додаток Е Види багаторічних трав і норми висіву насіння при укріпленні укосів земляного полотна	111
Додаток Ж Відомість контролю при спорудженні насипів з глинистих ґрунтів у зимовий період	113
Додаток И Акт на закриття прихованих робіт	114
Додаток К Акт проміжного прийняття відповідальних конструкцій	116
Додаток Л Штапові випробування при контролі ущільнення ґрунтів земляного полотна	118
Додаток М Приклад схеми ділянки будівництва та розміщення точок випробувань	124
Додаток Н Форма акта визначення загального модуля деформації при першому і другому навантаженні та критерію достатнього ущільнення	125
Додаток П Бібліографія	126

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)

Національний транспортний університет
(НТУ)

РЕКОМЕНДОВАНО

Науковою радою
Державного агентства
автомобільних доріг України
Протокол від «9» 12 2015 р.
№ 1

РЕКОМЕНДОВАНО

Науково-технічною радою
ДП «ДерждорНД»
Протокол від «26» листопада 2015 р.
№ 9

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

щодо проведення вимірювань з використанням вимірювальної станції для
штампових випробувань дорожніх конструкцій «ВСШВДК-2-15»

МР В.2.3-02070915-860:2015

ПОГОДЖЕНО

Начальник Відділу інноваційного
розвитку та кошторисного
ціноутворення Укравтодору

 А.О. Цинка
«09» 12 2015 р.

ПОГОДЖЕНО

Начальник відділу стандартизації та
метрології ДП «ДерждорНД»

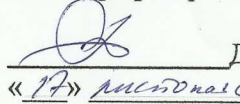
 М.М. Стулій
« » 2015 р.

РОЗРОБЛЕНО

Перший проректор - проректор з
наукової роботи НТУ, професор

 М.М. Дмитрієв
« » 2015 р.

Науковий керівник
завідувач кафедри проектування
доріг, геодезії та землеустрою
НТУ, професор

 Д.О. Павлюк
«17» листопада 2015 р.

Київ
2015

ЗМІСТ

	2
	C.
Вступ	3
1 Сфера застосування.....	3
2 Нормативні посилання	3
3 Технічні характеристики та склад станції.....	3
4 Будова та призначення складових частин станції	9
5 Приведення станції в робочий стан.....	12
6 Проведення вимірювань.....	14
7 Оброблення та оформлення результатів вимірювань.....	24
8 Приведення станції в транспортне положення.....	28
9 Вимоги безпеки	28
10 Технічне обслуговування, транспортування, зберігання, метрологічне забезпечення.....	29

ВСТУП

Ці Методичні рекомендації стосуються вимірювань з використанням вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій «ВСШВДК-2-15», яка розроблена Національним транспортним університетом.

Розробники цих Методичних рекомендацій: Д. Павлюк, д-р техн. наук (науковий керівник); В. Павлюк; В. Павлюк, канд. техн. наук; О. Лебедєв; М. Шур'яков; І. Шуляк; Л. Тищенко-Тишковець (НТУ); А. Іващенко (ДП «Укрметртестстандарт»); С. Гладун (ДП «Укрдіпродор»).

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Ці Методичні рекомендації встановлюють порядок визначення характеристик деформативності дорожніх конструкцій і їх шарів під час проведення штампових випробувань з використанням вимірювальної станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій «ВСШВДК-2-15» (надалі – Станція).

1.2 Результати вимірювань можуть бути використані: для оцінки якості виконання робіт по влаштуванню земляного полотна, шарів дорожнього одягу; для виявлення ділянок з недостатньою несучою здатністю при обґрунтуванні ремонтних робіт на стадії експлуатації.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У цих Методичних рекомендаціях є посилання на такі нормативно-правові акти та нормативні документи:

Закон України від 08.09.2005 № 2862-IV "Про автомобільні дороги"

Постанова Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. № 1306 зі змінами №111 від 11.02.2013 та №136 від 06.03.2013 «Про Правила дорожнього руху України»

НПАОП 63.21-1.01-09 Правила охорони праці під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг

ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(Укравтодор)

Національний транспортний університет
НТУ

РЕКОМЕНДОВАНО

Науковою радою
Державного агентства
автомобільних доріг України
(Укравтодор)
Протокол № 2 від 03.12.2014 р.

РЕКОМЕНДОВАНО

Науково-технічною радою
ДП «ДерждорНДІ»
Протокол № 8 від 27.11.2014 р.

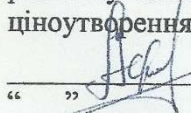
Рекомендації

щодо удосконалення вітчизняної нормативної бази по оцінці якості
ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу

Р Г.1-02070915-845:2014

ПОГОДЖЕНО

Начальник Відділу інноваційного
розвитку та кошторисного
ціноутворення Укравтодору

 А.О. Цинка
" " 2014 р.

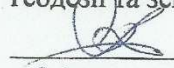
Начальник відділу стандартизації
та метрології ДП «ДерждорНДІ»

 М.М. Стулій
" " 2014 р.

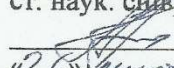
РОЗРОБЛЕНО

Перший проректор - проректор
Національного транспортного
університету з наукової роботи
 М.М. Дмитрієв
«26» листопада 2014 р.

Науковий керівник, завідувач
кафедри проектування доріг,
геодезії та землеустрою

 Д.О. Павлюк
«26» листопада 2014 р.

Відповідальний виконавець,
ст. наук. співр.

 О.С. Лебедев
«26» листопада 2014 р.

Київ
2014

ЗМІСТ

С.

1 Сфера застосування.....	4
2 Нормативні посилання	5
3 Терміни та визначення понять, позначки та скорочення	6
3.1 Терміни та визначення понять.....	6
3.2 Позначки та скорочення.....	7
4 Рекомендації щодо удосконалення вітчизняної нормативної бази по оцінці якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу	7
4.1 Визначення оптимальної вологості та максимальної щільності скелету ґрунту.....	7
4.2 Диференціювання вимог до ущільнення ґрунту в залежності від зони розміщення його в тілі насипу.....	9
4.3 Калібрування датчиків, встановлених на котках, за результатами штампових випробувань.....	9
4.4 Метод визначення щільності ґрунтів і матеріалів основ дорожнього одягу шляхом заміщення об'єму.....	9
4.5 Використання показників жорсткості для оцінки якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу.....	10
4.6 Використання модуля пружності для оцінки якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу.....	10
4.7 Методика статичних штампових випробувань за ВБН -В.2.3-218-186.....	10
4.8 Використання модуля деформації для оцінки якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу.....	11
4.9 Методика штампових випробувань для визначення модулів деформації	11
4.10 Методика штампових випробувань при передпроектних вишукуваннях існуючого дорожнього одягу.....	11
4.11 Перелік вітчизняних нормативних документів, які рекомендується удосконалити з урахуванням зарубіжних нормативних документів	12

Додаток А. Обґрунтування рекомендацій щодо визначення оптимальної вологості та максимальної щільності скелету ґрунту.....	13
Додаток Б. Обґрунтування рекомендацій щодо диференціювання вимог до ущільнення ґрунту в залежності від зони розміщення його в тілі насипу	25
Додаток В. Обґрунтування рекомендацій щодо калібрування датчиків, встановлених на котках, за результатами штампових випробувань.....	27
Додаток Г. Метод визначення щільності ґрунтів і матеріалів основ дорожнього одягу шляхом заміщення об'єму.....	30
Додаток Д. Використання показників жорсткості для оцінки якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу.....	32
Додаток Е. Використання модуля пружності для оцінки якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу.....	35
Додаток Ж. Методика статичних штампових випробувань за ВБН-В.2.3-218 -186.....	45
Додаток К. Використання модуля деформації для оцінки якості ущільнення ґрунтів і основ дорожнього одягу.....	55
Додаток Л. Методика штампових випробувань для визначення модулів деформації.....	63
Додаток М. Методика штампових випробувань при передпроектних вишукуваннях існуючого дорожнього одягу.....	70
Додаток Н. Бібліографія	73

ДОДАТОК Е

**МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ,
ВИКОРИСТАНИХ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Міністерство освіти та науки України
Національний транспортний університет
(НТУ)

ПОГОДЖЕНО

Заступник директора

ДП Укрметрестандарт
І.В. Кузьменко
2015 р.



ЗАТВЕРДЖЕНО

Перший проректор - проректор

з наукової роботи НТУ
М. Дмитрієв
2015 р.



Метрологія

Вузол вимірювання переміщень вимірювальної станції для штампових
випробувань дорожніх конструкцій

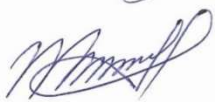
ПРОГРАМА І МЕТОДИКА МЕТРОЛОГІЧНОЇ АТЕСТАЦІЇ

Керівник розробки, завідувач кафедри
проекування доріг, геодезії та
землеустрою НТУ, д-р техн. наук,
професор

Д.О.Павлюк

Київ – 2015

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник роботи докт. техн. наук, професор		Д.О. Павлюк	1-12
Ст. наук. співробітник		О.С. Лебедев	2-12
Ст. наук. співробітник		Л.К. Тищенко- Тишковець	4, 9
Провідний інженер		В.В. Павлюк	2-12
Інженер		М.В. Шур'яков	3-9
Інженер		І.С. Шуляк	1-2, 7-12



**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ
ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ, СЕРТИФІКАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ПРАВ СПОЖИВАЧІВ"
(ДП "УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ")**

НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ІНСТИТУТ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ,
МЕХАНІЧНИХ І ВІБРОАКУСТИЧНИХ ВЕЛИЧИН
(НВІ ГМВ)

СВІДОЦТВО № 23-2768 від "16" жовтня 2015 р. про державну метрологічну атестацію

Індикатор з цифровою індикацією відліку, зав. № 4V 6007 04

назва, позначення, порядковий номер, дата виготовлення засобу вимірювальної техніки

Виробник: фірма "Tesa", Швейцарія

назва підприємства

Належить: Національний транспортний університет, м. Київ

назва підприємства або організації

Призначення (галузь застосування ЗВТ): для вимірювання лінійних розмірів абсолютним та відносним методами

Умови проведення атестації: температура 20,1 °C; атм. тиск 99,2 кПа; відн. волог. 58%

умови, при яких проводилась метрологічна атестація

Результати метрологічних досліджень

Назва метрологічної характеристики	Одержане значення метрологічної характеристики	Назва, тип робочих еталонів, застосованих під час атестації
Діапазон вимірювань, мм	від 0 до 12,7	Набір плоскопаралельних кінцевих мір довжини, робочий еталон 4 розряду, ГОСТ 9038; стійка С-І ГОСТ 10197; граммометр типу 15-150, ТУ 25-02.021301-78
Ціна найменшого розряду, мм	0,01	
Вимірювальне зусилля, Н	1,2	
Абсолютна похибка, мм	0,01	
Границі допустимої абсолютної похибки, мм	± 0,03	

За результатами державної метрологічної атестації (протокол № 23-2768 від 16.10.2015 р.)

Індикатор з цифровою індикацією відліку, зав. № 4V 6007 04

назва, позначення, порядковий номер засобу вимірювальної техніки

визнаний таким, що відповідає вимогам експлуатаційної документації фірми - виробника

назва технічної документації, яка містить вимоги до метрологічних характеристик

Повірку проводити відповідно до МИ 2192 "Індикатор часового типу. Методика поверки"

назва та позначення документа, що містить методику поверки атестованого ЗВТ

Міжповірочний інтервал – 1 рік.

Директор НВІ ГМВ



О.М. Самойленко
прізвище, ініціали



МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ УКРАЇНИ

**Державне підприємство
Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації,
метрології, сертифікації та захисту прав споживачів
(ДП «Укрметртестстандарт»)**

03680, м. Київ, вул. Метрологічна, 4 Свідоцтво про уповноваження №ПК 001-2009 від 23 лютого 2009 р.

**СВІДОЦТВО
про повірку робочого засобу вимірювальної техніки**

№ 34 -001 2014

Чинне до «04» квітня 2015 р.

Назва та умовне позначення Месдоза гідравлічна з манометром МТИ
клас точності 0,6, зав. №41313, діапазон вимірювань від 0 до 250 кгс/см²

Виробник Національний транспортний університет, м. Київ

Власник Національний транспортний університет, м. Київ

На підставі результатів повірки засіб вимірювальної техніки визнано придатним до застосування.

Свідоцтво про ДМА від 04.04.2014 р. №34-001.

позначення та назва документа, що містить вимоги до метрологічних характеристик і (або),

Одержані значення метрологічних характеристик наведені на зворотному
за потреби, значення метрологічних характеристик (клас точності, похибки, діапазони вимірювання тощо)

боці свідоцтва. (Ціна поділки манометра 2 кгс/см²)

Додаток на - стор.

Державний повірник



підпис

В.П. Відмаченко
ініціали, прізвище

Місце печатки або відбитка
повірочного тавра

«04» 04 2014 р.

Дійсне значення зусиль	Середнє значення показів манометра зав. №41313, кгс/см ²	
	при навантаженні	при розвантаженні
ТС		
0	0	0
1	31	33
2	62	66
3	93	98
4	124	131
5	157	162
6	189	194
7	220	226
8	252	-

Відносний розмах показів із 3-х рядів навантаження -
не перевищив 1,06 %

121-1352

Повірник



В.П.Відмаченко




МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЦЕНТР
СТАНДАРТИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ, СЕРТИФІКАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ПРАВ СПОЖИВАЧІВ»
(ДП «Укрметртестстандарт»)

НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ІНСТИТУТ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ
ГЕОМЕТРИЧНИХ, МЕХАНІЧНИХ ТА ВІБРОАКУСТИЧНИХ ВЕЛИЧИН
(НВІ ГМВ)

АТЕСТАТ № 22-0191

від 06 червня 2016 р.

на універсальне дорожнє вимірювальне обладнання «УДВО» № 2
назва випробувального обладнання

виготовлене Національним транспортним університетом
назва підприємства-виробника

що належить ДП «Київське обласне дорожнє управління» ВАТ «ДАК» Автомобільні
дороги України»
назва підприємства

За результатами періодичної атестації (протокол № 0191 від 06.06.2016р.)
проведеної НВІ ГМВ «Укрметртестстандарт»

у зв'язку з графіком робіт з періодичної атестації випробувального обладнання

встановлено, що універсальне дорожнє вимірювальне обладнання «УДВО» № 2

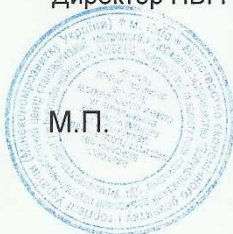
відповідає вимогам керівництва з експлуатації «УДВО» 00.000 КЕ

і допускається до застосування.

Термін дії атестату - до 06 червня 2017 р.

Директор НВІ ГМВ

О.М. Самойленко



Handwritten mark

ДОДАТОК Ж**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ 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. *Автомобильные дороги и мосты*. 2017. Вып. 1 (19). С. 246–257.

Статті у фахових виданнях:

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

3. Шуляк І. С. Обґрунтування параметрів випробувального обладнання для оцінювання колієстійкості дорожніх конструкцій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2017. Вип. 99. С. 67–76.

4. Шуляк І. С. Щодо необхідності уточнення розрахункових характеристик ґрунтів при обґрунтуванні проектних рішень по реконструкції і капітальному ремонті автомобільних доріг. *Вісник Національного транспортного університету*. Київ, 2014. Вип. 29. С. 493–503.

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

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

7. Шуляк І. С., Павлюк Д. О., Павлюк В. В., Павлюк В. В., Лебедев О. С., Гаврищук В. В., Іващенко А. П., Шур'яков М. В. Результати приймальних випробувань станції для штампових випробувань дорожніх

конструкцій і їх шарів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2013. Вип. 90. С. 56–62.

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

Опубліковані праці апробаційного характеру:

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

10. Шуляк І. С., Павлюк Д. О., Гаврищук В. В. Порівняння результатів вимірювання осідання штампу за методиками Австрії і Німеччини. *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах* : матеріали ІІ міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 29–30.10.2013 р.). Вінниця, 2013. С. 54–56.

11. Шуляк І. С. Математична модель динамічного навантаження дорожніх конструкцій. Тези LXX наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 14–16.05.2014 р.). Київ, 2014. С. 168–169.

12. Шуляк І. С. Контроль стійкості дорожніх одягів до колієутворення. *Контроль і управління в складних системах* : тези XII міжнар. конф. (м. Вінниця, 14–17.10.2014 р.). Вінниця, 2014. С. 73.

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

14. Шуляк І. С. Дослідження поведінки нежорстких дорожніх одягів при взаємодії зі штампом установки динамічного навантаження. *Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій*: матеріали всеукр. інтернет-конф. молодих учених і студентів (м. Полтава, 18.03.2015 р.). Полтава, 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. Тези LXXI наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 13–15.05.2015 р.). Київ, 2015. С. 191.

16. Шуляк І. С. Аналіз математичної моделі зменшення коефіцієнту запасу міцності, яка використовується в СУСП. *Інформаційні технології та землеустрій в управлінні територіальним розвитком*: матеріали всеукр. інтернет-конф. (м. Полтава, 06.04.2016 р.). Полтава, 2016. С. 333–335.

17. Шуляк І. С. Критерій стійкості дорожніх одягів проти колієутворення. Тези LXXII наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 11–13.05.2016 р.). Київ, 2016. С. 185.

18. Шуляк І. С. Удосконалення способу оцінки колієстійкості нежорстких дорожніх одягів. *Сучасні геоінформаційні та комп'ютерно-інноваційні технології дорожньої галузі, аеродромного будівництва та*

землеустрою : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 26–27.05.2016 р.). Харків, 2016. С. 61–64.

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

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

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

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

22. Спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій: пат. 111539 Україна: МПК G01N 3/30, E01C 23/01, G01N 29/04, G01M 5/00. № а 201413643; заявл. 19.12.14; опубл. 10.05.16, Бюл. № 9. 4 с.

23. Пристрій для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів: пат. 109061 Україна: МПК E01C 23/07. № у 201601295; заявл. 15.02.16; опубл. 10.08.16, Бюл. № 15. 4 с.

24. Пристрій для вимірювання колійності дорожнього покриття: пат. 128144 Україна: МПК E01C 23/07. № у 201801526; заявл. 16.02.18; опубл. 10.09.18, Бюл. № 17. 4 с.