

Міністерство освіти і науки України  
Національний транспортний університет

РИБЦЬКИЙ ЛЕОНІД ЛЕОНІДОВИЧ



УДК 625.7/.8

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ЗЧІПНИХ ЯКОСТЕЙ  
ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

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

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

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Жданюк Валерій Кузьмович**,  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри будівництва та експлуатації  
автомобільних доріг

кандидат технічних наук  
**Дубик Олександр Миколайович**,  
Національний авіаційний університет  
Міністерства освіти і науки України,  
доцент кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів

Захист відбудеться «14» травня 2021 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

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

Автореферат розісланий «13» квітня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент



О.Ю. Усиченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Кількісною мірою зчіпних якостей поверхні дорожнього покриття на даний час в Україні є коефіцієнт зчеплення  $\phi$  шини з поверхнею дорожнього покриття. Він визначається, як відношення горизонтальної реакції покриття до нормальної сили, що діє на колесо під час гальмування. При оцінці забезпечення необхідних зчіпних якостей фактичне значення коефіцієнтів  $\phi$  зіставляють із мінімально допустимими значеннями, після чого визначають відповідність його встановленим обмеженням.

В умовах недостатньої величини коефіцієнта зчеплення на дорогах і вулицях України, щороку трапляється досить велика кількість ДТП, у яких гинуть і дістають поранення значна кількість людей. Недостатня величина коефіцієнта зчеплення досить часто виявляється після скоєння ДТП через недосконалі методи і засоби оцінки зчіпних якостей або їх відсутність.

У більшості випадків отримані значення періодичних вимірювань зчіпних якостей мають великі похибки при вимірюваннях, а використання не достовірних значень зчіпних якостей (досить часто завищених) призводить до негативних наслідків з безпеки дорожнього руху. Крім того, відомі засоби - не досконалі, застарілі і не задовольняють сучасним технічним і метрологічним вимогам.

Промисловість України приладів для вимірювання зчіпних якостей не виробляє, а імпорتنі установки коштують від 150 до 350 тис. доларів. Це зумовлює необхідність розробки удосконалених методів та засобів, за допомогою яких можна визначати зчіпні якості дорожнього покриття з необхідною точністю.

Ці факти свідчать про актуальність та необхідність удосконалення методу оцінки зчіпних якостей дорожніх покриттів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Усі дослідження прикладного та теоретичного характеру виконані відповідно до тематики науково-дослідних робіт, що виконувались кафедрами будівництва та експлуатації доріг, аеропортів, проектування доріг геодезії та землеустрою НТУ: «Розробити методичні вказівки щодо визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожнього покриття універсальним дорожнім вимірювальним обладнанням» (2006 р., № держ. реєстр. 0106U010890), «Переробити ГСТУ 218-02070915-102-2003 «Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх покриттів. Методи та засоби» та привести його статус до вимог чинного законодавства», (2008 р., № держ. реєстр. 0104U006092), «Провести дослідження показників зчіпних якостей дорожніх покриттів за допомогою різних приладів та методів для оцінки кореляційних залежностей їх показників з показаннями причіпних динамометричних установок» (2009 р., № держ. реєстр. 0109U009011), «Провести дослідження та розробити національний стандарт на методи вимірювань зчіпних властивостей поверхні дорожнього покриття» (2016 р., № держ.реєстр. 0116U007511).

**Мета і завдання дослідження.** Метою досліджень є удосконалення методу оцінки зчіпних якостей дорожніх покриттів за рахунок підвищення вимог до проведення випробувань, підвищення точності, інформативності та продуктивності вимірювань параметрів зчіпних якостей дорожніх покриттів.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження були поставлені такі задачі:

- проаналізувати відомі методи і засоби оцінки зчіпних якостей дорожніх покриттів, дослідити результати вимірювання показника зчіпних якостей приладами типу ПКРС-2 та визначити основні напрямки досліджень;

- побудувати і дослідити математичну модель курсової стійкості нового приладу, провести дослідження можливості розвантаження вимірювального колеса приладу під час вимірювань, побудувати і дослідити модель руху колеса під час гальмування вимірювального колеса;

- на основі результатів дослідження розроблених моделей розробити новий прилад для оцінки зчіпних якостей дорожніх покриттів, алгоритм і методику його використання;

- розробити програму і методику державної метрологічної атестації, провести метрологічну атестацію розробленого приладу;

- провести експериментальні дослідження з використанням розробленого приладу та кореляційні випробування приладів по оцінці зчіпних якостей дорожніх покриттів.

**Об’єкт дослідження** – процес встановлення транспортно-експлуатаційних показників дорожнього покриття.

**Предмет дослідження** – методи оцінки зчіпних якостей дорожніх покриттів.

**Методи дослідження** – методи теоретичної механіки, теорії пружності, математичного моделювання, математичної статистики, аналітичні методи розв’язання диференціальних рівнянь.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у наступному:

- вперше побудована математична модель курсової стійкості приладу під час блокування правого по ходу вимірювального колеса, яка дає змогу визначити кут відхилення осі приладу під час вимірювань і визначити можливість його заносу

- вперше побудована математична модель та проведені дослідження можливості розвантаження вимірювального колеса динамометричним приладом під час проведення вимірювань показника зчіпних якостей і доведено, що розвантаження не відбувається;

- вперше, на основі обґрунтувань параметрів вимірювань та конструкції приладу, розроблено метод і засіб оцінки зчіпних якостей дорожнього покриття;

- отримав подальший розвиток метод вимірювання зчіпних якостей дорожнього покриття.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у наступному:

- розроблений засіб та метод оцінки зчіпних якостей дає можливість, завдяки додатковим обмеженням та уточненням, отримати більш точний результат вимірювання;

- завдяки встановленню більш точних та додаткових датчиків на універсальне дорожнє вимірювальне обладнання, отримана можливість вимірювати більшу кількість показників з більшою точністю.

- за рахунок автоматизації вимірювальних процесів підвищується точність вимірювань.

Результати досліджень впроваджені на галузевому рівні в організаціях, які входять у сферу управління Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор): ДСТУ Б В.2.3-8-2003 «Споруди транспорту. Дорожні покриття.

Методи вимірювання зчпних якостей», ГСТУ 218-02070915-102-2003 "Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх покриттів. Методи та засоби», МВ 218-02070915-627:2007 «Методичні вказівки щодо визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожнього покриття універсальним дорожнім вимірювальним обладнанням», СОУ 45.2-00018112-042:2009 «Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів», ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво», ДСТУ 8746:2017 «Автомобільні дороги. Методи вимірювання зчпних властивостей поверхні дорожнього покриття».

Тільки у 2017 р., на замовлення Служби автомобільних доріг у Київській області, розробленим засобом, у відповідності до удосконаленого методу оцінки зчпних якостей, було проведено обстеження 21 314 км автомобільних доріг державного значення. 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», у 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 [4, 6, 10]. У спільних публікаціях автором удосконалено вимоги до проведення оцінки зчпних якостей дорожніх покриттів; розроблено математичну модель руху універсального вимірювального обладнання під час проведення вимірювань та визначена курсова стійкість причепа; розроблено метод визначення зчпних якостей [1, 8]; обґрунтовано технічні параметри, проведені лабораторні, польові та приймальні випробування універсального дорожнього вимірювального обладнання, а також розроблено програму та методику метрологічної атестації даного випробувального обладнання [4]; обґрунтовано технічні характеристики універсального дорожнього вимірювального обладнання, здійснено вибір дослідних ділянок і проведенні експериментальні дослідження, встановлено залежності зчпних якостей покриття від швидкості руху, типу шини. Обґрунтовані основні положення методики проведення випробувань [2, 3, 5, 7, 9, 11].

**Обґрунтованість та достовірність** отриманих у роботі результатів: підтверджується застосуванням фізично обґрунтованих (на основі експериментальних даних) математичних моделей, коректною постановкою межових умов, чітким математичним описом числових алгоритмів, співставленням числових розрахунків з результатами теоретичних та експериментальних досліджень інших авторів, апробацією результатів роботи на різних рівнях.

За результатами експериментальних досліджень коефіцієнт кореляції між показаннями різних модифікацій „УДВО” складає від 0,96 до 0,99, а відхилення показань обладнання від значень зчпних якостей, визначених за стандартною методикою, не перевищують 5 %.

**Апробація матеріалів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на конференції «Шляхи підвищення ефективності дорожнього господарства України в нових умовах господарювання» (м. Київ УТУ. 1998 р.), на міжнародній науково-технічній конференції присвяченій 60-річчю НТУ.

(м. Київ НТУ. 2004 р.), на 62, LXXVI наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ).

**Публікації.** За темою дисертаційного дослідження опубліковано 16 наукових праць, у тому числі: 7 – у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України; 1 – стаття у зарубіжних періодичних наукових виданнях; 6 – у збірниках праць за матеріалами наукових конференцій; 2 – статті додатково відображають наукові результати дисертації (у періодичному фаховому виданні, що не входить до переліку МОН України).

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 117 найменувань та 9 додатків. Основний текст викладений на 154 сторінках. Текст ілюструється 95 рисунками і містить 17 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано доцільність та актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення.

У вступі також розкривається особистий внесок автора, питання апробації результатів, публікації, загальний обсяг і структура роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз основних методів і засобів оцінки зчіпних якостей дорожнього покриття при діагностуванні автомобільних доріг, а саме, вимірювань функціональних параметрів поверхні дорожнього покриття:

- методом визначення зчіпних якостей портативними приладами при імітації взаємодії колеса з покриттям;

- методом екстреного гальмування автомобіля за довжиною гальмівного шляху та за від'ємним прискоренням;

- методом визначення зчіпних якостей динамометричними приладами з вимірюванням сили при заблокованому колесі та при проковзуванні колеса.

Питаннями, пов'язаними з розробкою методів та засобів оцінки зчіпних якостей дорожнього покриття, займалися такі вчені, як: Андреев С.І., Астров В.О., Замахаєв М.С., Іваниця Є.В., Кизима С.С., Косарев Б.М., Кнороз В.І., Кульмурадов Н.М., Леру М., Лебедев О.С., Лукашук Р.Ф., Лушніков Н.А., Немчинов М.В., Павлюк Д.О., Паршин М.О., Петров І.П., Подліх Е.Г., Сіденко С.В., Смолянчук Р.В., Фалькевич Б.С., Фортуна Є., Ченг І., Чудаков Є.А., Швабик В., Alonso M., Andriejauskasa T., Andresen A., Boulet M., Descornet G., Fafie J., Forest R., Gothie M., Henry J., Mazur A., Mielonab V., Roe P., Viner H., Vorobjovasa V., Schmidt B., Wambold J.C., Wet T., Yager T.

Проведений аналіз показав, що всі портативні прилади імітують взаємодію колеса з покриттям, мають невелику вагу і передбачають використання невеликої змінної сили взаємодії між контактною пластиною й поверхнею покриття, що не завжди дозволяє отримати прямо пропорційну залежність показань від зусилля в контактній зоні. Головними недоліками визначення зчіпних якостей портативними приладами є: низька продуктивність випробувань, мала площа взаємодії контактної

пластини з поверхнею покриття, необхідність проведення випробувань на проїзній частині, що небезпечно для оператора.

Методи екстреного гальмування автомобіля за довжиною гальмівного шляху і за величиною від'ємного прискорення максимально наближені до реальних умов гальмування автомобіля, але мають значні похибки під час вимірювань. Показання в більшості випадків більші за показання причіпних динамометричних приладів, оскільки деселерометри показують максимальне прискорення на окремих ділянках. Крім того, значення  $\varphi$ , визначене за методом екстреного гальмування, не відповідає тим величинам, які отримують за допомогою причіпних приладів.

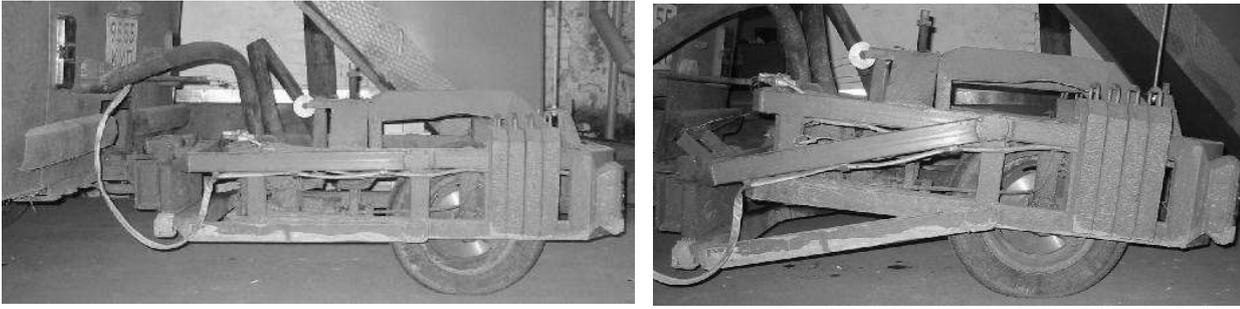
На практиці найбільшого поширення отримав метод визначення зчіпних якостей динамометричними приладами з вимірюванням сили при заблокованому колесі та при проковзуванні колеса. Використовується досить багато приладів, які мають свої переваги й недоліки, вони засновані на різноманітних принципах і відрізняються за своїми основними технічними й експлуатаційними характеристиками. Одні прилади дозволяють вимірювати максимальну, або наближену до максимальної величину зчіпних якостей колеса з покриттям. Інші, при повному блокуванні вимірювального колеса, вимірюють коефіцієнт тертя ковзання. Але, як показує досвід, різні прилади на одних ділянках отримують різні значення і єдиного підходу до універсальності отримання дійсного значення зчіпних якостей дорожнього покриття наразі не отримано.

На початку дисертаційних досліджень в Україні нормативними документами був передбачений єдиний пристрій для оцінки зчіпних якостей дорожніх покриттів «Прибор контроля ровности и сцепления «ПКРС-2». Аналіз досліджень показав, що прилад є не досконалим, а відносна похибка при вимірюваннях може досягати 34%, що не задовольняє вимогам щодо точності вимірювання. Необхідно додатково дослідити існуючий в Національному транспортному університеті прилад ПКРС-2, як засіб вимірювання зчіпних якостей дорожніх покриттів.

Після проведених досліджень необхідно обґрунтувати основні напрямки удосконалення методу і засобу оцінки зчіпних якостей дорожнього покриття, який може отримувати дійсні значення з заданою ймовірністю.

**У другому розділі** наведено результати експериментальних досліджень приладу ПКРС-2.

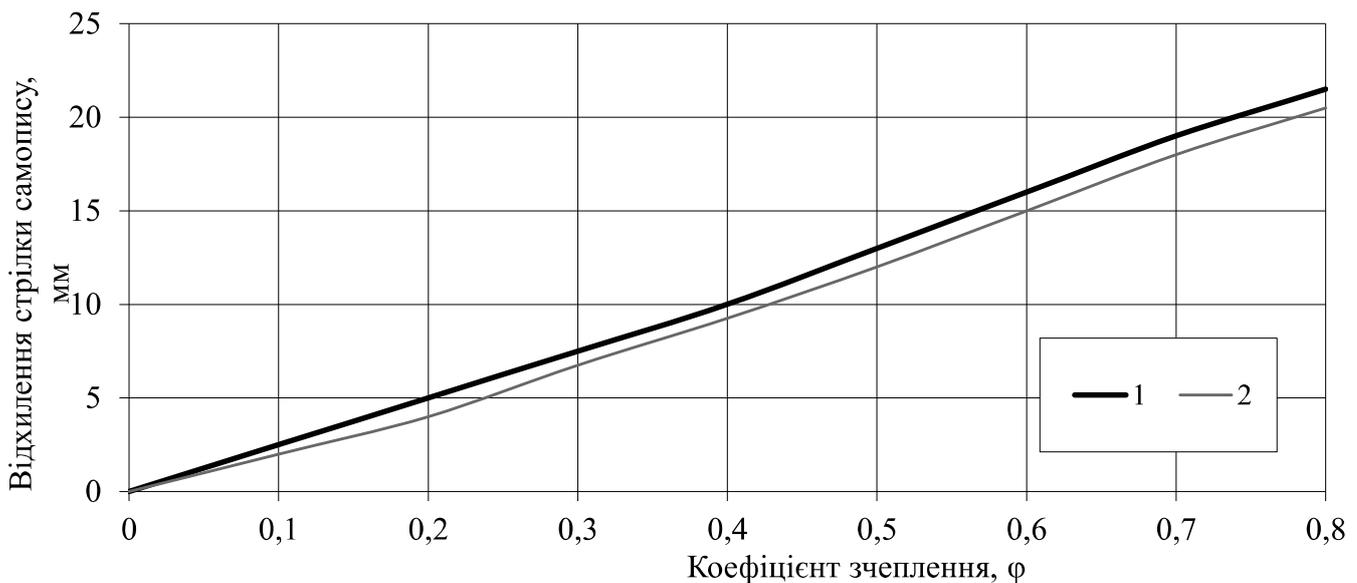
Основна конструктивна особливість приладів типу ПКРС обумовлена паралелограмною схемою підвіски. На думку розробників приладу, така підвіска повинна підвищувати точність вимірювання коефіцієнта зчеплення  $\varphi$  за рахунок виключення перерозподілу навантаження між тягачем і причепом при гальмуванні вимірювального колеса. Однак перерозподіл вертикальних реакцій між причепом і тягачем не виникає лише в тому випадку, коли обидві ланки паралелограму – важіль підвіски та реактивна штанга – паралельні поверхні дороги. Після проведених досліджень приладу ПКРС-2 у зчипці з автомобілем-тягачем УАЗ-3303 можна стверджувати, що згадане відхилення під час експлуатації приладу може бути більше, ніж  $3^0$  (рис. 1), що при  $\varphi=0,5$  спонукає похибку більше 10% .



**Рисунок 1** – Можливі відхилення приладу ПКРС-2 від горизонтального положення

І дійсно, при використанні приладу ПКРС-2 на практиці було виявлено зміну показань реєструючого пристрою (самопис Н-338) у залежності від завантаження автомобіля-тягача водою. Ця зміна мала місце, як під час вимірювань коефіцієнта зчеплення, так і при повторних градуваннях приладу (рис. 2).

Порівняння градувальних графіків показує, що при дійсному значенні коефіцієнта зчеплення 0,2 розбіжність показань реєструючого пристрою може призводити до похибки 20%. Середнє значення відносної похибки, обумовлене витратами води, в діапазоні вимірювань коефіцієнта зчеплення від 0 до 0,8 може досягати 9 і більше відсотків.



**Рисунок 2** – Результати повторних градувань приладу ПКРС-2У при 1 - повних баках; 2 - порожніх баках

У процесі польових робіт досліджувалась стабільність показань приладу у часі. Після ще однієї пари повторних градувань, до і після пробігу ходової лабораторії 150 км, було встановлено, що розбіжність показань самопису при одному і тому ж дотичному зусиллі у середньому дорівнює 7,6%.

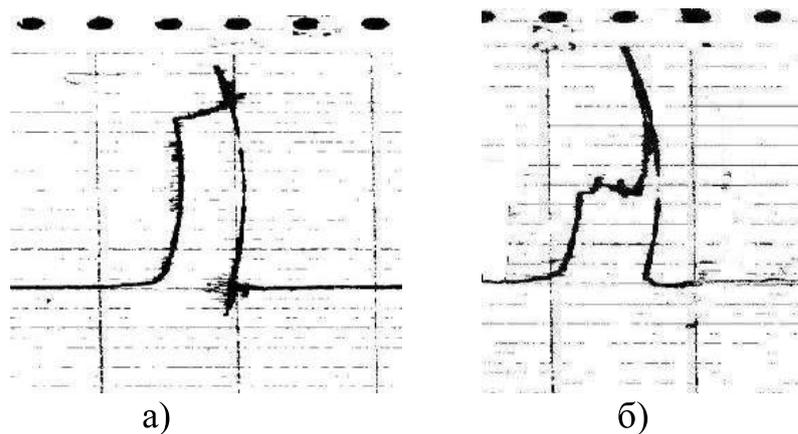
Ще один недолік, який був визначений під час вимірювання коефіцієнта зчеплення, можливість використання шин різного розміру 175 R 13 та 6,45-13. Випробування на одних і тих же ділянках автомобільних доріг з різними покриттями показали суттєву розбіжність результатів (табл. 1).

**Таблиця 1** – Результати вимірювань коефіцієнта зчеплення з використанням різних шин

№ ділянки вимірювань	Середня величина коефіцієнта зчеплення для шин		Відносне відхилення, %	№ ділянки вимірювань	Середня величина коефіцієнта зчеплення для шин		Відносне відхилення, %
	175 R 13	6,45-13 (155 R 13)			175 R 13	6,45-13 (155 R 13)	
1	0,40	0,34	15,0	6	0,52	0,48	7,7
2	0,39	0,34	12,8	7	0,54	0,46	14,8
3	0,40	0,35	12,5	8	0,42	0,39	7,1
4	0,45	0,40	11,1	9	0,28	0,26	7,1
5	0,50	0,46	8,0	10	0,73	0,59	19,2

З наведеного слідує, що вимоги до вимірювальних шин повинні бути більш жорсткими і потребують уточнення.

В окремих випадках при вимірюваннях були отримані завищені (рис. 3а) порівняно з дійсними (рис. 3б), результати. Це обумовлено тим, що у приладів типу ПКРС-2, які мають тросовий привод гальм, сила та плавність натиску на педаль у значній мірі залежать від оператора та ступеню натягнення троса. Ослаблення троса або слабкий натиск на педаль при вимірюваннях призводить до неповного блокування колеса, що призводить до завищених показань.



**Рисунок 3** – Приклади запису діаграм

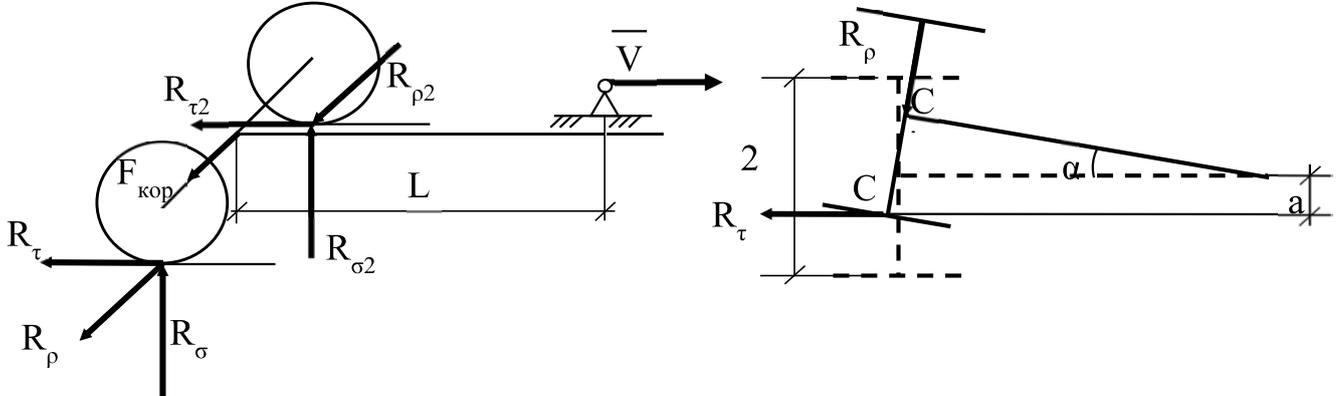
Експериментальні дослідження підтвердили що відхилення результатів вимірювання коефіцієнта зчеплення на одних і тих же ділянках доріг за абсолютною величиною можуть досягати 0,19, що навіть на покриттях із високими зчіпними якостями перевищує 30%. Така розбіжність результатів не може задовольняти вимогам нормативних документів.

Для виключення факторів, що негативно впливають на точність вимірювань також був досліджений розроблений Павлюком Д.О. на кафедрі будівництва та експлуатації доріг НТУ прилад “У-1”.

За результатами експериментальних досліджень ПКРС-2У та “У-1” були визначені основні недоліки: недостатня стійкість проти перекидання; поперечний занос приладу при вимірюваннях дотичної реакції покриття; можливість розвантаження вимірювального колеса під час вимірювань; утворення автоколиваний

вузла вимірювання зчіпних якостей; ножний привід гальм; використання різних вимірювальних шин.

Для оцінки курсової стійкості приладу була розроблена математична модель, розрахункова схема якої зображена на рис. 4. На схемі показано ймовірне відхилення причепу від траєкторії руху центру мас автомобіля-тягача, яке спостерігалось при вимірюванні дотичної реакції.



**Рисунок 4** – Розрахункова схема дослідження курсової стійкості причепу

Під час вимірювання зчіпних якостей дорожніх покриттів вимірювальне колесо приладу заблоковане і на причеп діють зовнішні сили  $R_{\tau 1}$  – дотична реакція вимірювального колеса,  $R_{\rho 1}$  – поперечна горизонтальна реакція (приймаємо = 0),  $R_{\sigma 1}$  – вертикальна реакція,  $R_{\tau 2}$  – дотична реакція лівого по ходу опорного колеса (опір коченню приймаємо = 0),  $R_{\rho 2}$  – поперечна горизонтальна реакція лівого по ходу опорного колеса,  $R_{\sigma 2}$  – вертикальна реакція лівого по ходу опорного колеса,  $F_{\text{кор}}$  – сила Коріоліса, одні з яких намагаються повернути причеп  $R_{\tau 1}$ , інші стримати  $R_{\rho 2}$ ,  $F_{\text{кор}}$ .

Поперечна горизонтальна реакція  $R_{\rho 2}$ , що діє на колесо, пропорційна куту бокового уводу й обумовлена опором уводу лівого колеса

$$R_{\rho 2} = K_y, \quad (1)$$

де  $K_y$  - коефіцієнт опору уводу колеса;

$\alpha$  - кут між площиною колеса та вектором швидкості центру колеса (кут уводу колеса), який ми прирівнюємо до кута відхилення осі причепу від траєкторії руху автомобіля

За другим законом Ньютона для обертального руху в неінерційній системі координат рівняння руху причепу можна записати у вигляді:

$$I\varepsilon = \sum_{i=1}^3 M_0 = M_0^{(3)}, \quad (2)$$

де  $I$  – момент інерції причепу;  $\varepsilon$  – кутове прискорення причепу;  $M_0$  – момент зовнішніх сил;  $M_0^{(3)}$  – головний момент зовнішніх сил.

Для нашого випадку права частина рівняння (2) відповідно до схеми, зображеної на рис. 4 дорівнює:

$$M_0^{(3)} = M_0(R_{\tau 1}) + M_0(R_{\rho 2}) + M_0(F_{\text{кор}}). \quad (3)$$

Після підстановки залежностей отримаємо

$$M_0(R_{\tau 1}) = -R_{\sigma 1} \phi (r \cos \alpha - L \sin \alpha). \quad (4)$$

Інший момент виникає тільки під час зміни траєкторії причепа і діє у протилежний бік на відміну від попереднього. Момент поперечної горизонтальної реакції виникає завдяки здатності еластичної шини чинити опір боковому уводу, чого не можна сказати у випадку з жорсткими колесами, де діє тільки сила поперечного зчеплення

$$M_0(R_{\rho 2}) = K_y L. \quad (5)$$

Наступний момент виникає тільки у неінерційній системі координат і відповідно до законів теоретичної механіки – це момент Кориоліса, прикладений до центру мас приладу, який діє в протилежний бік заносу.

$$\bar{F}_{кор} = m\bar{\omega}_k. \quad (9)$$

Отримуємо рівняння головного моменту зовнішніх сил:

$$M_0^{(3)} = R_{\sigma 1} \phi (r \cos \alpha - L \sin \alpha) - K_y \alpha L + 2mLV\dot{\alpha}. \quad (10)$$

Після скорочення та вирішення неоднорідного рівняння отримуємо:

$$\alpha = e^{-\mu \square} \left( C_1 e^{t\sqrt{\mu^2 - \Omega^2}} + C_2 e^{-t\sqrt{\mu^2 - \Omega^2}} \right) + \frac{R_1 \phi r}{L^2 \Omega^2 m} \quad (11)$$

Двічі проінтегрувавши вираз (11) знайдемо значення сталих коефіцієнтів  $C_1$  та  $C_2$

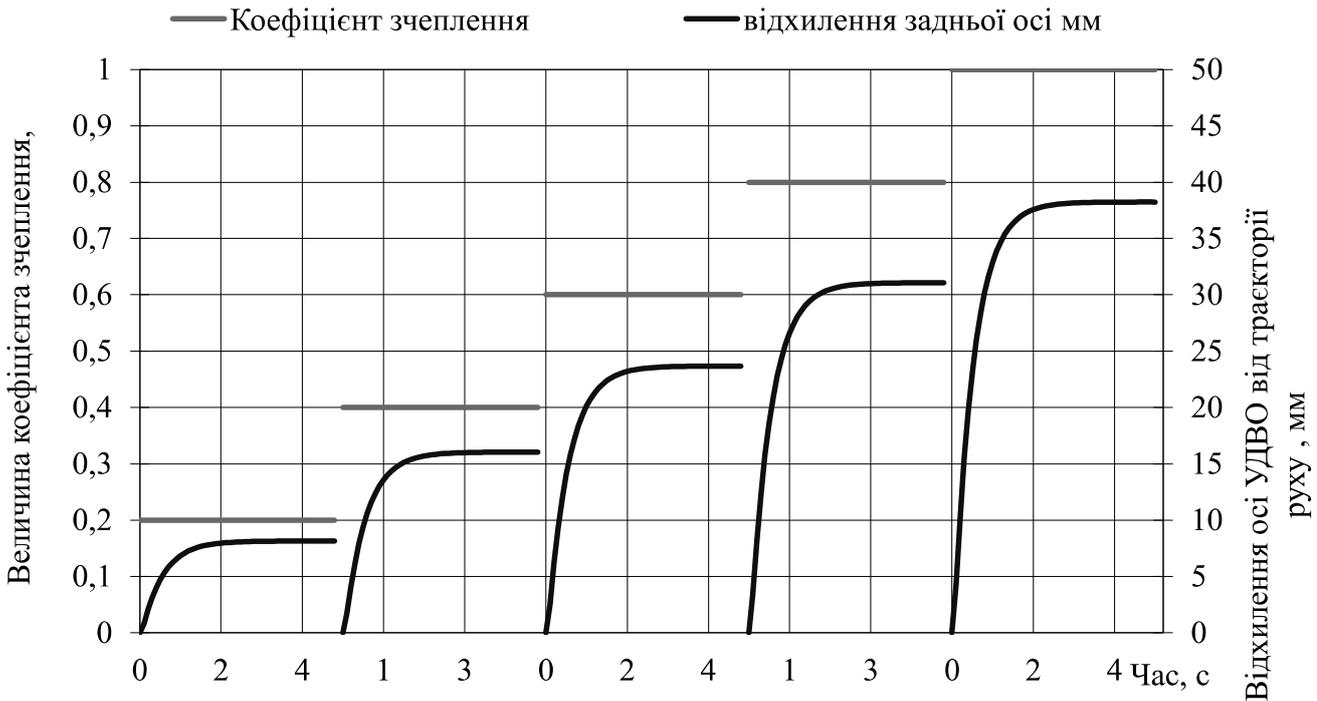
$$C_1 = -\frac{R_1 \phi r \sqrt{\mu^2 - \Omega^2} + \mu}{2mL^2 \Omega^2 \sqrt{\mu^2 - \Omega^2}}. \quad (12)$$

$$C_2 = -\frac{R_1 \phi r \sqrt{\mu^2 - \Omega^2} - \mu}{2mL^2 \Omega^2 \sqrt{\mu^2 - \Omega^2}}. \quad (13)$$

Після підстановки сталих коефіцієнтів  $C_1$ ,  $C_2$  та  $\mu$  і  $\Omega^2$  у рівняння 11 отримаємо загальний розв'язок математичної моделі

$$\begin{aligned} \alpha = e^{-\left(\frac{V}{L}\right) \square} & \left( \frac{R_1 \phi r \sqrt{\left(\frac{V}{L}\right)^2 - \left(\frac{R_1 \phi + K_y}{mL}\right) + \frac{V}{L}}}{2mL^2 \left(\frac{R_1 \phi + K_y}{mL}\right) \sqrt{\left(\frac{V}{L}\right)^2 - \left(\frac{R_1 \phi + K_y}{mL}\right)}} e^{t \sqrt{\left(\frac{V}{L}\right)^2 - \left(\frac{R_1 \phi + K_y}{mL}\right)}} \right) - \\ & - e^{-\left(\frac{V}{L}\right) \square} \left( \frac{R_1 \phi r \sqrt{\left(\frac{V}{L}\right)^2 - \left(\frac{R_1 \phi + K_y}{mL}\right) - \left(\frac{V}{L}\right)}}{2mL^2 \left(\frac{R_1 \phi + K_y}{mL}\right) \sqrt{\left(\frac{V}{L}\right)^2 - \left(\frac{R_1 \phi + K_y}{mL}\right)}} e^{-t \sqrt{\left(\frac{V}{L}\right)^2 - \left(\frac{R_1 \phi + K_y}{mL}\right)}} \right) + \\ & + \frac{R_1 \phi r}{L^2 \left(\frac{R_1 \phi + K_y}{mL}\right) m}. \end{aligned} \quad (14)$$

Для визначення числових значень величини можливого відхилення причепа при гальмуванні вимірювального колеса в залежності від величини коефіцієнта зчеплення дорожнього покриття та часу підставляємо значення, які відповідають конструкції приладу у рівняння 12. Після розрахунків отримуємо числові значення і відповідні залежності у вигляді графіків зображених на рис. 5.



**Рисунок 5** – Залежність величини відхилення осі приладу від траєкторії руху при блокуванні вимірювального колеса від коефіцієнта зчеплення та часу

Результати моделювання перевірялись практично на автомобільній дорозі при блокуванні вимірювального колеса на швидкості 60 км/год при значення коефіцієнта зчеплення 0,46 відхилення відбувалося на величину близько 20 мм, що підтверджує теоретичні розрахунки (рис.6).



**Рисунок 6** – Експериментальне дослідження відхилення осі приладу від траєкторії руху

Для оцінки можливості розвантаження вимірювального колеса під час вимірювань зчипних якостей дорожніх покриттів побудована математична модель навантаження причепу додатковою силою зчеплення  $T$ , прикладеною до вимірювального колеса. Згідно розрахункової схеми, зображеної на рис. 7,

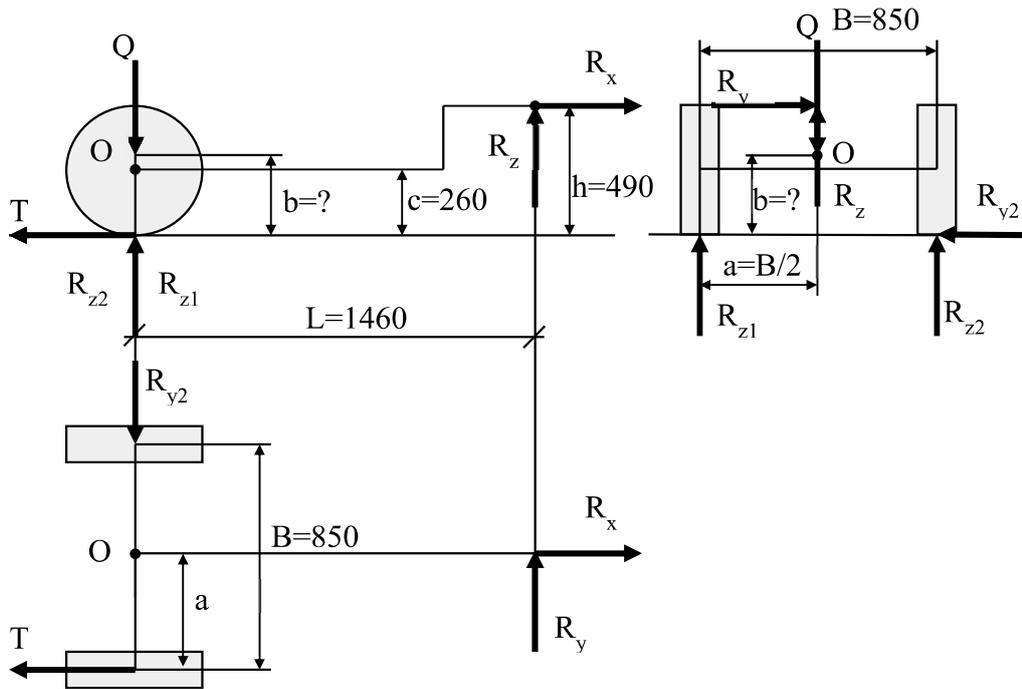


Рисунок 7 – Розрахункова схема навантажень

складено систему рівнянь:

$$\sum F_x = 0 \quad R_x - T = 0 \quad (15)$$

$$\sum F_y = 0 \quad R_y - R_{y2} = 0 \quad (16)$$

$$\sum F_z = 0 \quad R_z + R_{z1} + R_{z2} - Q = 0 \quad (17)$$

$$\sum M_x = 0 \quad Q(B/2 - a) + R_{z2}(B/2) - R_{z1}(B/2) - R_{y2}h = 0 \quad (18)$$

$$\sum M_y = 0 \quad -R_z L + R_x h = 0 \quad (19)$$

$$\sum M_z = 0 \quad R_y L - TB/2 = 0 \quad (20)$$

Після підстановки параметрів причепу і розв'язку рівнянь отримали

$$R_{z1} = Q(1 + B/2 - a)/2 = Q/2. \quad (21)$$

Це підтвердило, що розвантаження вимірювального колеса не відбувається.

Для дослідження автоколиваний вузла вимірювання зчіпних якостей розроблена математична модель руху вимірювального колеса під час гальмування.

Зусилля, що виникає в зоні контакту колеса з покриттям деформує колесо, яке має дотичну жорсткість  $C_1$ , та вимірювальну ресору жорсткістю  $C_2$ .

Введемо позначення  $V_0$  - швидкість автомобіля тягача,  $C$  - жорсткість системи  $C = C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2)$ ,  $m$  - вага причепу,  $m_1 = m/2$  - навантаження на колесо,  $R_\psi$  - сила

тертя зчеплення,  $R_\phi$  - сила тертя ковзання,  $k = \sqrt{\frac{c}{m_1}}$ .

Очевидно, можливий такий рух даної системи, при якому швидкість точок контакту колеса відносно покриття зрівняється з  $V_0$ . При цьому на колесо діє стала сила  $P$ , яка дорівнює силі  $R_\phi$ , однак цей режим може бути не стійким і за певних обставин можуть виникнути автоколивання. Якщо швидкість мала, то невелика зміна величини коефіцієнта зчеплення може бути достатньою для зупинки точок контакту колеса. Розглянемо, що відбувається після цього моменту. Автомобіль тягач

продовжує поступальний рух, деформація шини та вимірювального пружного елемента буде відбуватися до тих пір доки сила  $P$  не зрівняється з силою  $R_\psi$ , після цього відбудеться зрив точок контакту і сила тертя при цьому миттєво зменшиться до сили  $R_\phi$ . Але сила напруження колеса і пружного елемента буде рівна  $R_\psi$  і відповідно, рівновага сил діючих в зоні контакту колеса порушиться.

Був розглянутий процес руху до деякого моменту часу  $t > 0$  коли zdeформовані елементи за допомогою сили пружності почнуть повертатись у стабільне положення відносно причепу, це переміщення зміниться на відрізок  $(x - V_0 t)$  і відповідно сила пружності зменшиться до значення:

$$P(t) = R_\psi - c(x - V_0 t), \quad (22)$$

Диференціальне рівняння руху точок контакту колеса має вигляд:

$$\ddot{x} + k^2 x = k^2 V_0 t + \frac{R_\psi - R_\phi}{m}, \quad (23)$$

Після вирішення отримуємо рівняння руху колеса під час гальмування:

$$x = V_0 t - \frac{V_0}{k} \sin k t + \frac{R_\psi - R_\phi}{c} (1 - \cos k t) \quad (24)$$

Перший доданок правої частини відповідає рівномірному руху зі швидкістю автомобіля тягача, а останні доданки - додаткові коливання колеса.

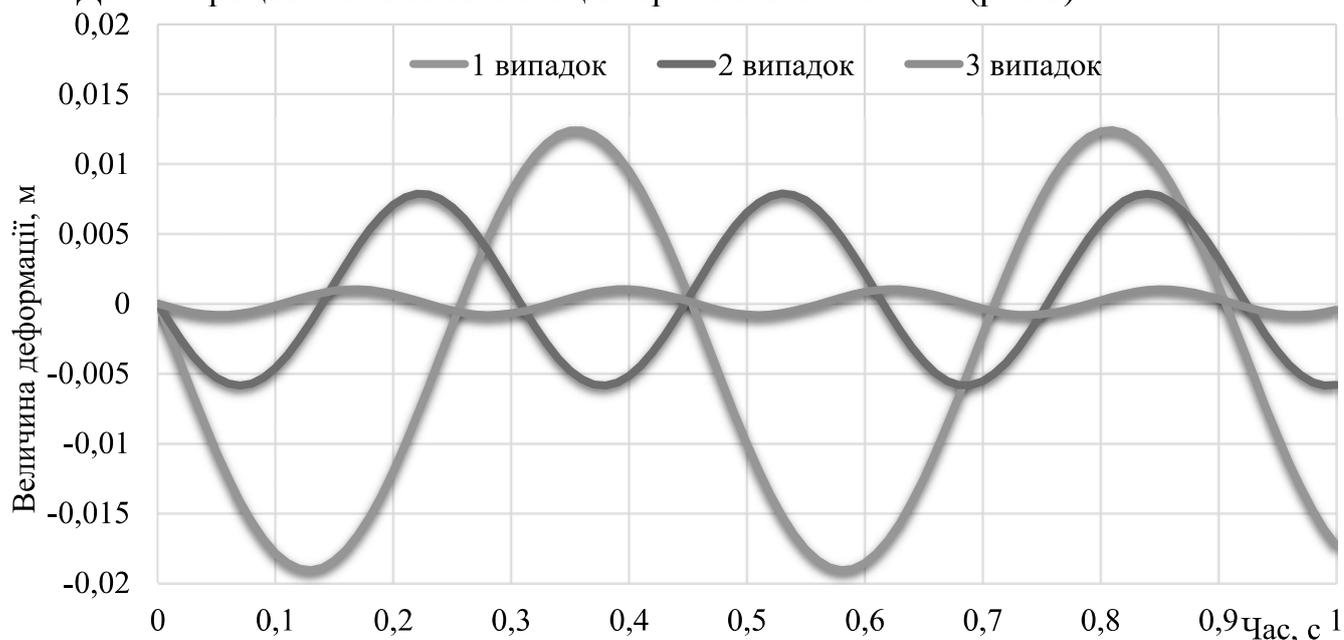
Швидкість точок контакту колеса з покриттям змінюється по закону:

$$\dot{x} = V_0 - V_0 \cos k t + \frac{k(R_\psi - R_\phi)}{c} \sin k t \quad (25)$$

Координату  $x$  точок контакту в момент нової зупинки, тобто шлях, який пройшли точки контакту за час  $t_1$

$$x_1 = V_0 t_1 - \frac{V_0}{k} \sin k t_1 + \frac{R_\psi - R_\phi}{c} (1 - \cos k t_1) = V_0 t_1 + \frac{2\alpha V_0}{k} \quad (26)$$

Даний процес являє собою стаціонарні автоколивання. (рис.8)



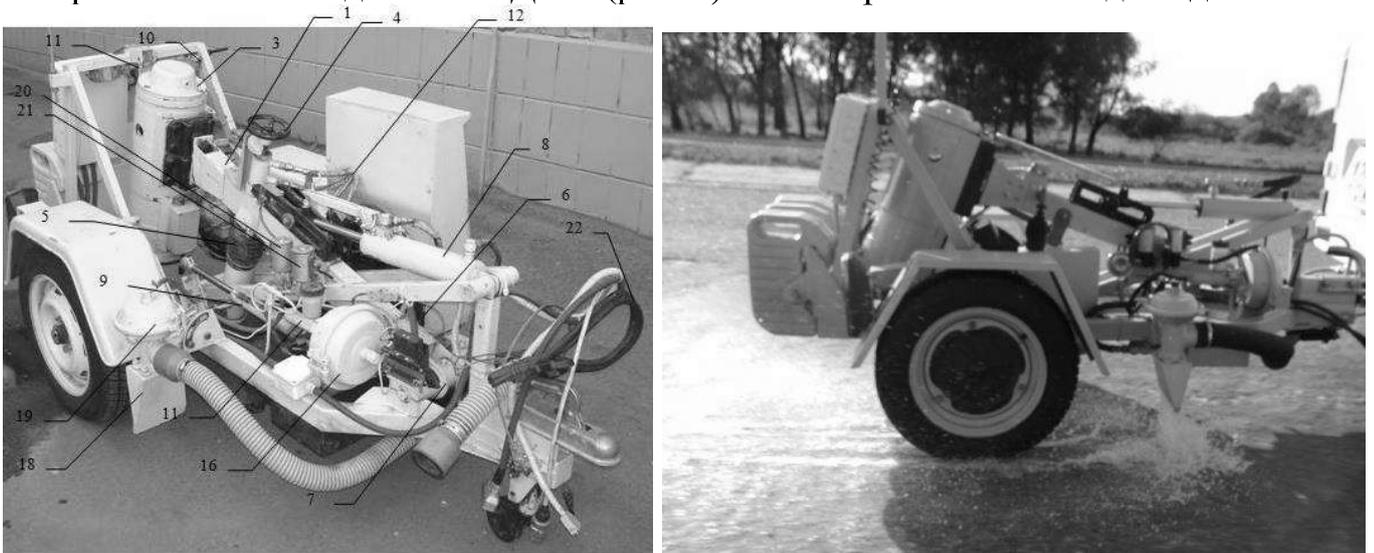
**Рисунок 8** – Залежність деформації вимірювальних елементів та колеса під час гальмування від часу

За вищенаведеними формулами були проведені розрахунки для трьох випадків жорсткості вимірювального елемента:

1. Випадок при використанні в якості вимірювального елемента амортизатора з пружиною;
2. Випадок при використанні в якості вимірювального елемента ресори;
3. Випадок при використанні в якості вимірювального елемента жорсткого датчика вимірювання сили.

Для реалізації вузла вимірювань зчпних якостей прийняте рішення застосувати третій випадок.

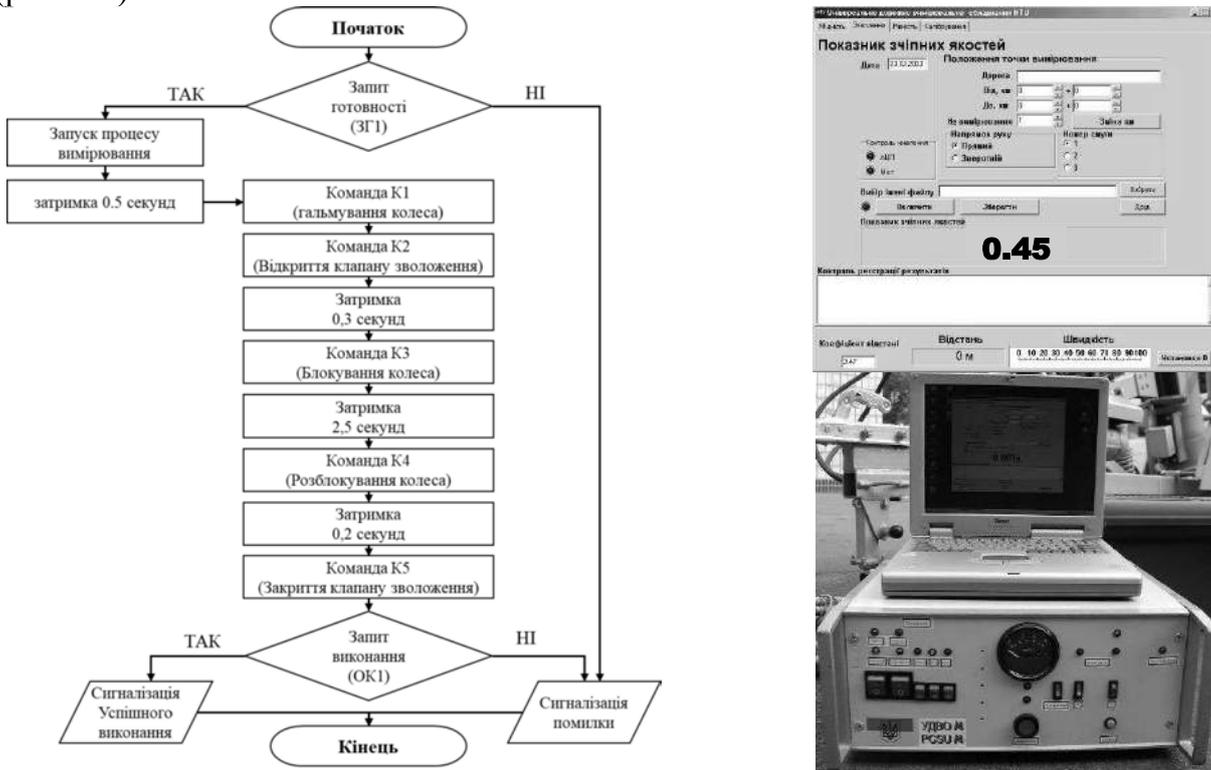
**Третій розділ** присвячений розробці Універсального дорожнього вимірювального обладнання “УДВО”(рис. 9) та експериментальним дослідженням.



**Рисунок 9** – Конструкція універсального дорожнього вимірювального обладнання (УДВО): важіль ударника 1 з ударником 3, та вузлом фіксації важеля 4 на амортизаторній стійці 5; важіль ударника 1 закріплений на осі 7 в конічних підшипниках; пульт ручного керування 2 та гідроелектропривод 6; гідроциліндр 8 призначений для підйому важеля ударника; гідроциліндр 9 підйому та опускання амортизаторної стійки 5; гідроциліндр 10 приводу крюка 11 для скидування ударника 3 під час вимірювання міцності покриття; з'єднувальні шланги гідросистеми 12. На рамі встановлено компресор 13, ресивер 14 з запобіжним клапаном 15; пневматична камера 16, яка за допомогою штока з'єднана з головним тормозним циліндром 17; лійка 18 з вмонтованою на ній пневмокамерою 19, яка керує зливом води під вимірювальне колесо; електропневмоклапани 20 та 21 керують роботою пневмокамер; з'єднувальні електрокабелі 22; датчики положення вузлів 23, електричні коробки з електронними вузлами автоматизованої системи керування вимірювальними процесами (АСКВП) 24.

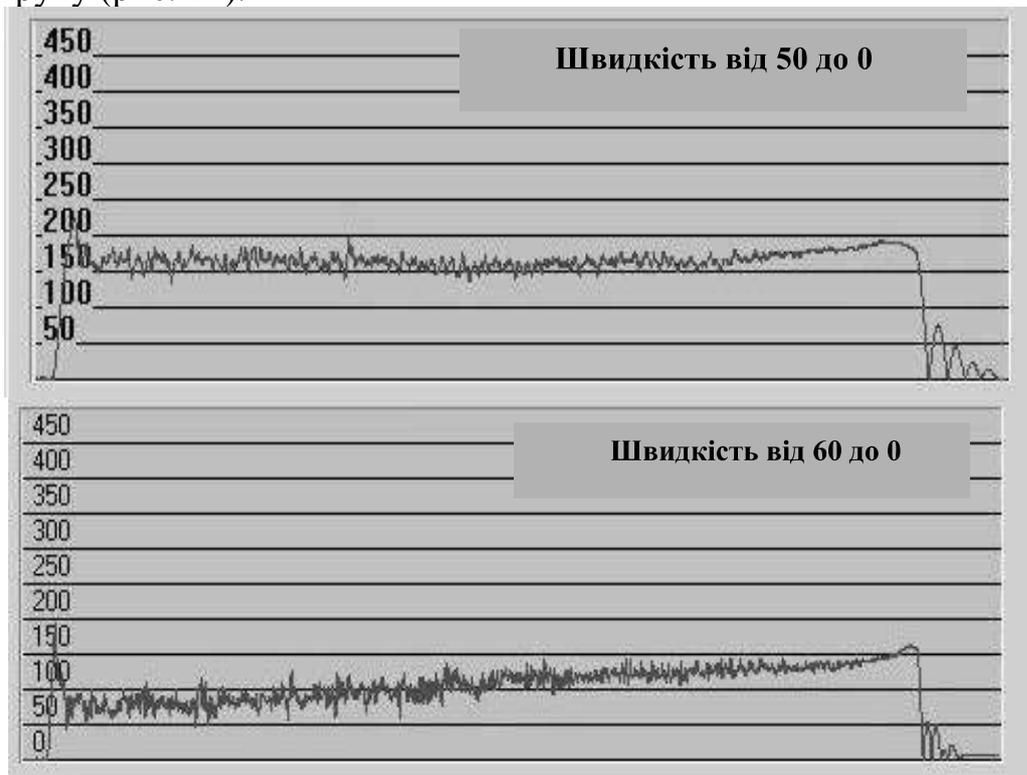
УДВО призначене для вимірювання коефіцієнта зчеплення, рівності дорожнього покриття і міцності дорожнього одягу. Конструкція приладу орієнтована на визначення коефіцієнта зчеплення, хоча дає змогу визначити і коефіцієнт тертя ковзання.

Розроблено алгоритм вимірювання показника зчіпних якостей, програмне забезпечення та блок автоматичного управління блокування вимірювального колеса (рис. 10).



**Рисунок 10** – Алгоритм вимірювання показника зчіпних якостей, програмне забезпечення та блок автоматичного управління блокування вимірювального колеса

На дослідних ділянках визначена залежність показника зчіпних якостей від швидкості руху (рис. 11).



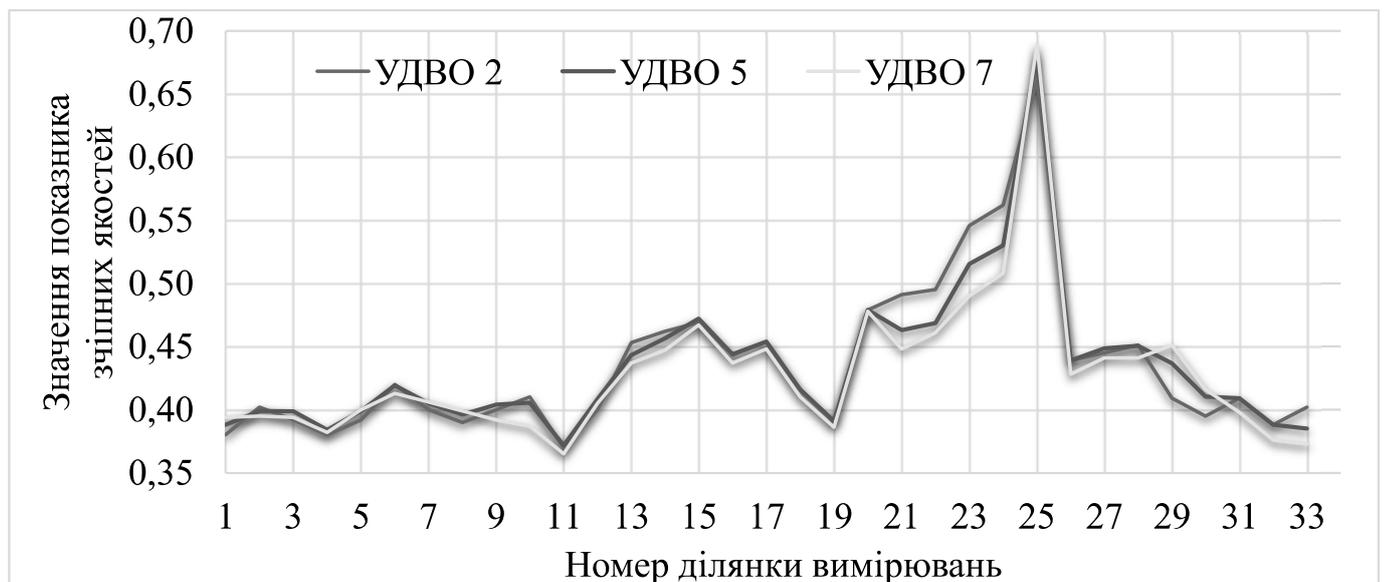
**Рисунок 11** – Залежність показника зчіпних якостей від швидкості руху

Проведені кореляційні випробування різних модифікацій УДВО (рис.12).



**Рисунок 12** – Кореляційні випробування

В результаті кореляційних випробувань встановлено, що відхилення результатів вимірювань різними модифікаціями УДВО не перевищує 5% (рис.13).



**Рисунок 13** – Результати кореляційних випробувань УДВО

У четвертому розділі наведені рекомендації щодо практичного застосування результатів дослідження.

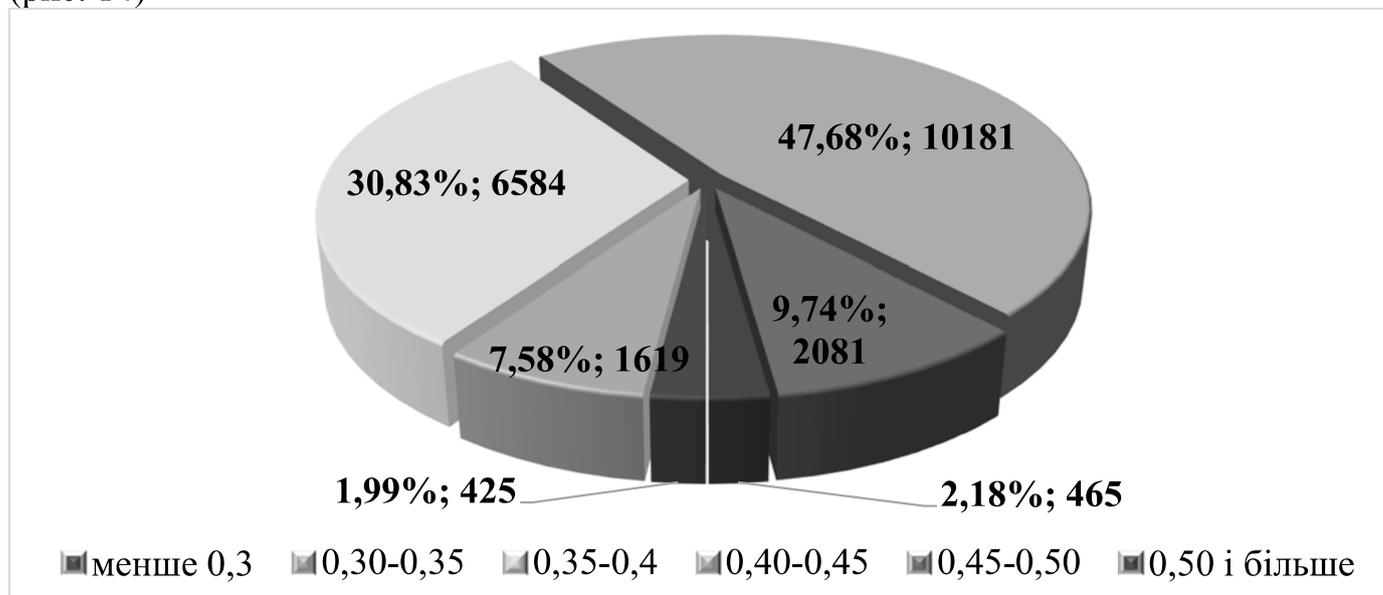
На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень було розроблено методику визначення зчіпних якостей універсальним дорожнім вимірювальним обладнанням (УДВО), яка стала основою для ДСТУ Б В.2.3-8-2003 «Споруди транспорту. Дорожні покриття. Методи вимірювання зчіпних якостей», ГСТУ 218-02070915-102-2003 "Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх покриттів. Методи та засоби», МВ 218-02070915-627:2007 «Методичні вказівки щодо визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожнього покриття універсальним дорожнім вимірювальним обладнанням.», СОУ 45.2-00018112-042:2009 «Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів», ДСТУ 8746:2017 «Автомобільні дороги. Методи вимірювання зчіпних властивостей поверхні дорожнього покриття»

Розроблено керівництво з експлуатації УДВО, програма і методика державної метрологічної атестації, проведена метрологічна атестація розробленого засобу.

Розроблений у дисертаційній роботі метод визначення зчіпних якостей дорожнього покриття дозволяє отримувати точні результати, які використовуються

при приймальному контролі для оцінки якості виконання робіт по влаштуванню дорожніх одягів та покриттів; при експлуатаційному контролі для виявлення ділянок з недостатніми зчпними якостями поверхні дорожнього покриття і обґрунтуванню ремонтних робіт.

У результаті впровадження УДВО проведено вимірювання показника зчпних якостей дорожніх покриттів на всій мережі автомобільних доріг державного значення України і визначені ділянки доріг, які не задовольняють вимогам до зчпних якостей (рис. 14)



**Рисунок 14** – Стан мережі автомобільних доріг державного значення України по зчпним якостям за 2017 р. %, км.

За рахунок автоматизації проведення вимірювань точність і швидкість випробувань з використанням автоматизованої системи управління збільшилась у 2 рази.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, що полягає в удосконаленні методу оцінки зчпних якостей дорожніх покриттів.

У дисертаційній роботі отримані наступні результати:

1. Проведено аналіз відомих методів і засобів оцінки зчпних якостей дорожніх покриттів, досліджено результати вимірювання показника зчпних якостей приладом ПКРС-2, який передбачений нормативними документами України. Відхилення результатів вимірювання коефіцієнта зчплення на одних і тих же ділянках доріг за абсолютною величиною, можуть досягати 0,19, а похибка вимірювань перевищує 30%. Така розбіжність результатів є неприйнятною для оцінки зчпних якостей.

2. Побудована математична модель курсової стійкості приладу; проведено дослідження можливості розвантаження вимірювального колеса приладу під час вимірювань; побудована математична модель руху колеса під час гальмування вимірювального колеса. Результати розрахунків та відповідних експериментальних досліджень підтвердили, що у моделі нового засобу оцінки зчпних якостей величина

навантаження вимірювального колеса під час вимірювань не змінюється, а кут відхилення приладу під час випробувань незначний і не впливає на режим руху.

3. На основі теоретичних і практичних досліджень побудовано алгоритм проведення вимірювань та удосконалено метод оцінки зчепних якостей дорожніх покриттів, на їх основі розроблено сучасний прилад оцінки зчепних якостей дорожніх покриттів, який став основою діючих нормативних документів України.

4. Розроблена та затверджена програма і методика державної метрологічної атестації, проведені всі необхідні калібрування вимірювальних елементів і виконана метрологічна атестація розробленого приладу.

5. У процесі експериментальних досліджень встановлено, що похибка вимірювань різних модифікацій УДВО становить не більше 5%; доведено принципову можливість вимірювання двох показників - коефіцієнта тертя спокою та коефіцієнта тертя ковзання за допомогою вузла вимірювання зчеплення УДВО; величина кутової швидкості, що відповідає максимальній силі зчеплення, не є сталою величиною.

На основі удосконаленого методу і засобу оцінки зчепних якостей тільки у 2017р., на замовлення Служби автомобільних доріг у Київській області, було проведено обстеження 21314 км автомобільних доріг державного значення і визначено, що на 594 км (2,29% мережі)  $\varphi < 0,3$  це слизькі, аварійно-небезпечні ділянки, а 2680 км (10,34% мережі) не відповідають чинним вимогам з безпеки дорожнього руху і потребують термінових заходів з покращення зчепних якостей  $\varphi < 0,35$ .

Результати дисертаційного дослідження знайшли своє відображення у трьох нормативних документах національного рівня і у двох –галузевого рівня. Матеріали досліджень були впроваджені у навчальний процес, а саме при викладанні дисципліни «Експлуатація автомобільних доріг» та в дипломному проектуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, ОП «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів»

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

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

1. Leonid Rybitskyi, Dmitry Pavlyuk. Improvement of Methods and Means of Evaluating of Skid Resistance Road Surfaces in Ukraine. *European Journal of Intelligent Transportation Systems*. 1(3) (2021).  
[https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ejits/30032021/7372](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ejits/30032021/7372)

**Статті у фахових виданнях:**

2. Павлюк Д.О., Андрєєв С.І., Рибіцький Л.Л. Про вимірювання коефіцієнта зчеплення методом екстреного гальмування. *Автошляховик України*. 1999. №1. С.49-50.

3. Павлюк Д.О., Кизима С.С., Андрєєв С.І., Рибіцький Л.Л. Зауваження щодо ДСТУ Б.В.2.3-2-97 (ГОСТ 30413-96) “Дороги автомобільні. Метод визначення

коефіцієнта зчеплення колеса автомобіля з дорожнім покриттям”. *Автошляховик України*. 1999. №3. С. 50-51.

4. Рибіцький Л.Л. Обґрунтування методики метрологічної атестації універсального дорожнього вимірювального обладнання. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. 2001. Вип. 63. С. 70-72.

5. Павлюк Д.О., Андреев С.І., Рибіцький Л.Л. Досвід виробничої експлуатації автомобільної причіпної установки ПКРС-2У та поштовхоміра “ВСВП-УТУ”. *Автошляховик України*. 2004. №2. С. 25-27.

6. Рибіцький Л.Л. Дослідження курсової стійкості “УДВО” на основі математичної моделі та експериментальних випробувань. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво* : науково-технічний збірник. 2004. Вип. 72. С. 154-161.

7. Павлюк Д.О., Рибіцький Л.Л., Лебедев О.С., Шурьяков М.В. Аналіз вимог нормативних документів України до зчіпних якостей дорожніх покриттів. *Автошляховик України*. 2010. № 2. С. 29-31.

8. Павлюк Д.О., Лебедев 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.

#### **Опубліковані праці апробаційного характеру:**

9. Павлюк Д.О., Іваніца Є.В., Булах О.І., Андреев С.І., Рибіцький Л.Л., Федоров М.О. Удосконалення способів і засобів вимірювання показників транспортно-експлуатаційних якостей дорожніх покриттів. Тези доповідей наук.-техн. Конф. “Шляхи підвищення ефективності дорожнього господарства України в нових умовах господарювання”. Київ: УТУ. 1998. С.72.

10. Рибіцький Л.Л. Застосування методу математичного моделювання для дослідження можливості виникнення автоколивань на датчику вузла вимірювань зчіпних якостей УДВО в залежності від пружних характеристик колеса і датчика. *Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 60-річчю НТУ*. Київ: НТУ. 2004. С. 61-62.

11. Павлюк Д.О., Булах Є.О., Рибіцький Л.Л., та інші. Удосконалення оцінки якості дорожніх покриттів. *Матеріали конференції в рамках II Міжнародної виставки “Будівництво доріг, дорожня інфраструктура, будівельні машини ROAD ENGINEERING Київ 4-6 вересня 2006 р.* К. : Укравтодор, 2006. С. 6-8.

12. Рибіцький Л.Л. Удосконалення методів вимірювання зчіпних якостей дорожніх покриттів. *LXXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. Київ: НТУ, 2020, 124 с.

13. Рибіцький Л.Л. Досвід функціонування СУСП та проектування ТЕО, влаштування метеостанцій та ОБНС. *Науково-практичний семінар «Особливості проектування автомобільних доріг загального користування: проблеми та задачі»*. Харків, 17-18 травня 2018 р.

14. Рибіцький Л.Л. Проектування в сучасних умовах. Покращення безпеки дорожнього руху на дорогах України. *Міжнародна конференція «Стан дорожньої інфраструктури у гірській місцевості та шляхи її покращення»*. Івано-Франківськ, 28 лютого 2020 р.

**Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

15. Павлюк Д.А., Лебедев А.С., Шурьяков М.В., Рыбицкий Л.Л., Сокольчук С.В. О целесообразности определения показателей сцепных качеств покрытий в режиме заданного проскальзывания колеса. *Сб. Научных докладов международной научно-технической конференции 7-9 июля 2010 г. Пути решения проблем дорожной отрасли СНГ*. Омск. 2010, С. 137 – 141.

16. Павлюк Д.А., Ильченко В.В., Рыбицкий Л.Л. Некоторые аспекты совершенствования оценки сцепных качеств дорожных покрытий. *Сб. науч. трудов. Научно-технические проблемы дорожной отрасли стран СНГ*. М.: 2000. С.193-195.

### **АНОТАЦІЯ**

**Рибицький Л.Л. Удосконалення методу оцінки зчїпних якостей дорожніх покриттів.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми». (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі представлено нове вирішення актуального питання удосконалення методу оцінки зчїпних якостей дорожніх покриттів шляхом підвищення вимог та обмежень до процесу вимірювань зчїпних якостей, підвищення точності вимірювальних елементів, збільшення продуктивності виконання робіт, покращення інформативності та безпеки, завдяки автоматизації вимірювальних процесів і фіксації місцеположення проведення вимірювань.

У результаті проведених досліджень розроблені та затверджені основні нормативні документи і створений сучасний прилад з оцінки зчїпних якостей дорожнього покриття. За допомогою розроблених методу і засобу оцінки зчїпних якостей, проведено обстеження всієї мережі автомобільних доріг державного значення України і проінформовані всі Служби автомобільних доріг у областях щодо ділянок автомобільних доріг з недостатніми зчїпними якостями поверхні дорожнього покриття, де є необхідність проведення робіт з покращення зчїпних якостей для забезпечення умов безпечного руху транспорту.

**Ключові слова:** безпека, вимірювання, зчеплення, зчїпні якості, ковзання, поверхня дорожнього покриття, слизькість, транспортно-експлуатаційні показники, універсальне дорожнє вимірювальне обладнання.

### **АННОТАЦИЯ**

**Рыбицкий Л.Л. Усовершенствование метода оценки сцепных качеств дорожных покрытий.** - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 «Автомобильные дороги и аэродромы». (192 - Строительство и гражданская инженерия). - Национальный транспортный университет, Киев, 2021.

В диссертационной работе представлено новое решение актуального вопроса усовершенствования метода оценки сцепных качеств дорожных покрытий путем

повышения требований и ограничений к процессу измерений сцепных качеств, повышения точности измерительных элементов, увеличения производительности выполнения работ, улучшения информативности и безопасности, благодаря автоматизации измерительных процессов и фиксации местоположения проведения измерений.

В результате проведенных исследований разработаны и утверждены основные нормативные документы и создан современный прибор для оценки сцепных качеств дорожного покрытия. С помощью разработанных метода и средства оценки сцепных качеств проведено обследование всей сети автомобильных дорог государственного значения Украины и проинформированы все Службы автомобильных дорог в областях об участках автомобильных дорог с недостаточными сцепными качествами поверхности дорожного покрытия, где есть необходимость проведения работ по улучшению сцепных качеств и обеспечения условий безопасного движения транспорта.

**Ключевые слова:** безопасность, измерения, сцепление, сцепные качества, скольжения, поверхность дорожного покрытия, скользкость, транспортно-эксплуатационные показатели.

### ABSTRACT

**L Rybitskyi Improvement of the method for assessing the skid resistance of pavement.** – As a manuscript.

The dissertation for candidate of technical sciences degree in specialty 05.22.11 «Highways and airfields». (192 –Construction and Civil Engineering).– National transport university, Kyiv, 2021.

The dissertation presents a new solution to the topical issue of improving the method of assessment of skid resistance of road pavements by increasing the requirements and restrictions to the process of measurement of friction properties, increasing the accuracy of measuring elements, work productivity, improving information and safety by automation of measuring processes and fixing the location of measurements.

During the experimental research, it was established that the error of measurements with different modifications of UDVO is up to 5%; it was proved that two values can be measured - friction coefficient at rest and coefficient of sliding friction, using UDVO friction measuring device; the value of angular velocity, corresponding to the maximum friction force, is not constant value.

As a result of research, main normative documents were developed and approved, and a modern device was developed for the measurement of skid resistance of road pavements. Using the developed methodology and device, the whole network of state roads of Ukraine was surveyed, and all Oblast Road Services were informed about road sections with insufficient friction properties of road pavements, where the works are required to improve friction properties and provide for traffic safety.

**Keywords:** safety, measurement, friction, skid resistance, sliding, road pavement surface, slipperiness, transport operational indicators, Universal road measurement equipment.