

**Міністерство освіти України
УКРАЇНСЬКИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

УДК 625.7.033.4:656.13.08:621:629.113

На правах рукопису

ПАВЛЮК ДМИТРО ОЛЕКСАНДРОВИЧ

**ОСНОВИ І ЗАСТОСУВАННЯ
ТЕОРІЇ ЗЧІПНИХ ЯКОСТЕЙ
ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ**

Спеціальність: 05.22.11 — Автомобільні шляхи та аеродроми

**АВТОРЕФЕРАТ ДИСЕРТАЦІЇ
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук**

Київ - 1996

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському транспортному університеті.

Науковий консультант:

Заслужений діяч науки України,
лауреат Державної премії України,
академік, докт. техн. наук, професор
Канарчук Вадим Євгенович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Леонів Іван Йосипович

доктор технічних наук, професор
Гаврилов Едуард Васильович

доктор технічних наук, професор
Сахно Володимир Прохорович

Провідна організація:

Українське державне
виробничо-технічне підприємство
"Укрдортехнологія"

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00760316 (N)

Захист відбудеться 26 червня 1996 року на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.01.27.03 при Українському транспортному університеті за адресою: 252010, м. Київ-10, вул. Суворова, 1, км. 401, о 10⁰⁰.

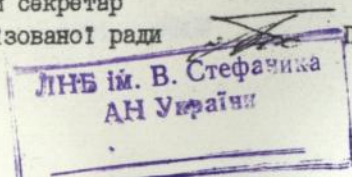
З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського транспортного університету.

Автореферат разісланий

24 травня 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради

Пальчик А.М.



7В-34.974 I

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Автомобілізація принесла суспільству найрізноманітніші блага. Та у зв'язку з її розвитком дороги стали місцем загибелі та увіччя мільйонів людей. Особливо небезпечна ситуація склалася в Україні, де питомі показники аварійності перевершують аналогічні дані з інших країн Європи у 3-8 разів.

Найрезультативніші заходи щодо підвищення безпеки руху пов'язані з покращенням зчіпних якостей покриттів. Їх удосконалення можливе на основі комплексного дослідження взаємодії колеса з поверхнею проїзної частини.

Накопичення знань про взаємодію колеса з покриттям відбувалося чотирма, переважно незалежними один від одного, шляхами, пов'язаними з діяльністю автомобілебудівників, шинників, фахівців з експлуатації покриттів та з триботехніки. Їх дослідження носили однобічний характер, що зумовлено відомчою належністю, вузькістю і обмеженістю вирішуваних питань. Рівень розробки останніх не відповідає сучасним умовам, які характеризуються розповсюдженням швидкохідних автомобілів, в тому числі з антиблокувальними системами.

Наведені обставини та значний ріст аварійності за останні роки свідчать про те, що в сучасних умовах вирішити проблему безпеки дорожнього руху за рахунок покращення зчеплення коліс автомобілів з поверхнею проїзної частини на основі досягнутого рівня знань щодо зчіпних якостей дорожніх покриттів, з використанням відомих способів їх практичного втілення, неможливо.

Звідси випливає необхідність розробки нового підходу до вирішення вказаної проблеми, заснованого на єдиному методологічному принципі системного аналізу процесів і явищ, що мають місце в зоні контакту колеса з поверхнею проїзної частини, встановленні причинно-наслідкових зв'язків між параметрами дорожнього покриття та характеристиками взаємодії з ним шин транспортних засобів для можливих режимів руху колеса і їх застосуванні при розробці практичних способів покращення зчеплення коліс автомобілів з дорожнім покриттям. Реалізація вказаного підходу означає створення прикладної теорії зчіпних якостей дорожніх покриттів.

Мета дослідження: розробка основ теорії зчіпних якостей дорожніх покриттів і способів їх застосування при вирішенні практичних задач проектування, будівництва та експлуатації доріг, пов'язаних з підвищенням безпеки руху.

Методи дослідження. У роботі використані теоретичні та експериментальні методи досліджень. Теоретичні методи базувалися на основних положеннях окремих напрямків механіки контактної взаємодії твердих тіл, теорії в'язко-пружності, диференціальної геометрії та трибології.

Експериментальні дослідження виконувалися в лабораторних умовах, на дослідних ділянках доріг та вулиць і базувалися на використанні як відомих, так і спеціально розроблених у процесі теоретичних досліджень методик.

Наукова новизна, теоретична і практична цінність дослідження. Наукова новизна і теоретична цінність дослідження полягає в тому, що створено основи теорії зчіпних якостей дорожніх покриттів, які включають результати вирішення задач: про заглиблення виступів шорсткості в протектор шини з урахуванням в'язко-пружних характеристик гуми; про роботу, що затрачується на деформацію протектора виступами шорсткості покриття з урахуванням режиму руху колеса; про залежність попереднього зміщення шини при гальмуванні автомобіля від кінематичної розбіжності руху ободу колеса і бігової доріжки шини; про визначення гідродинамічної підйомної сили води в зоні контакту колеса з покриттям з урахуванням її динамічної і в'язкої дії. З використанням вказаних результатів розроблено нові модель взаємодії колеса з мокрим дорожнім покриттям та модель дорожньої поверхні.

Практична цінність роботи полягає у підвищенні рівня наукової обґрунтованості вирішення відомих, та у постановці і вирішенні нових задач проектування, будівництва та експлуатації доріг, пов'язаних з безпекою руху. Зокрема, розроблено методику проектування поверхні дорожнього покриття, яка з урахуванням конкретних умов виробництва забезпечує найкращі зчіпні якості поверхні проїзної частини; поставлено і вирішено питання цілеспрямованого регулювання технологічних параметрів для забезпечення заданих при проектуванні матеріально-структурних показників зчіпних якостей поверхневих обробок; розроблено визнані винаходами способи вимірювання

показників взаємодії колеса з покриттям, що дають можливість розширити об'єм інформації про його зчіпні якості; розроблено визнані винаходами способи керування рухом транспортних засобів, що дають змогу уникнути заносу і зменшити довжину шляху гальмування; удосконалено способи розрахунку руху автомобіля при гальмуванні, що виключають похибки відомих у дорожній практиці формул, величина яких може досягати 40-60%.

Рівень реалізації наукових розробок. Результати роботи реалізовані при розробці заходів щодо підвищення безпеки руху в місцях концентрації ДТП на магістральних дорогах Санкт-Петербург - Київ - Одеса, Одеса - Рені, Брест - Кишинів- Одеса; при розробці заходів щодо підвищення транспортно-технічного рівня вулично-дорожньої мережі м. Чернігова; при розробці "Технічного завдання на пересувний механізований модульний комплекс для влаштування поверхневих обробок"; при розробці "Рекомендацій по назначению видов работ по капитальным и средним ремонтам нежестких дорожных одежд" (Київ, Миндорстрой УССР, 1989) та "Рекомендацій по удосконаленню технології влаштування шорстких поверхневих обробок в умовах України" (Київ, Українська державна корпорація "Укравтодор", 1995); при розробці проекту "Технічних правил експлуатації і утримання автомобільних доріг загального користування України", при виконанні НДР "Розробка Державного стандарту України "Шорсткість покриттів автомобільних доріг. Параметри. Методи вимірювання".

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи були представлені на наук.-техн. конференціях "Повышение эффективности строительства и эксплуатации автомобильных дорог" (Харків, 1985); "Повышение качества строительства автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР" (Владимир, 1985, 1986); "Пути повышения безопасности дорожного движения" (Вильнюс, 1985); "Повышение качества строительства автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР" (Суздаль, 1987); "Пути совершенствования эксплуатационных качеств автомобильных дорог и повышения безопасности дорожного движения" (Волгоград, 1989); "Особенности проектирования и строительства автомобильных дорог в условиях Северо-Запада" (Архангельск, 1988); "Повышение качества строительства и ремонта автомобильных дорог и мостов в условиях Северного Кав-

каза в осенне-зимний период" (Краснодар, 1989); "Проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог" (Суздаль, 1992); "Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации местных автомобильных дорог" (Мінськ, 1992); "Автомобильные дороги Сибири" (Омськ, 1994); "Шляхи підвищення ефективності дорожнього господарства України в нових умовах господарювання" (Київ, 1994), а також на 40-й (1984), 43-47-х (1987-1991) наукових конференціях Київського автомобільно-дорожнього інституту та на науковому семінарі кафедри будівництва та експлуатації доріг і кафедри матеріалознавства і ремонтного виробництва Українського транспортного університету.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані в 46 роботах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, основних результатів та висновків, списку літератури із 493 найменувань, додатку, разом з якими її обсяг складає 480 сторінок. Текст ілюструється 162 рисунками і містить 58 таблиць.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано характеристику стану аварійності в Україні, загальну характеристику шляхів накопичення знань з питань взаємодії колеса з покриттями, обґрунтовано мету, наукову новизну, теоретичну і практичну цінність дослідження.

В першій главі наведено аналіз виконаних досліджень, пов'язаних із зчепленням колеса автомобіля з дорожнім покриттям. Вони почалися в середині 20-х років у зв'язку з бурхливим розвитком автомобільного транспорту. В різні часи їм були присвячені роботи Є.О.Чудакова, М.С.Замахаяєва, Р.А.Майєра, П.Пепенхайзена, Бредлі, Аллена, В.І.Кнороза, І.В.Петрова, А.Шалламаха, Д.Тейбора, А.Б.Гредескула, Г.Б.Везбородової, М.Ф.Кошарного, В.А.Петрова, М.Леру, Л.С.Стецка, В.О.Петрушова, М.А.Петрова, О.С.Федосова, В.І.Сироти, Є.Г.Подліха, В.О.Астрова, М.О.Паршина, Р.Ф.Лукашука, Д.В.Кузнецова, Н.Кульмурадова, І.Н.Христовлюбова, Б.М.Єлісеева, Б.М.Косарева, Я.Люка, А.Паске, Циганова М.В., А.А.Рибальченко, В.А.Любченко, Ф.П.Гончаренко, Я.Бертъє, Н.А.Лушнікова, І.Ченга, В.Почка, М.В.Немчинова, А.К.Актанова, І.И.Леонovichа, Д.Б.Зонова, В.М.

Кмашева, О.П. Васильєва, А.Я.Ерастова, С.С.Блізніченко, І.А. Орехова, О.Н.Нечаєва, В.В. Часовникова, Ю.С. Левіна, А.Н.Ларіна, Б.Л.Бухіна, Л.Г.Мар'яхіна, С.Ф.Світличної, С.С.Кизими, О.Є.Стефановича, С.І.Андрєєва, Є.В.Іваниці, В.Г.Герасименко, Л.Г.Паніної, О.С.Забишного, Ю.М.Осяєва, І.В. Крагельського, М.М.Міхіна, В.С.Комбалова, М.А.Бронєвца, Д.Мура, В.Хорна, Т.Ягера, Д.Генрі, М.Поттінгера та ін.

Згадані дослідження велись за такими напрямками:

1) вивчення залежності зчеплення колеса автомобіля від експлуатаційних факторів; 2) вивчення впливу зчіпних якостей покриттів на режими і безпеку дорожнього руху; 3) розробка і дослідження математичних моделей взаємодії колеса з покриттям; 4) розробка засобів і способів вимірювання показників зчіпних якостей покриттів; 5) нормування коефіцієнта зчеплення та показників шорсткості покриття; 6) технологічне забезпечення зчіпних якостей дорожніх покриттів.

Рівень знань в області реалізації першого з вказаних напрямків характеризується високою насиченістю експериментальними даними про залежність коефіцієнта зчеплення від факторів, до яких відносяться: зносостійкість частинок кам'яного матеріалу, їх форма і твердість граней; стан покриття з точки зору зволоження і забруднення; конденсація вологи з повітря; характер атмосферного зволоження; температура повітря, покриття і шин; швидкість руху колеса і степінь його проковзування; тип, вага автомобіля і навантаження на колесо; тиск повітря в шинах; площа контакту шини з покриттям; степінь зносу виступів протектора; хімічний склад гуми та ін.

Відомі дослідження впливу зчеплення коліс з поверхнею проїзної частини на безпеку руху показують, що частка ДТП з причин слизькості чи низьких зчіпних якостей дорожніх покриттів складає від 14 до 80% загальної кількості пригод.

Вплив зчіпних якостей покриттів на безпеку руху в першу чергу проявляється при зволоженні проїзної частини. Тому як розрахунковий випадок з точки зору зчіпних якостей покриття слід розглядати перебування його у зволоженому стані.

Розробка математичних моделей взаємодії колеса з мокрим покриттям здійснювалась шляхом реалізації двох підходів. Перший з них заснований на використанні теореми про зміну кількості руху рідини та формул з теорії глісирования. Ана-

ліз отриманих при реалізації цього підходу результатів показав, що вони суттєво відрізняються від експериментальних. Цим підтвердився висновок Д.Мура про те, що динамічна дія води може бути причиною виникнення граничного випадку взаємодії колеса з мокрим покриттям - аквапланування - тільки для авіаційних шин, тобто при значних швидкостях руху.

Другий підхід заснований на використанні часткових випадків рівняння Рейнольдса. Числовий аналіз отриманих при реалізації цього напрямку результатів показав, що в'язка дія рідини теж не може бути вичерпною причиною аквапланування шин автомобілів, оскільки для процесів, що супроводжують взаємодію колеса з мокрими покриттями, число Рейнольдса може досягати кількох тисяч.

На цей час розроблено велику кількість засобів вимірювання показників зчіпних якостей покриттів, найбільшого розповсюдження серед яких отримали динамометричні автомобільні причіпні прилади. Аналіз даних порівняльних випробувань показав, що відхилення результатів вимірювання коефіцієнта зчеплення від показань прийнятого за базовий прилад "ПКРС-2У" можуть досягати від -40 до +50%, а для самих приладів типу ПКРС - від -10 до +34%.

З тим, питання про вимірювання показників зчіпних якостей не можна вважати вирішеним. Це обумовлено складністю процесів і явищ, що мають місце при взаємодії колеса з покриттям, їх залежності від багатьох факторів.

Нормування показників зчіпних якостей покриттів засноване на результатах дослідження їх впливу на безпеку руху.

Технологічне забезпечення зчіпних якостей покриттів засноване переважно на аналізі одно-, рідко коли двох- або трьохфакторних експериментальних залежностей коефіцієнта зчеплення від параметрів покриття, що підлягають технологічному регулюванню. Воно не передбачає того, щоб задовольняти вимоги руху транспортних засобів за умов, відмінних від умов вимірювання прийнятого на цей час показника зчіпних якостей покриттів. Величина останнього визначається як відношення виміряної при повному ковзанні із сталюю швидкістю (60 км/год) заблокованого вимірювального колеса сили реакції покриття до ваги вимірювального засобу.

Узагальнюючи результати виконаних досліджень, слід від-

значити, що переважна більшість їх стосується коефіцієнта тертя ковзання, з величиною якого і ототожнювались зчіпні якості дорожніх покриттів. Відомі в триботехніці поняття, такі, як, наприклад, коефіцієнт тертя спокою, неповна сила тертя спокою майже не використовувались.

Прийнятий на цей час показник характеризує властивості дорожнього покриття лише при одному режимі руху коліс автомобілів - ковзанні, яке, до того ж, відбувається з певною встановленою швидкістю. На практиці випадки повного блокування коліс транспортних засобів зустрічаються рідко і мають місце переважно при швидкості, рівній 0,15-0,3 від початкової швидкості гальмування.

Що ж стосується практичного застосування інформації про прийнятий показник для вирішення задач організації або підвищення безпеки дорожнього руху, то в більшості випадків він виявляється непридатним для цього, так як не дозволяє виконувати скільки-небудь точні розрахунки руху транспортних засобів, який відбувається із зміною швидкості.

Вказані обставини зумовили значний розрив між обсягом накопичених знань щодо прийнятого у теперішній час показника зчіпних якостей дорожніх покриттів і обсягом їх практичного застосування.

Спроби застосування інших показників для характеристики зчіпних якостей дорожніх покриттів зустрічаються у роботах О.П.Васильєва, М.В.Немчинова та Д.Генрі. Вони засновані переважно на емпіричних даних і мають постановний характер.

Вихід з такого становища, що характеризується дефіцитом теоретичних досліджень в області технологічного забезпечення зчіпних якостей дорожніх покриттів, а також значним відставанням в цій області досягнень дорожньої науки від рівня розвитку фундаментальних суміжних наук полягає у створенні основ теорії зчіпних якостей дорожніх покриттів.

Досягнення пов'язаної з цим мети даної роботи передбачає вирішення завдань: 1)обґрунтування різновидностей, функціональних і матеріально-структурних показників зчіпних якостей покриттів; 2)розробка теоретичних передумов практичного використання функціональних показників; 3) аналіз явищ і процесів, що відбуваються в зоні контакту колеса з покриттям, і вирішення питань про можливість застосування для їх

описання досягнень відомих споріднених теорій; 4) побудова математичної моделі взаємодії колеса з поверхнею проізної частини і моделі дорожньої поверхні; 5) розробка способів дослідження моделей; 6) експериментальна перевірка моделей і положень, на основі яких вони побудовані; 7) розробка заходів щодо покращення зчеплення коліс транспортних засобів з дорожніми покриттями на основі дослідження моделей.

В другій главі наведено обґрунтування функціональних показників зчіпних якостей дорожніх покриттів.

Узагальнюючи результати виконаних на цей час досліджень, показники зчіпних якостей дорожніх покриттів поділено на дві групи: матеріально-структурні і функціональні.

Матеріально-структурні показники характеризують поверхню покриття як матеріальне утворення і кількісно визначають функціональні показники, пов'язані із здатністю покриття задовольняти потреби дорожнього руху. Останні передбачають необхідні зміни як траєкторії, так і швидкості. І те, і інше зумовлює прискорений рух під впливом діючих на автомобіль дотичних реакцій покриття, величина яких, як відомо, залежить від режиму руху колеса. Вказаний режим доцільно характеризувати коефіцієнтом розбіжності k_p кутових швидкостей ободів гальмуючого ω_k і вільного від гальмового моменту колеса ω_c , що має однакову з гальмуючим колесом швидкість поступального руху v_e :

$$k_p = 1 - \frac{\omega_k}{\omega_c} \quad (1)$$

Необхідність його введення пов'язана з тим, що характеризувати ділянку I (рис.1) відомої залежності дотичної реакції R від режиму руху колеса прийнятим коефіцієнтом ковзання є неможливо, оскільки ковзання всіх точок контакту шини відносно покриття на вказаній ділянці не відбувається.

Графік залежності $R = R(k_p)$ і графік уточненої залежності $R = R(s)$ мають вигляд, зображений на рис.2.

Коефіцієнт ковзання s визначається із відношення (2) а зв'язок між ним і k_p має вигляд (3), (рис.2)

$$s = \frac{v_s}{v_e} \quad (2) \quad \left. \begin{aligned} s &= 0, & 0 < k_p < k_{p.kp} \\ s &= k_p, & k_{p.kp} \leq k_p < 1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де v_s - швидкість ковзання всіх точок контакту шини з покриттям; $k_{p.kp}$ - критична величина коефіцієнта розбіжності, що відповідає R_{max} , причому $k_{p.kp} = s_{kp}$.

При $k_p > k_{p.kp}$ починається дійсне проковзування колеса; всі точки поверхні його бігової доріжки, що приймають участь у контакті з покриттям, отримують швидкість $v_s = s v_e$. Характерно, що область значень s обмежена знизу: $s \geq k_{p.kp}$, тому v_s стрибкоподібно збільшується від 0 до деякого скінченного значення. Відповідно до цього таким же чином мусить змінюватися і R , чого, однак, на графіках, подібних наведеному на рис. 1, не зображають. Напевно, цей стрибок R губиться при згладжуванні емпіричних даних, зображення яких точками на площині ORs в дійсності утворює поле.

Відомо, що ковзання є найбільш небезпечним режимом руху коліс транспортних засобів, при якому для більшості водіїв вони стають практично некерованими. Більшості ДТП, як правило, передують перехід коліс саме в цей режим руху. Тому властивості дорожніх покриттів мають бути в першу чергу такими, щоб не допустити режим ковзання або, принаймні, як можна далі відтягнути момент його виникнення в часі.

Цього можна досягти тільки шляхом забезпечення якомога більшого значення R_{max} , з яким і повинен бути пов'язаний основний показник зчіпних якостей дорожніх покриттів.

Оскільки при $0 < k_p < k_{p.kp}$ переважна більшість контактуючих з покриттям точок шини колеса знаходяться у стані зчеплення з ним, саме R_{max} слід називати силою зчеплення, а її відношення до нормальної реакції покриття - коефіцієнтом зчеплення ϕ .

Оскільки при $k_{p.kp} < k_p < 1$ всі контактуючі з покриттям точки шини ковзають по поверхні проїзної частини, відношення R_s до нормальної реакції слід називати коефіцієнтом тертя ковзання, залишаючи за ним його попереднє позначення - ϕ .

Значення обох коефіцієнтів ϕ і ϕ , перший з яких характеризує здатність покриття не допускати режиму ковзання, другий - здатність чинити опір ковзанню коліс, залежать від швидкості. З аналізу відомих емпіричних даних встановлено, що для реальних швидкостей у загальному випадку функції $\phi = \phi(v)$ і $\phi = \phi(v)$ можна подати у вигляді

$$\Phi = \Phi_0 e^{\gamma v} \quad (4) \quad \phi = \phi_0 e^{\lambda v}, \quad (5)$$

де Φ_0, ϕ_0 - величини відповідних коефіцієнтів при $v \rightarrow 0$;
 γ, λ - параметри, що характеризують залежність відповідних коефіцієнтів від швидкості.

Слід відзначити, що введення таких показників зчіпних якостей дорожніх покриттів, що відрізняються від коефіцієнта тертя ковзання при фіксованій швидкості, є новим переважно для дорожньої практики.

В третій главі розроблено теоретичні передумови практичного використання функціональних показників.

Зчіпні якості покриттів проявляються під час руху автомобіля, для дослідження якого необхідно скласти відповідні рівняння. У переважній більшості відомих робіт з механіки автомобіля рух його розглядають як плоскопаралельний.

Траса автомобільної дороги являє собою просторову криву, тому у загальному випадку траєкторію руху центра інерції С автомобіля в нерухомій системі координат $Oxyz$ подамо у вигляді графіка вектор-функції

$$\vec{r}(u) = x(u)\vec{e}_1 + y(u)\vec{e}_2 + z(u)\vec{e}_3, \quad (6)$$

де $\vec{r}(u)$ - радіус-вектор точки С відносно точки О; $x(u), y(u), z(u)$ - координати точки С (рис.3).

Зв'яжемо з автомобілем рухому систему координат S_{rto} . Вектор $\vec{t}$ направлений по дотичній до траєкторії точки С (рис. 3), вектор $\vec{\rho}$ перпендикулярний до $\vec{t}$ і, в той же час, паралельний площині, дотичній до поверхні проїзної частини. Вектор $\vec{o}$ є векторним добутком векторів $\vec{\rho}, \vec{t}$. Якщо водій не виконує маневри, які відрізняються від тих, що обумовлені напрямком траси, трійка векторів $\vec{\rho}, \vec{t}, \vec{o}$ утворює супровідний тригранник дороги, введений автором по аналогії з відомих у диференціальній геометрії супровідним тригранником Френе.

Система координат S_{rto} враховує геометричні параметри траси і поперечного профілю дороги і зручна для визначення моментів поздовжньої і поперечної дотичних реакцій, які виявляються колінеарними векторам $\vec{t}$ і $\vec{\rho}$ (рис.4). Це спростує рівняння руху автомобіля у просторі, загальний випадок яких з застосуванням основного закону динаміки та теореми про зміну кінетичного моменту отримано у вигляді (7)-(12):

$$-m k v^2 (\bar{\sigma}, \bar{\beta}) - m (\bar{g}, \bar{\rho}) = R_{1\rho} + R_{2\rho} + R_{3\rho} + R_{4\rho} + S_{\rho}, \quad (7)$$

$$m j - m (\bar{g}, \bar{\tau}) = R_{1\tau} + R_{2\tau} + R_{3\tau} + R_{4\tau} + S_{\tau}, \quad (8)$$

$$m k v^2 (\bar{\rho}, \bar{\beta}) - m (\bar{g}, \bar{\sigma}) = R_{1\sigma} + R_{2\sigma} + R_{3\sigma} + R_{4\sigma} + S_{\sigma}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} v^2 \left[I_{\rho} \frac{1}{|\bar{r}'|} \frac{d}{du} \left(\frac{(\bar{\tau}', \bar{\sigma})}{|\bar{r}'|} \right) + I_{\tau\sigma} \left(\frac{(\bar{\rho}', \bar{\tau})^2}{|\bar{r}'|^2} - \frac{(\bar{\rho}', \bar{\sigma})^2}{|\bar{r}'|^2} \right) - \right. \\ \left. - (I_{\sigma} - I_{\tau}) \frac{(\bar{\rho}', \bar{\sigma})}{|\bar{r}'|} \frac{(\bar{\rho}', \bar{\tau})}{|\bar{r}'|} \right] + j I_{\rho} \frac{(\bar{\tau}', \bar{\sigma})}{|\bar{r}'|} = \\ = a_1 R_{1\sigma} + a_1 R_{2\sigma} - b_1 R_{3\sigma} - b_1 R_{4\sigma} + \\ + h_1 R_{1\tau} + h_1 R_{2\tau} + h_1 R_{3\tau} + h_1 R_{4\tau} + M_{\rho}(S), \quad (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v^2 \left[\frac{(\bar{\tau}', \bar{\sigma})}{|\bar{r}'|} \left((I_{\rho} - I_{\sigma}) \frac{(\bar{\rho}', \bar{\tau})}{|\bar{r}'|} - I_{\tau\sigma} \frac{(\bar{\rho}', \bar{\sigma})}{|\bar{r}'|} \right) - \right. \\ \left. - I_{\tau} \frac{1}{|\bar{r}'|} \frac{d}{du} \left(\frac{(\bar{\rho}', \bar{\sigma})}{|\bar{r}'|} \right) - I_{\tau\sigma} \frac{1}{|\bar{r}'|} \frac{d}{du} \left(\frac{(\bar{\rho}', \bar{\tau})}{|\bar{r}'|} \right) \right] - \\ - j \left[I_{\tau} \frac{(\bar{\rho}', \bar{\sigma})}{|\bar{r}'|} + I_{\tau\sigma} \frac{(\bar{\rho}', \bar{\tau})}{|\bar{r}'|} \right] = \\ = -h_1 R_{1\rho} - h_1 R_{2\rho} - h_1 R_{3\rho} - h_1 R_{4\rho} + \\ + c_1 R_{1\sigma} - c_1 R_{2\sigma} - c_1 R_{3\sigma} + c_1 R_{4\sigma} + M_{\tau}(S), \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v^2 \left[- \frac{(\bar{\tau}', \bar{\sigma})}{|\bar{r}'|} \left((I_{\tau} - I_{\rho}) \frac{(\bar{\rho}', \bar{\sigma})}{|\bar{r}'|} + I_{\tau\sigma} \frac{(\bar{\rho}', \bar{\tau})}{|\bar{r}'|} \right) + \right. \\ \left. + I_{\sigma} \frac{1}{|\bar{r}'|} \frac{d}{du} \left(\frac{(\bar{\rho}', \bar{\tau})}{|\bar{r}'|} \right) + I_{\tau\sigma} \frac{1}{|\bar{r}'|} \frac{d}{du} \left(\frac{(\bar{\rho}', \bar{\sigma})}{|\bar{r}'|} \right) \right] + \\ + j \left[I_{\sigma} \frac{(\rho', \tau)}{|\bar{r}'|} + I_{\tau\sigma} \frac{(\rho', \sigma)}{|\bar{r}'|} \right] = \\ = -c_1 R_{1\tau} + c_1 R_{2\tau} + c_1 R_{3\tau} - c_1 R_{4\tau} - \\ - a_1 R_{1\rho} - a_1 R_{2\rho} + b_1 R_{3\rho} + b_1 R_{4\rho} + M_{\sigma}(S), \quad (12) \end{aligned}$$

$$R_{i\tau} = \Phi_0 \Theta^{\gamma\nu} R_{i\sigma}, \quad k_p = k_{p, \kappa p}; \quad (13)$$

$$R_{i\tau} = \Phi_0 \Theta^{\lambda\kappa p \nu} R_{i\sigma}, \quad k_{p, \kappa p} < k_p \leq 1. \quad (14)$$

Після представлення дотичних реакцій, що стоять в правих частинах у вигляді залежностей (13), (14) від функціональних показників зчіпних якостей дорожнього покриття, наведені рівняння дають змогу розв'язувати як пряму, так і обернену задачі механіки, зокрема, розраховувати рух автомобіля при гальмуванні. Це і є одним із напрямків практичного використання функціональних показників.

Рівняння (7 - 12) показують, що зміна лінійних швидкості v або прискорення j автомобіля викликає зміну дотичних реакцій. Останні обмежені скінченними величинами, зумовленими зчіпними якостями покриттів. Звідси впливає другий напрямок використання функціональних показників - розробка способів керування рухом автомобілів, які мають бути засновані на виборі таких кінематичних параметрів, щоб відповідні їм величини дотичних реакцій не перевершували максимально можливих.

Четверта глава присвячена обґрунтуванню матеріально-структурних показників зчіпних якостей дорожніх покриттів і встановленню їх зв'язку з функціональними показниками.

Найбільший інтерес представляють ті характеристики покриття, які мають безпосередній зв'язок з функціональними показниками. Встановити його можна шляхом побудови математичних моделей взаємодії колеса з покриттям, в яких характеристики покриття відігравали б роль вхідних параметрів. Під час аналізу моделей можна встановити, які саме вхідні параметри обумовлюють кількісну визначеність функціональних показників, і віднести їх до матеріально-структурних.

Побудова математичної моделі взаємодії колеса з покриттям почалась з вирішення питань про можливість застосування для цього відомих теорій і підходів.

Для описання взаємодії колеса з сухим покриттям найчастіше застосовувалася молекулярно-механічна теорія тертя. Одна із останніх спроб такого використання наведена в роботах М.М. Міхіна. Однак, при її реалізації було допущено ряд неточностей, пов'язаних з аналітичним визначенням залежності площі контакту від навантаження на колесо.

Це обумовило необхідність ще одного звернення до молекулярно-механічної теорії тертя, в результаті чого отримано таку формулу для визначення сили зчеплення:

$$R_{\max} = 1,5 \theta^{\frac{2}{3}} N^{\frac{2}{3}} (k_H A_H)^{\frac{1}{3}} \tau_0 R_H^{\frac{1}{3}} \nabla + 0,435 N \frac{\beta}{t_H R_H^{0.5}} \nabla^{1.5} + 0,0568 \alpha_{\text{эф}} \theta^{\frac{1}{3}} N^{\frac{4}{3}} \left[(k_H A_H)^{\frac{1}{3}} t_H^2 R_H^{\frac{4}{3}} \right]^{-1} \nabla^2 \quad (15)$$

де τ_0 - дотичне напруження при екстраполяції нормального тиску до 0, Па; β - коефіцієнт зміцнення міжмолекулярних зв'язків; R_H - середній радіус виступів шорсткості, м; $\alpha_{\text{эф}}$ - коефіцієнт гістерезисних витрат; b, ν - параметри опорної кривої; ∇ - нова комплексна характеристика шорсткості дорожньої поверхні, м^{-1/3}:

$$\nabla = \left(b \nu \varepsilon_{\text{кр}}^{\nu-1} \right) h_{\max}^{-\frac{1}{3}},$$

$\varepsilon_{\text{кр}}$ - критична величина зближення поверхонь шини та покриття; $h_{\max}$ - відстань між лінією виступів та лінією впадін профіля, м; t_H - щільність виступів шорсткості, 1/м; k_H - коефіцієнт насиченості рисунку протектора; θ - параметр, що визначається жорсткістю протектора:

$$\theta = (1 - \mu^2) \left(h_{\text{пр}} + k_H (\delta - h_{\text{пр}}) \right) \left(E_r k_H \delta \right)^{-1}$$

E_r - модуль пружності гуми, Па; δ - висота шару гуми у попе-речному розрізі шини, м; $h_{\text{пр}}$ - глибина рисунку протектора, м; A_H - номінальна площа контакту, м²; N - навантаження на шину, Н.

Перевірка виразу (15) виконувалась шляхом зіставлення експериментальних і розрахункових даних. Перші з них отримані в лабораторії за допомогою приладу "ПКРС-2У", під колесо якого встановлювалися змінні підкладки із зразками покриттів. Для отримання розрахункових даних з застосуванням теорії точності вимірювань було визначено необхідну точність вимірювання параметрів, що входять до його правої частини.

Необхідна точність визначення параметрів шорсткості досягається за рахунок вибору відповідної довжини ділянки запису профілограми. Виконаний аналіз рекомендацій щодо вибору вказаної довжини у машинобудуванні показав, що вони не можуть безумовно використовуватись для дорожніх покриттів, оскільки стосуються набагато менших розмірів.

У зв'язку з цим розроблено методику визначення необхід-

ної довжини зйомки профілограми в залежності від точності визначення характеристик шорсткості дорожньої поверхні i_n , $h_{\max}$, h_{cp} , $\epsilon_{кр}$, R_n , δ і ν . Позначимо довжину профілограми змінною l і будемо вважати, що вона приймає цілі додатні значення, вимірювані в одиницях довжини. Для довільного обмеженого значення l можна знайти кожний з вказаних параметрів, значення яких може приймати змінна p_l . При безмежному зростанні довжини запису профілограми послідовність значень змінної p_l прямує до певної величини:

$$\lim_{l \rightarrow \infty} p_l = p^*.$$

яка однозначно визначає числове значення того чи іншого параметра шорсткості покриття. Зрозуміло, що вже при досить значному l $p_l \approx p^*$. Похибка цієї оцінки невідома, оскільки невідоме точне значення p^* . Тому використовувався критерій Коші, згідно з яким збіжна послідовність є фундаментальною, тобто для довільного додатнього числа ξ знайдеться таке число l' , що для всіх $l > l'$ і для любого натурального числа n справджується нерівність $|p_{l+n} - p_l| < \xi$. Якщо під ξ розуміти абсолютну погрішність визначення параметра p , то з останньої нерівності можна знайти l' , яке і буде необхідною довжиною запису профілограми.

Методика реалізована за допомогою спеціально сконструйованого пристрою, обладнаного мікрометричними гвинтами та індикаторами годинникового типу. Дані вимірювання ординат профіля шорсткості зразків дорожніх покриттів вводилися в ПЕОМ. За допомогою спеціально розробленої програми "КОР" будувалися профілограми і обчислювалися параметри шорсткості. Фрагмент однієї з таких профілограм наведено на рис. 5. На рис. 6, як приклади, наведено графіки залежності значень параметрів $h_{\max}$ і i_n в залежності від довжини зйомки профілограми. На основі аналізу цих та інших подібних графіків встановлена необхідна довжина зйомки профілограми для визначення параметрів шорсткості дорожньої поверхні з заданою точністю.

Параметри A_n і K_n визначалися методом відбитків. Параметри δ та $h_{гп}$ вимірювалися штангенциркулем. Параметр E_r визначався методом непрямих вимірювань з використанням формули Герца за отриманими за допомогою спеціального пристрою значеннями величини заглиблення h_z кулястого індентора

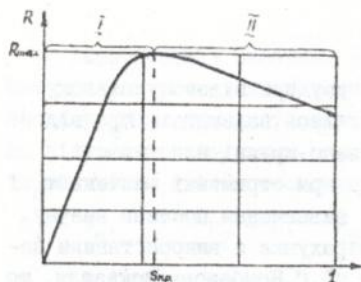


Рис. 1. Залежність дотичної реакції від режиму руху колеса.

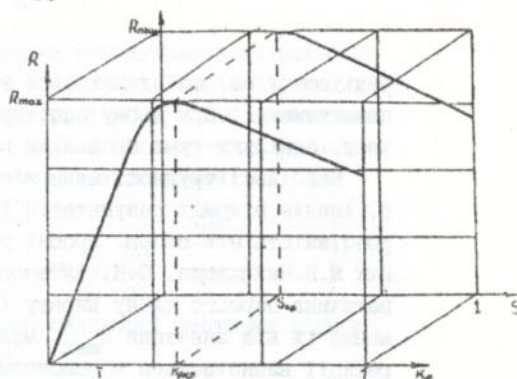


Рис. 2. Графіки залежності $R = R(k_p)$ і уточненої залежності $R = R(s)$.

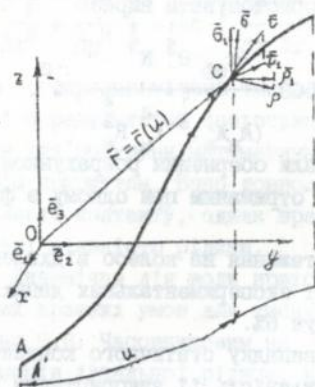


Рис. 3. Вибір рухомої системи координат.

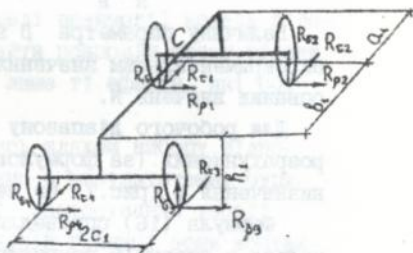


Рис. 4. До визначення моментів реакції покриття.

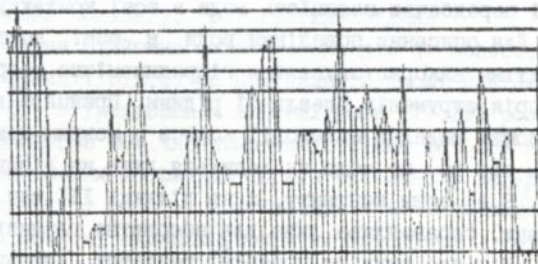


Рис. 5. Фрагмент профілограми.

радіусом 2 мм, що вдавливався в гуму при відомому сталому навантаженні. При цьому спостерігалася залежність h_z від часу, оскільки гума проявляла в'язко-пружні властивості.

Найбільші труднощі мали місце при отриманні значень τ_0 і β . Аналіз відомих результатів їх визначення показав значну розбіжність між собою. Пробні розрахунки з використанням даних М.В.Немчинова, С.К. Актанова, В.С.Комболова показали, що величина першого члену виразу (15), який включає τ_0 , складає менше 1% від значення $R_{\max}$. Молекулярна складова дотичної реакції визначається в основному величиною β . Для обчислення коефіцієнта зчеплення можна використовувати вираз

$$\Phi_0 = 0,435 \frac{\beta}{t_N R_N^{0.5}} v^{1.5} + 0,0568 \frac{\alpha_{ef} \theta^{\frac{1}{3}} N^{\frac{1}{3}}}{(k_N A_N)^{\frac{1}{3}} t_N^{\frac{2}{3}} R_N^{\frac{4}{3}}} v^2. \quad (16)$$

Величину параметра β визначали оберненим розрахунком за експериментальним значенням Φ_0 , отриманим при одному з фіксованих значень N .

Для робочого діапазону навантаження на колесо відхилення розрахункових (за формулою 16) і експериментальних даних визначення Φ_0 (рис.7) не перевищує 5%.

Формула (16) справедлива у випадку статичного контакту колеса з дорожнім покриттям. Можливість її використання в інших випадках обмежена тим, що параметр β , а також характеристики гуми залежать від швидкості і умов взаємодії колеса з покриттям. Крім того, розрахунковий випадок вказаної взаємодії передбачає наявність води в зоні контакту.

Для описання поведінки води в зоні контакту шини з покриттям використовувалися гідродинамічна теорія змачення і теорія струменів ідеальної рідини. Прийняте до цього часу у відомих моделях взаємодії колеса з мокрим покриттям припущення про те, що вода знаходиться лише на ділянках I і II (рис. 8,а) зони контакту, а на ділянці III має місце сухий контакт, справедливе лише для абсолютно гладких поверхонь.

Під час руху по поверхні реальних дорожніх покриттів плівка води, товщина якої пов'язана із глибиною впадин шорсткості, розповсюджується на всю довжину зони контакту, і відіграє роль мастила, поведінка якого описується системою диференціальних рівнянь Рейнольдса для змачувального шару.

Інтегрування вказаних рівнянь виконувалося з урахуванням краєвих умов для швидкості води (рис. 8, б), отриманих з застосуванням принципу обернення руху. При цьому приймалось, що вісь колеса нерухома, а покриття з плівкою води рухається із швидкістю дійсного поступального руху колеса:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= v_e, & v_y &= 0, & v_z &= 0 & \text{при } z &= 0 \\ v_x &= v_e(1-s), & v_y &= 0, & v_z &= v_e(1-s) \frac{\partial h}{\partial x} & \text{при } z &= h. \end{aligned} \right\} (17)$$

де v_x, v_y, v_z - складові вектора швидкості частинки рідини; В результаті отримано рівняння

$$h^3 \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \right) + 3h^2 \left(\frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 6\mu v_e \frac{\partial h}{\partial x} (2-s). \quad (18)$$

де p - гідродинамічний тиск; μ - динамічна в'язкість рідини, яке і є результатом застосування гідродинамічної теорії змачення для побудови математичної моделі взаємодії колеса з дорожнім покриттям. Воно дозволяє знайти розподіл тиску рідини в області контакту, однак враховує лише ті ефекти, які обумовлені в'язкістю рідини.

Динамічна дія води враховувалась шляхом вибору відповідних краєвих умов для тиску. Згідно з результатами, отриманими В.В. Часовниковим на основі застосування теорії струменів ідеальної рідини, на передній границі зони контакту (рис. 8,в) він розподіляється за параболічним законом:

$$p(y) = \frac{\rho v_e^2}{2} \left(1 - \frac{y^2}{(B/2)^2} \right), \quad (19)$$

де B - ширина зони контакту; ρ - густина рідини.

Гідродинамічна підйомна сила F_{Π} , яка діє на колесо, є інтегралом функції $p(x,y)$ по номінальній площі контакту.

Рівняння (18) з урахуванням краєвих умов (17,19) розв'язувалось за допомогою ЕОМ чисельно-аналітичним методом колокацій із застосуванням матричних формул чисельного диференціювання, наведених у роботах А.Ф.Калайди і В.О.Чирікалова.

Швидкість початку аквапланування визначається з умови рівності підйомної сили навантаженню на колесо. До початку аквапланування сила тиску Q колеса на виступи шорсткості покриття визначається виразом

$$Q = N - F_{\Pi}.$$

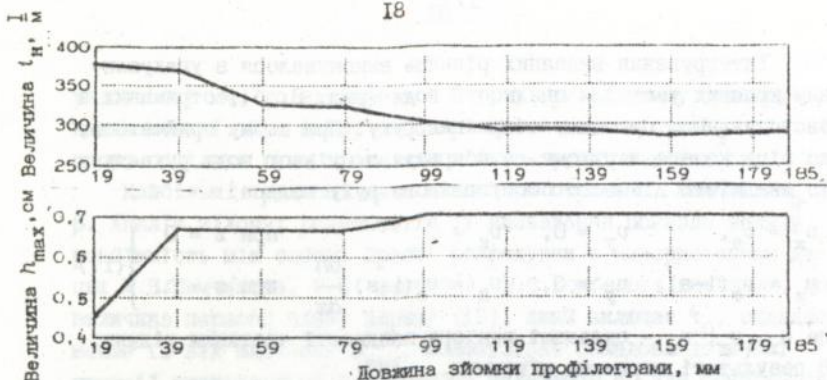


Рис.6. Залежність оцінок параметрів шорткості від довжини зйомки профілограми.

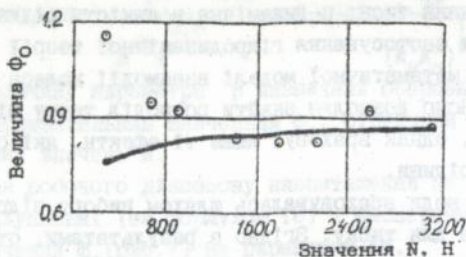


Рис.7. Зіставлення розрахункових (суцільна лінія) і експериментальних значень коефіцієнта зчеплення.

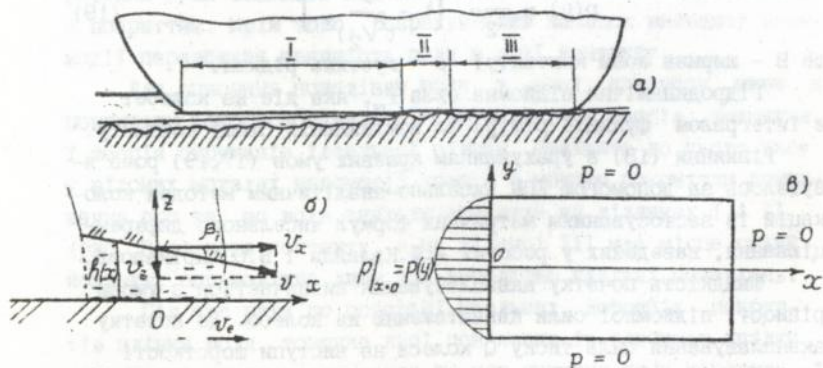


Рис.8. До визначення крайових умов для швидкості і тиску води.

Як свідчать відомі експериментальні дані, на зволоженому покритті сила тертя ковзання чи сила зчеплення визначаються, в основному, їх деформаційними складовими, оскільки утворення міжмолекулярних зв'язків утруднене наявністю плівки води.

В формулах (15), (16) деформаційна складова визначається пружними характеристиками гуми. Використання їх можливе лише у статичному випадку. Під час руху автомобіля контактна взаємодія шини з поверхнею дорожнього покриття характеризується швидкоплинністю і значним діапазоном зміни частоти деформування протектора виступами шорсткості. Тому необхідно враховувати в'язко-пружні властивості гуми.

Можливі випадки, коли виступи шорсткості дорожнього покриття, утворені окремими щербінками, розміщені досить рідко (рис.9). Ці випадки ні до насиченого, ні до ненасиченого контакту, які розглядаються у молекулярно-механічній теорії тертя, віднести не можна.

Вказані обставини зумовили необхідність вирішення задачі про заглиблення виступів шорсткості в протектор у загальному випадку контактної взаємодії колеса з дорожньою поверхнею.

При цьому виходили з формули Герца, яка була уточнена з використанням залежності радіуса одиночного контакту від часу, отриманою в роботах Джонсона для моделі стандартного в'язко-пружного тіла. Лабораторні дослідження показали задовільне співпадання поведінки гуми протектора дослідних коліс з характеристиками вказаного тіла.

Перехід від випадку заглиблення в протектор одиночного кулястого індентора до випадку багатоточкового його контакту з виступами шорсткості покриття виконано з урахуванням розподілу навантаження від колеса на ту кількість виступів, яка визначається їх щільністю і розмірами номінальної площі контакту. В результаті отримано вираз для визначення середнього заглиблення виступів шорсткості в протектор:

$$h_{\text{с.ср}} = 0,68 \left(\frac{Q^2}{R_H E_0^2 t_H^4 (b_1 + b_2 N)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (21)$$

де E_0 - динамічний модуль пружності гуми протектора.

З використанням (21) та з урахуванням розподілу наван-

таження на колесо на кожен з виступів шорсткості було визначено роботу, що затрачується на деформацію протектора як при коченні колеса, так і його ковзанні. При цьому враховувалася також залежність частоти деформування від режиму руху колеса. При докритичних значеннях коефіцієнта розбіжності, внаслідок кінематичної невідповідності руху точок ободу колеса і бігової доріжки, шина знаходиться у стані попереднього зміщення, аналогічного тому, який спостерігається при прикладенні до вісі колеса горизонтальної сили F при нерухомій зоні контакту (рис. 10). Для визначення величини попереднього зміщення δ , що супроводжується деформацією зсуву протектора і боковин шини, отримано вираз:

$$\delta = r_{oc} \sin \left(k_p \frac{L}{2 r_d} \right). \quad (22)$$

де r_{oc} , r_d - відповідно радіус обода колеса та його динамічний радіус, L - довжина зони контакту.

При докритичних значеннях коефіцієнта розбіжності деформаційна складова дотичної реакції зумовлюється роботою, що виконується при деформації протектора виступами шорсткості покриття і при постійному підтриманні колеса у стані попереднього зміщення під дією сили $R_2 = \Phi \delta$, де Φ - поздовжня жорсткість шини.

При критичному значенні коефіцієнта розбіжності попереднє зміщення, а з ним і дотична реакція досягають максимальної величини. Після цього, при умові наростання гальмового моменту, відбувається зрив контакту зчеплення, колесо блокується у стані, що характеризується фіксованою величиною попереднього зміщення, і робота на підтримання його в такому стані перестав виконуватися. З тим величина деформаційної складової дотичної реакції, яка в цьому випадку є силою тертя ковзання, стрибкоподібно падає до величини, зумовленої роботою, що виконується виключно при деформації протектора виступами шорсткості покриття.

На основі наведеного вище побудована математична модель взаємодії колеса з мокрим дорожнім покриттям (23). Вона складається з двох частин. Перша з них, в якій рівняння (18) представлено у матричній формі, за відомими товщиною шару рідини на покритті H , вище лінії виступів профіля та усеред-

$$\hat{p}_{1f} = \frac{\rho v_e^2 h_0 y_f (1 - y_f)}{3 (2 - s) \mu L},$$

$$\hat{p}_{t1} = \hat{p}_{tm} = \hat{p}_{nf} = 0,$$

$$\left(H_3 B_x^2 \otimes E + \alpha H_3 \otimes B_y^2 + 3 H_2 H_1 B_x \otimes E \right) \bar{p} = -\bar{H}_4,$$

$$h_t = \frac{H}{h_0} + \left(1 - \frac{H}{h_0} \right) x_t,$$

$$F_{\Pi} = \frac{6 v_e (2 - s) \mu L}{h_0^2} \frac{L}{n - 1} \frac{B}{m - 1} \sum_{j=1}^{n \cdot m} p_{tj}.$$

$$h_0 = h_{00} + (I - k_H) h_{np}; \quad H = h_{00} + H_1;$$

$$Q = N - F_{\Pi};$$

$$R_1 = 0.68B \left[\frac{Q^5}{(b_1 + b_2 N)^5 R_H E_O^2 t_H^4} \right]^{\frac{1}{3}} (1-s); \quad R_2 = \Phi r_{00} \sin \left(k_p \frac{L}{2 r_d} \right); \quad (23)$$

$$R_s = 0.68 \left[\frac{Q^5}{(b_1 + b_2 N)^2 R_H E_O^2 t_H} \right]^{\frac{1}{3}};$$

$$k_{p.kp} = \frac{2 r_d}{L} \arcsin \frac{2 R_s}{\Phi r_{00}}; \quad R_{2max} = \Phi r_{00} \sin \left(k_{p.kp} \frac{L}{2 r_d} \right);$$

$$\varphi' = \frac{R_1 + R_{2max}}{Q}; \quad \varphi' = \frac{R_s}{Q};$$

$$\left. \begin{aligned} R &= R_1 + R_2, & 0 \leq k_p < k_{p.kp} \\ R &= R_{max} = \varphi' Q, & k_p = k_{p.kp} \\ R &= \varphi' Q, & k_p = 1; \end{aligned} \right\}$$

$$\varphi = \frac{R_{max}}{N}; \quad \varphi = \varphi' \frac{Q}{N}.$$

ним значенням товщини шару рідини $h_{об}$, що знаходиться у випадинах шорсткості покриття і наближено приймається рівною середній глибині впадин шорсткості $h_{ср}$, дає змогу знайти величину гідродинамічної підйомної сили $F_{п}$, а з тим і силу фактичного тиску Q , з якою колесо діє на виступи шорсткості.

Друга частина моделі дає змогу підрахувати значення дотичної реакції R для випадків, коли $0 \leq k_p < k_{p,кр}$ і $k_p = 1$, а з тим і обчислити деформаційні складові коефіцієнта зчеплення ϕ і коефіцієнта тертя ковзання ϕ .

Приклад результату розрахунку деформаційної складової R_d дотичної реакції в залежності від коефіцієнта розбіжності наведено на рис. 11,а у вигляді товстої лінії, яку можна вважати вельми близькою за характером до наведених на рис. 11,б,в експериментальних залежностей, отриманих з використанням приладу "ІКРС -2У". Це підтверджує правильність теоретичних викладок, що стосуються аналітичного описання залежності дотичної реакції від режиму руху гальмуючого колеса, відомі до цього часу спроби отримання якої зводилися до підбору багатопараметричних функцій за емпіричними даними.

Для експериментальної перевірки моделі (23) автором розроблено конструкції і методики використання спеціальних пристроїв і приладів, якими було обладнано ходову лабораторію на базі автомобіля "УАЗ МПР - 16388" з двома баками для води загальним об'ємом 450 л. До них відноситься прилад для визначення швидкості початку аквапланування колеса, що дістав назву "аквапланіметр". Конструкція його включає раму 1 (рис.12), що за допомогою шарніра 2 прикріплена до платформи 3. На рамі встановлено колесо 4, а також важіль 6 з гальмовим башмаком 7. Пружина 8 забезпечує часткове загальмовування колеса, яке під час руху по сухому покритті обертається, оскільки сила зчеплення колеса з ним перевершує гальмову силу башмака. При попаданні води в зону контакту і утворенні там суцільної плівки води при певній швидкості руху автомобіля 13 сила зчеплення колеса з покриттям зменшується і колесо блокується. Згадана швидкість і є швидкістю початку аквапланування. Підйомна сила води при цьому дорівнює силі ваги аквапланіметра.

Необхідна для розрахунків товщина плівки води на покритті визначалася за допомогою спеціально розробленого



Рис. 9. Можливий вигляд профіля дорожньої поверхні.

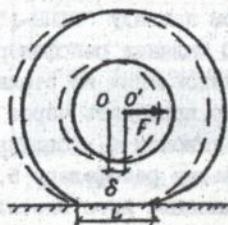
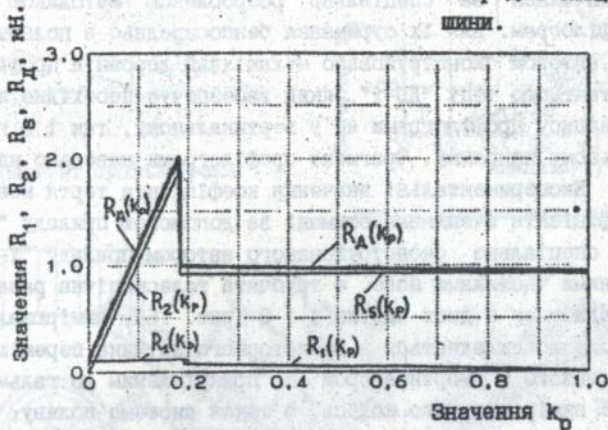


Рис. 10. Попереднє зміщення шини.



1/2 x 0.21

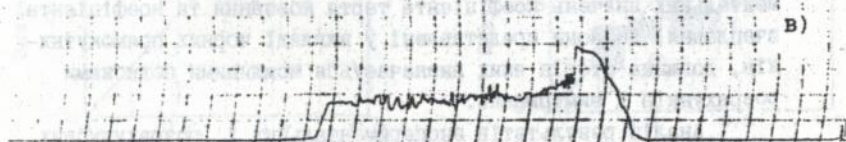
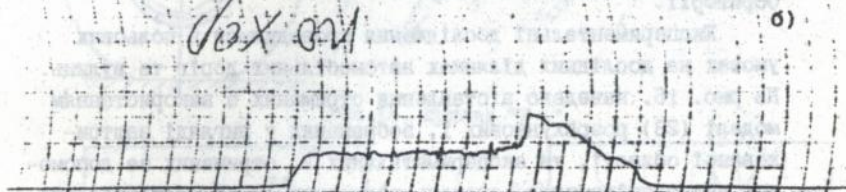


Рис. 11. Розрахункова (а) та експериментальні (б, в) залежності деформаційної складової дотичної реакції від k_p .

автором приладу "ВТПВ-1" (рис. 13), конструкція якого включає 60 скляних рейсфедерів 1, затиснутих в обійму з пластин 2, встановлених на стояках 3, які забезпечують положення прямої, що проходить через нижні кінці рейсфедерів, під заданим малим укладом ϵ . Товщина плівки визначається за шкалою 4 по останньому рейсфедеру 5, що дотикається до горизонту води, яка заповнює його внаслідок дії капілярних сил.

Необхідні для розрахунків параметри шорсткості покриття визначалися за спеціально розробленою методикою обробки профілограм. Для їх отримання безпосередньо в польових умовах автором сконструйовано механічний дорожній профілограф контактного типу "ДП-1", який забезпечує необхідне збільшення запису профілограми як у вертикальному, так і в горизонтальному напрямку. Фрагмент профілограми наведено на рис. 14.

Експериментальні значення коефіцієнта тертя ковзання та коефіцієнта зчеплення отримані за допомогою приладу "ПКРС-2У" та спеціально сконструйованого автором приладу "У-1". Основними частинами його є трубчата телескопічна рама, що складається з двох частин 1 і 2 (рис. 16), вимірний вузол, що складається з резисторного датчика переміщень 17, з'єднаного з амортизатором 13, прикріпленим до гальмового щита вимірний колеса, а також система поливу, що включає клапан 21 та шланги 22, підключені до баків ходової лабораторії.

Експериментальні дослідження проводилися в польових умовах на дослідних ділянках автомобільних доріг та вулиць. На рис. 15. наведено зіставлення отриманих з використанням моделі (23) розрахункових 1, зображених у вигляді заштрихованої області, та експериментальних 2, отриманих за допомогою аквапланіметра, значень гідродинамічної підйомної сили. Відхилення між їх середніми значеннями не перевершує 14%.

На рис. 17 наведено зіставлення розрахункових та експериментальних значень коефіцієнта тертя ковзання та коефіцієнта зчеплення, де вони представлені у вигляді чорних прямокутників, довжина сторін яких визначається можливими похибками розрахунків і вимірювань.

Аналіз результатів експериментальних і розрахункових даних гідродинамічної підйомної сили та коефіцієнта зчеплення свідчить про справедливості прийнятих при побудові

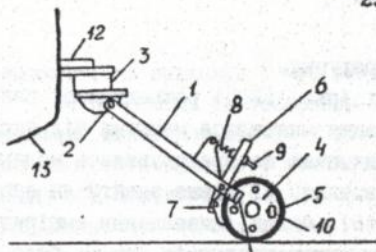


Рис. 12. Аквапланіметр.

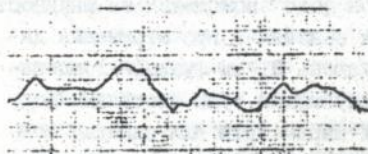


Рис. 14. Фрагмент профілограми.

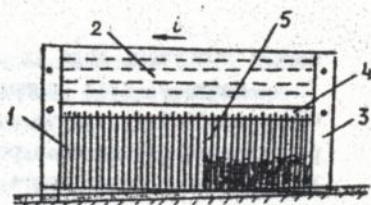


Рис. 13. Прилад "ВТІВ-1".

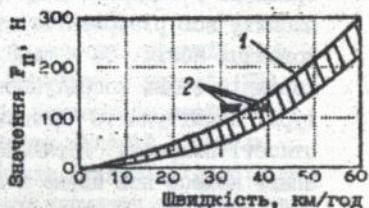
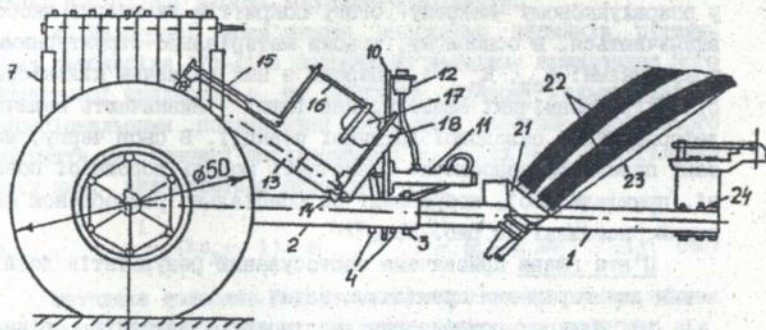
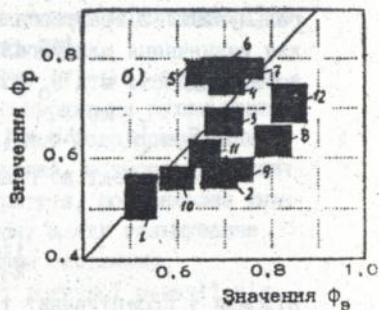
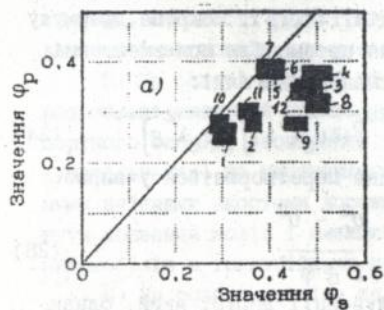
Рис. 15. Зіставлення значень F_n .

Рис. 16. Прилад "У-1".

Рис. 17. Зіставлення розрахункових та експериментальних значень ϕ (а) і ϕ (б).

моделі припущень щодо їх розрахунку.

Майже у всіх випадках (рис. 17,а) розрахункові значення коефіцієнта тертя ковзання виявилися меншими від експериментальних, тому що в розрахунках не враховувалась молекулярна складова сили тертя ковзання. Її можна знайти як значення другого члену виразу (15). Однак, визначення емпіричного параметра β шляхом обернених розрахунків (як це було зроблено в описаних вище лабораторних дослідженнях) не може охопити всю різноманітність умов щодо зволоження та швидкості ковзання коліс. Та ж саме можна сказати і про отримання диференційованих розрахункових значень E_0 як функцій температури, амплітуди та частоти навантаження гуми виступами шорсткості покриття. Уточнення цих параметрів для випадку ковзання колеса пов'язане з подальшим розвитком теорії зчіпних якостей дорожніх покриттів.

З огляду на вхідні параметри моделі, можна вважати, що у розрахунковому -мокрому- стані покриттів їх зчіпні якості визначаються, в основному, трьома матеріально-структурними показниками: λ_{op} , R_n і t_n . Перший з них визначає кількісний бік гідродинамічних ефектів, два інших - визначають величину деформаційної складової дотичної реакції. В свою чергу, вказані параметри однозначно визначають модель дорожньої поверхні, приклади якої, побудовані за спеціально розробленою методикою, наведені на рис. 18.

П'ята глава присвячена застосуванню результатів дослідження для вирішення практичних задач.

1) Шляхом розв'язання часткових випадків рівнянь (7)-(12) отримано формули для розрахунку руху автомобіля при гальмуванні з врахуванням функцій (4), (5). Зокрема, формулу для визначення шляху гальмування автомобіля при зменшенні його швидкості від v_0 до v отримано у вигляді:

$$S = \left[e^{-\lambda v} (\lambda v + 1) - e^{-\lambda v_0} (\lambda v_0 + 1) \right] \left(\phi_0 \lambda^2 g \right)^{-1} \quad (24)$$

При переході до границі вона перетворюється у вираз

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} S = \frac{v_0^2 - v^2}{2 g \phi}, \quad (25)$$

відомий у проектуванні та експлуатації доріг, який, однак, залежності коефіцієнтів зчеплення та тертя ковзання від

швидкості не враховує і має значні погрешності;

2) На основі застосування отриманих формул розроблено визначений винаходом спосіб і його модифікації для визначення залежностей коефіцієнта зчеплення і коефіцієнта тертя ковзання від швидкості (4), (5). Параметри вказаних залежностей розраховуються за вимірними величинами кінематичних характеристик руху автомобіля при гальмуванні. Це дає можливість отримувати вказані залежності безпосередньо для тих умов, які реалізуються при гальмуванні автомобіля;

3) На основі аналізу залежності дотичної реакції від режиму руху гальмуючого колеса, що впливає з моделі (23), розроблено визначений винаходом спосіб визначення коефіцієнта зчеплення - основного показника зчіпних якостей дорожніх покриттів - за допомогою динамометричних приладів. Спосіб заснований на вимірюванні максимального значення дотичної реакції проїзної частини і дає змогу розширити об'єм інформації про зчіпні якості дорожнього покриття;

4) На основі розв'язання часткових випадків рівнянь руху автомобіля (7)-(12) розроблено методику визначення його початкової швидкості v_0 за відомими шляхом гальмування і функціональними показниками зчіпних якостей дорожнього покриття як границі послідовності $v_0 = \lim_{n \rightarrow \infty} v_{0n+1}$. загальний член якої визначається виразом

$$v_{0n+1} = \frac{1}{\lambda} \left[(\lambda v_k + 1) e^{\lambda(v_{0n} - v_k)} - \Phi_0 \lambda^2 g \operatorname{Se}^{\lambda v_{0n-1}} \right]. \quad (26)$$

Методика дозволяє позбутися похибок використання відомих способів визначення v_0 , величина яких може досягати від -15 до +18 км/год і, таким чином, підвищити обґрунтованість обмежень швидкості руху транспорту в умовах недостатньої видимості і висновків при розслідуванні ДТП.

5) На основі аналізу рівнянь руху (7)-(12) автомобіля розроблено визначений винаходом спосіб керування рухом транспортного засобу, заснований на тому, щоб його прискорення (уповільнення) не перевершувало значення, обумовлені фактичними зчіпними якостями дорожніх покриттів, що дозволяє уникнути ковзання коліс і зменшити довжину шляху гальмування автомобілів з традиційними гальмівними системами;

6) На основі аналізу залежності дотичної реакції від

режиму руху колеса та рівнянь руху автомобіля (7)-(12) розроблено визнаний винаходом спосіб автоматичного (за допомогою АБС) керування рухом транспортного засобу. Він заснований на використанні в якості кінематичної характеристики, за величиною якої формується керуюча дія на зв'язані з рухомим чи гальмівним приводом виконавчі органи, надприскорення (похідну від прискорення) транспортного засобу. Це дозволяє підвищити ефективність використання зчіпних якостей дорожньої поверхні шляхом забезпечення максимально можливої достатньої реакції проїзної частини при розгоні або гальмуванні для будь-яких умов експлуатації транспортного засобу;

7) На основі аналізу даних порівняльних випробувань приладів різних конструкцій встановлено, що застосовувати метод вимірювання функціональних показників зчіпних якостей в режимі заданого сталого проковзування колеса (відомий також як Slip Method) недоцільно, оскільки критичне значення коефіцієнта розбіжності визначається виразом

$$k_{p.kp.} = \frac{2 \gamma_d}{L} \arcsin \left[\frac{1.36}{\Phi \gamma_{oc}} \left\{ \frac{Q^5}{(b_1 + b_2 N)^2 R_H E_O t_H} \right\}^{\frac{1}{3}} \right]. \quad (27)$$

тобто залежить від характеристик колеса, дорожньої поверхні та умов їх взаємодії і не є сталов величиною.

8) Розроблено дорожній профілограф "ДП-1", методика обробки профілограм для визначення матеріально-структурних показників зчіпних якостей дорожніх покриттів. Профілограф дає змогу записувати профіль шорсткості покриття у збільшеному масштабі як в вертикальному, так і в горизонтальному напрямку. Варіант методики обробки профілограм реалізовано на ПЕОМ з використанням графічного редактора "Paintbrush" оболонки "Windows". Фрагмент профілограми, отриманої у процесі обробки, наведено на рис. 19;

9) З використанням результатів аналізу моделі (23) розроблена методика проектування поверхні дорожнього покриття. Вона враховує такі встановлені в результаті аналізу закономірності: а) залежності деформаційних складових коефіцієнта зчеплення і коефіцієнта тертя ковзання від щільності виступів шорсткості при фіксованих значеннях інших двох матеріально-структурних показників мають яскраво виражений макси-

мум при оптимальній щільності $t_{\text{но}}$ (рис. 20). Остання залежить від $R_{\text{н}}$. Приклад однієї з таких залежностей для фіксованого значення $h_{\text{ср}}$ наведено на рис. 21. б) середнє заглиблення виступів шорсткості в протектор при фіксованих $R_{\text{н}}$ та $t_{\text{н}}$ при збільшенні $h_{\text{ср}}$ зростає до максимального значення, яке визначається жорсткістю протектора. При подальшому збільшенні $h_{\text{ср}}$ заглиблення не змінюється, що призводить до стабілізації значень коефіцієнта тертя ковзання та коефіцієнта зчеплення і свідчить про недоцільність влаштування крупношорстких дорожніх покриттів;

Методика спрямована на визначення таких комбінацій значень матеріально-структурних показників, які з урахуванням можливих умов виробництва (наприклад, наявність щебеню певної фракції) забезпечували б найкращі зчіпні якості покриттів. Шляхом оберненого розрахунку методика може бути застосована також при виборі характеристик шин спортивних автомобілів в залежності від шорсткості покриття на ділянках перегонів;

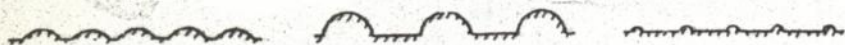
10) З введінням нових характеристик мінерального матеріалу: кількість частинок в одиниці об'єму n_v та кількість частинок в одиниці маси n_m , на основі експериментального визначення їх для основних фракцій щебеню (рис. 22) та отриманих залежностей витрат щебеню по об'єму q_v та по масі q_m від щільності виступів шорсткості $t_{\text{н}}$

$$q_v = \frac{t_{\text{н}}^2}{n_v}, \quad (28)$$

$$q_m = \frac{t_{\text{н}}^2}{n_m}, \quad (29)$$

а також експериментально встановлених залежностей глибини занурення щебеню від витрат в'язучого, розроблено методику визначення технологічних параметрів влаштування дорожніх покриттів, зокрема, поверхневих обробок. Ці параметри забезпечують задані при проектуванні матеріально-структурні показники зчіпних якостей дорожніх покриттів;

11) З використанням моделі (23) отримано розрахункові значення швидкості початку аквапланування шини 6.45 - 13 з повністю зношеним рисунком протектора для найбільш поширених на території України покриттів автомобільних доріг. Вони призначені для розробки заходів щодо підвищення безпеки руху.



$$t_H = 190 \frac{1}{M}; R_H = 5 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = 0,90 \text{ мм}$$

$$t_H = 50 \frac{1}{M}; R_H = 5 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = 3,00 \text{ мм}$$

$$t_H = 100 \frac{1}{M}; R_H = 1 \text{ мм}$$

$$h_{cp} = 0,84 \text{ мм}$$

Рис.18. Моделі дорожньої поверхні.

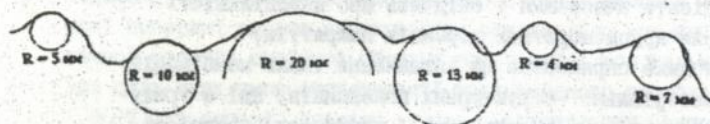


Рис.19. Фрагмент профілограми у процесі обробки на ПЕОМ.

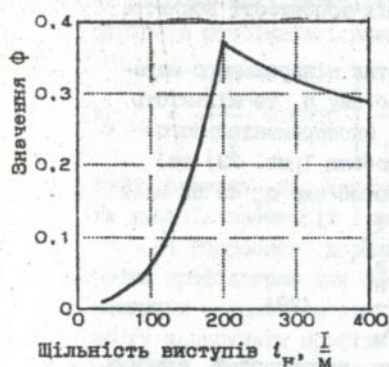


Рис.20. Залежність ϕ від t_H .

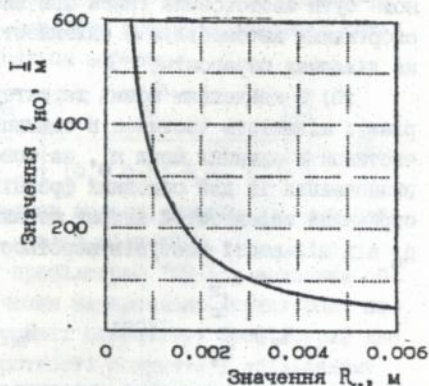


Рис. 21. Залежність t_{HO} від R_H .

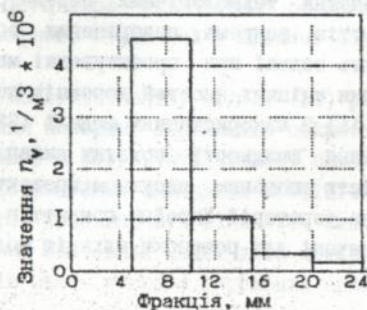
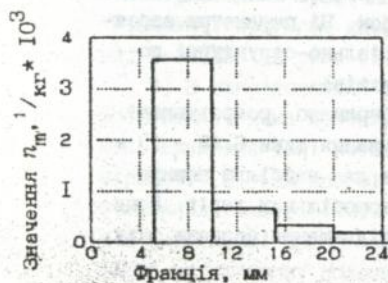


Рис. 22. Графіки залежності n_v і n_m від фракцій щебеню.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

І) В результаті аналізу механізму формування дотичних реакцій дорожнього покриття під час руху автомобіля з врахуванням процесів і явищ, що мають місце в зоні контакту колеса з поверхнею проїзної частини; вирішення питань про можливість застосування для їх описання досягнень споріднених теорій; узагальнення результатів виконаних раніше досліджень, переважно експериментального характеру, розроблено основи теорії зчіпних якостей дорожніх покриттів. При цьому:

- обґрунтовано функціональні показники зчіпних якостей дорожніх покриттів - коефіцієнт зчеплення та коефіцієнт тертя ковзання як експоненційні функції швидкості. Перший з них характеризує здатність покриття не допускати ковзання коліс автомобілів по його поверхні, другий - можливість покриття чинити опір ковзанню;

- розроблено теоретичні передумови практичного використання функціональних показників - побудовано рівняння руху автомобіля, в яких дотичні реакції виражені у вигляді залежностей від прийнятих функціональних показників зчіпних якостей покриттів;

- розроблено методику визначення необхідної довжини зйомки профілограми в залежності від точності визначення характеристик шорсткості дорожньої поверхні. Методика заснована на використанні критерія Коші для збіжних послідовностей, членами яких є значення параметрів шорсткості, отримані при обробці профілограм наростаючої довжини;

- вирішено задачі: про заглиблення виступів шорсткості в протектор шини; про роботу, що затрачується на деформації протектора виступами шорсткості покриття; про залежність попереднього зміщення шини при гальмуванні автомобіля від кінематичної розбіжності руху ободу колеса і бігової доріжки шини; про визначення гідродинамічної підйомної сили води в зоні контакту колеса з покриттям;

- побудовано і реалізовано на ЕОМ математичну модель взаємодії колеса з мокрим дорожнім покриттям. На відміну від відомих моделей, вона враховує динамічну та в'язку дії води і дає змогу розрахувати: величину діючої на колесо гідро-

намічної підйомної сили, залежність деформаційної складової дотичної реакції покриття від коефіцієнта розбіжності кутів швидкостей ободів гальмуючого і вільного від гальмівного моменту коліс, критичне значення коефіцієнта розбіжності та швидкість початку аквапланування шини з урахуванням умов зволоження, характеристик шини та шорсткості поверхні проїзної частини;

- обґрунтовано матеріально-структурні показники зчіпних якостей дорожніх покриттів, які, в основному, визначають функціональні показники при розрахунковому - мокрому стані проїзної частини. До них відносяться середня глибина впадин шорсткості дорожнього покриття, середній радіус та щільність виступів шорсткості. Перший з них визначає кількісний бік гідродинамічних ефектів, виникаючих в зоні контакту колеса з покриттям; два останніх визначають деформаційну складову дотичної реакції зволоженої поверхні проїзної частини;

- розроблено модель дорожньої поверхні та методику її побудови за величинами матеріально-структурних показників.

2) В результаті дослідження отриманих моделей виявлено закономірності впливу шорсткості поверхні проїзної частини на функціональні показники. Зокрема, встановлено, що залежності коефіцієнта зчеплення і коефіцієнта тертя ковзання від щільності виступів шорсткості при фіксованих значеннях інших двох матеріально-структурних показників мають максимум при оптимальній щільності, для визначення якої виведено формулу. Отримано теоретичне обґрунтування і кількісне описання відомого з експериментальних досліджень явища стабілізації значень функціональних показників при зростанні середньої глибини впадин шорсткості вище певної величини, що визначається жорсткістю гуми протектора.

3) Розроблено методику проектування поверхні дорожнього покриття, спрямовану на забезпечення таких комбінацій значень матеріально-структурних показників, які, з урахуванням можливостей виробництва, забезпечують найбільші значення функціональних показників.

4) Поставлено і вирішено питання цілеспрямованого регулювання технологічних параметрів - витрат щебеню та органічного в'язучого для забезпечення встановлених на стадії проектування дорожньої поверхні матеріально-структурних по-

казників зчіпних якостей дорожніх покриттів при влаштуванні поверхневих обробок.

5) Удосконалено способи і засоби вимірювання показників зчіпних якостей дорожніх покриттів. Розроблено методику визначення матеріально-структурних показників шляхом обробки профілограм дорожньої поверхні, отриманих з використанням розробленого дорожнього профілографа "ДП-1". Розроблено способи визначення коефіцієнта зчеплення та коефіцієнта тертя ковзання, що дають змогу розширити обсяг інформації про зчіпні якості дорожнього покриття та враховувати умови взаємодії коліс з проізною частиною, які реалізуються безпосередньо при гальмуванні автомобіля. Встановлено, що застосовувати метод вимірювання функціональних показників зчіпних якостей в режимі заданого часткового проковзування колеса недоцільно.

6) Розроблено способи керування рухом транспортних засобів з врахуванням зчіпних якостей дорожніх покриттів.

7) З урахуванням залежності коефіцієнта тертя ковзання та коефіцієнта зчеплення від швидкості отримано формули для розрахунку руху автомобіля при гальмуванні та розроблено методику визначення початкової швидкості автомобіля за відомим шляхом гальмування. Це дало змогу позбутися похибок використання відомих в проектуванні та експлуатації доріг формул та методик, величина яких може досягати 40-60%.

Основні положення дисертації опубліковані в 46 роботах, серед яких такі:

1. Врахування залежності коефіцієнта зчеплення від швидкості при розрахунках гальмування автомобіля // Автомоб. дороги і дор.буд.-во.-1987.-Вип.40.-С.64-68. (Співавтор Кизима С.С.).
2. Сопровождающий трехгранник дороги //Строительство и архитектура. -Изд.Вузov.-1988. № II -С. 92-95.
3. Визначення залежності коефіцієнта зчеплення від швидкості // Автомоб. дороги і дор. буд.-во.-1988.-Вип. 42.-С. 99-101. (Співавтори Кизима С.С., Андреев С.І.).
4. Качественное многообразие объектов материального мира и создание новых технических объектов // Философские пробл. совр. естествознания. -1990.- Вип.72.-С. 85 - 89.

5. Форма проїзної частини і кінематика одномасової моделі автомобіля з жорсткими колесами // Автомоб. дороги і дор. буд.-во. -1990. -Вип. 47. - С. 86-91.

6. Про спосіб підвищення безпеки руху // Автомоб. дороги і дор. буд.-во. -1992. -Вип.50. -С.69-72.

7. Щодо одного із способів підвищення ефективності використання зчпних якостей дорожніх покриттів для поліпшення безпеки руху // Автомоб. дороги і дор. буд.-во. -1994. -Вип.52. -С.140-147.

8. Калибр для контролю коефіцієнта трення. Авторское свидетельство № I298615. -1986. (Співавтор Андреев С.І.).

9. Способ определения коэффициента сцепления. Авторск. свидетельство № I404903.-1988.(Співавтори Кизима С.С., Андреев С.І.).

10.Способ определения силы трения покоя материалов. Авторское свидетельство № I467456. -1988. (Співавтори Кизима С.С., Андреев С.І., Лебедев О.С.).

11.Способ определения коэффициента сцепления. Авторское свидетельство № I652866, 1991. (Співавтори Кизима С.С., Андреев С.І., Охріменко В.Д.).

12. Способ управления движением транспортного средства. Положительное решение о выдаче охр. док. по заявке № 4823648 от 29.06.92. (Співавтори Кизима С.С., Охріменко В.Д., Андреев С.І., Саприкін С.А., Баліцький С.А.).

13. Способ автоматического управления движением транспортных средств. Положительное решение о выдаче охр. док. по заявке № 4875109 от 8.02.92. (Співавтор Кизима С.С.).

14. Рекомендации по назначению видов работ по капитальным и средним ремонтам нежестких дорожных одежд.-Киев: Министерство строительства и эксплуат. автомоб. дорог -1989.-32 с. (Співавтори Кизима С.С., Андреев С.І., Охріменко В.Д.).

15. Рекомендації по удосконаленню технології влаштування шорстких поверхневих обробок в умовах України.-Київ: Українська державна корпорація "Укравтодор". -1995.-28 с. (Співавтори Кизима С.С., Осяев Ю.М., Тарасенко Л.П., Колінченко М.Н., Макарчук О.І., Кизима О.С.)

16. Застосування молекулярно-механічної теорії тертя для побудови математичної моделі взаємодії колеса автомобіля з дорожнім покриттям// КАДІ. Київ, 1994. Рук. деп. в ДНТБ Укра-

Іни, №2207-Ук94, 25.11.94 р. -11 с. (Співавтор Канарчук В.Є.).

17. Про один із аспектів застосування формул, оснований на молекулярно-механічній теорії тертя // КДІ. Київ, 1994. Рукопис деп. в ДНТБ України, № 2208-Ук 94, 25.11.94 р. -9 с. (Співавтор Канарчук В.Є.).

18. Формулы для определения требуемых значений коэффициента сцепления // Повышение качества строительства автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР: Тез. докл. на научн.-техн. конф. -Суздаль.-1987. -С.103.

19. Коефіцієнт тертя спокою гуми при взаємодії шин з покриттям // Шляхи підвищення ефективності дорожн. госп. України в нових умовах господарювання: Тези доп. на наук.-техн. конф. - Київ.-1994. -С.69. (Співавтор Канарчук В.Є.).

20. Про розрахунок деформаційної складової сили зчеплення шини з дорожнім покриттям // Шляхи підвищення ефективності дор. госп. України в нових умовах господарювання: Тези доп. на науково-техн. конф. - Київ.-1994. -С.70. (Співавтор Канарчук В.Є.).

21. Трибология как составляющая теоретической основы нового этапа развития дорожной науки // Автомобильные дороги Сибири: Тез. докл. на Всероссийск.международн. научн.-техн. конф. -Омск.-1994.-С.102-103.(Співавтор Канарчук В.Є.).

22. Про вимірювання коефіцієнта зчеплення причіпними динамометричними приладами // Шляхи підвищення ефективності дор. господарства України в нових умовах господарювання: Тези доп. на науково-техн. конф. - Київ.-1994.-С.72.

23. Пристрій для фіксації профілограми дорожніх покриттів // Шляхи підвищення ефективності дорожнього господарства України в нових умовах господарювання: Тези доп. на науково-техн. конф.-Київ.-1994. -С.73.

Dmitry A. Pavluk. The Fundamentals and the Practical Use of the Theory of Road Pavement's friction capabilities. Doctoral Dissertation (Scientific Degree: Doctor of Sciences) for the Speciality № 05.22.11 - "Highways and Airport's Runways", Ukrainian Transportation University, Kiev, 1996.

The dissertation covers the results of the fundamental theoretical research in the field of wheel's interaction with the wet road pavement surface. As the result of experimental research theoretical and simulation models are produced and

are intended for the use in highway design, road construction, Road maintenance and Road traffic safety. It was established that the maximal values of friction ratio and the skidding ratio correspond to the optimal density of frictionous particals on the pavement's surface. Interaction of the car's whell with the pavement surface ad is accompanied by the dynamic and viscose action of the water on the surface and is defined, in general, by the mean radius of the particals and by the density of frictionous particals.

Key words: Road Pavement, Friction, Aquaplaning, Friction Parameters, Interaction of the Wheel and the Wet Surface, Road Surface Model, Braking.

Павлюк Д.А. Основы и применение теории сцепных качеств дорожных покрытий. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.11-автомобильные дороги и аэродромы, Украинский транспортный университет, Киев, 1996.

Защищаются теоретические решения задач, связанных с расчетом деформационных составляющих силы сцепления колеса с мокрым дорожным покрытием и силы трения скольжения, построенные на их основе математические модели, результаты экспериментальных исследований и разработанные с использованием моделей способы решения вопросов проектирования, строительства и эксплуатации дорог, связанных с безопасностью движения. Установлено, что коэффициент сцепления и коэффициент трения скольжения принимают наибольшие значения при оптимальной плотности выступов шероховатости, для расчета которой получена формула. Взаимодействие колеса с мокрым дорожным покрытием сопровождается как динамическим, так и вязким действием воды и определяется, в основном, средней глубиной впадин шероховатости, средним радиусом и плотностью выступов шероховатости покрытия.

Ключові слова: дорожнє покриття, зчеплення, аквапланування, параметри шорсткості, модель взаємодії колеса з мокрым покриттям, модель дорожньої поверхні, гальмування.

Підп. до друку 20.05.96
Тираж 150

Умовн. друк. арк. 2
Замовлення 893

ПВКП "Укртиппроєкт", 252057, Київ-57, вул. Євгена Потьма, 12

44797

AB 34.914

AB 34.914