

Херсонський національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України
Херсонський національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЧУРСОВ СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 620:629

ДИСЕРТАЦІЯ
МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН ПРИ
НАКОПИЧЕННІ ПОШКОДЖЕНЬ

132 Матеріалознавство

13 Механічна інженерія

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

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

Науковий керівник:

Дмитрієв Дмитро Олексійович,

доктор технічних наук, доцент

Хмельницький - 2024

АНОТАЦІЯ

Чурсов С.О. Механічні властивості матеріалів пневматичних шин при накопиченні пошкоджень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство». – Херсонський національний технічний університет, Хмельницький, 2024.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми встановлення механічних властивостей і структури матеріалів гумо-кордних конструкцій пневматичних шин автомобільного транспорту в умовах накопичення механічних, термічних, корозійних пошкоджень за рахунок відтворення керованих і програмно-контрольованих зовнішніх впливів на матеріал шин, використовуючи спеціалізовані стендові випробування подолання різних за геометрією штучних перешкод та їх комбінацій.

У дисертаційній роботі виконано аналіз сучасних стендових методів випробувань пневматичних шин з їх впливом на властивості матеріалу, як фактори оцінки критеріїв працездатності гумо-кордної конструкції. Основні контрольовані показники деформативності пневматичних шин в цілому на сучасному етапі вивчають поза показниками якості матеріалу шин його ступеня накопичення пошкодження, використовуючи непрямі параметри впливу та відгуку такі як тиск, геометрія плями контакту, шумові показники зусилля зчеплення, керованість, що заважає оцінці та удосконаленню такої високотехнологічної конструкції якими є пневматичні шини. Особливу увагу в дисертаційній роботі привернуто до механічних властивостей гумо-еластомерної матриці, в якій саме накопичуються пошкодження різного виду. Вивчались результати ступеня і комплексу пошкоджень матеріалів створених багаторазовими подоланнями штучних перешкод, в результаті чого відбувається перерозподіл навантажень у волокнистих наповнювачах таких як: металевий корд, тканина та границі їх розподілу. Зважаючи на дану обставину, в роботі застосовано метод оцінки матеріалів випробування на

розтяг, розшарування та фрактографічний метод зламів. Розглянуто пневматичну шину, з боку фрактографічних оцінок, геометрії зламів як волокнисті композитні матеріали котрі складаються з матриці, що містить зміцнювальні одновимірні елементи у формі волокон, дроту, ниткоподібних тканин та кристалів. Визначено, що механічні пошкодження шин, в процесі експлуатації впливають не на матрицю, а на армуючі волокна, що призначені використовувати як зсувний механізм гальмування тріщин самими волокнами на поверхні зчеплення матриці, з армуючими наповнювачами для зміцнення тому поверхні розподілу у волокнистих композиційних матеріалах розглядають, як самостійний елемент структури. В перехідному шарі формуються зв'язки між зміцнювальними волокнами та матрицею, крізь яку передаються механічні напруження. Від будови даних зв'язків залежать умови гальмування тріщин викликаних механічними пошкодженнями при експлуатації автомобільних шин, тому дисертаційне дослідження зосереджене на цьому.

В дисертаційній роботі запропонований стенд, який призначений для динамічних випробувань пневматичних шин і забезпечує визначення в лабораторних умовах терміну служби шини, залежність його від швидкості руху динамічного радіуса шини та шляху пройденого шиною до руйнування. Випробувальний стенд дозволяє відтворювати умови експлуатації шини, в тому числі найбільш екстремальні з точки зору вертикального навантаження, кута заносу і швидкості. Для побудови динамічних моделей механічних систем і тіл використовувався метод рівнянь Лагранжа, а для комп'ютерного моделювання процесу гальмування – середовище 3dStudioMAX. Запропоновано технологію моделювання проміжних станів деформації шин і їх порівняння з ступенем накопичення пошкоджень як деформації ділянок при подоланні перешкод різної геометрії при стендових випробуваннях.

Отримано результати експериментальних вимірювань пружної деформації, масивів даних щодо коефіцієнта демпфування автомобільних шин 175/70 R13 при різних тисках на спеціальному стенді, з кореляцією з терміном

роботи, що відтворює процеси накопичення механічних пошкоджень при подоланні дорожніх перешкод складної геометрії; отримані дані застосовано у новому методі оцінки проміжних станів матеріалу шин щодо прогнозування механічних та експлуатаційних характеристик. Показано кінематичну поведінку колеса автомобіля на дорожньому покритті із визначеними механічними пошкодженнями і властивостями.

Такий підхід є альтернативою суто теоретичному визначенню змін властивостей матеріалів як реакцій колеса і шини на різноманітні перешкоди в різних умовах руху автомобіля і дії зовнішніх факторів. У роботі проведені тестові випробування, силові і вібраційні на багатокоординатному стенді з просторовим розташуванням приводів для відтворення орієнтації колеса в найбільш наближених до дорожніх умов. Визначено із кореляцією пошкоджуваності матеріалів радіальною жорсткістю та коефіцієнтом похибки шин при радіальних коливаннях для колеса, що обертається, залежно від швидкості прокачування, тиску повітря в шині та радіального навантаження виміряно власні частоти вібрацій, коефіцієнти демпфування шин легкових автомобілів в залежності від тиску повітря і зміни жорсткості.

Ключові слова: пневматична шина, механічні характеристики, макро і мікроструктура, гумо-кордна конструкція, деформація, матеріали.

ABSTRACT

Chursov S.O. Mechanical properties of pneumatic tire materials during accumulation of damage. - Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 132 "Materials Science". – Kherson National Technical University, Khmelnytsky, 2024.

The dissertation is devoted to the solution of the problem of establishing the mechanical properties and structure of the materials of rubber-cord constructions of pneumatic tires of automobile transport in the conditions of accumulation of mechanical, thermal, corrosive damage due to the reproduction of controlled and

program-controlled external influences on the material of tires, using specialized bench tests to overcome different geometries of artificial obstacles and their combinations.

In the dissertation, an analysis of modern test bench methods of pneumatic tires with their influence on the material properties, as factors for evaluating the performance criteria of the rubber-cord structure, was performed. The main controlled indicators of the deformability of pneumatic tires in general at the modern stage are studied in addition to indicators of the quality of the tire material, its degree of accumulation of damage, using indirect parameters of influence and response, such as pressure, geometry of the contact patch, noise indicators, clutch force, controllability, which hinders the evaluation and improvement of such a high-tech design what are pneumatic tires. Special attention in the dissertation is drawn to the mechanical properties of the rubber-elastomer matrix, in which various types of damage accumulate. The results of the degree and complexity of damage to materials created by multiple overcoming of artificial obstacles were studied, as a result of which redistribution of loads occurs in fibrous fillers such as: metal cord, fabric and the boundaries of their distribution. Taking into account this circumstance, the method of evaluation of materials for tension, delamination and fractures is applied in the work. The pneumatic tire was considered from the point of view of fractographic evaluations of fracture geometry as fibrous composite materials consisting of a matrix containing reinforcing one-dimensional elements in the form of wire fibers, filamentous fabrics and crystals. It was determined that mechanical damage to tires during operation does not affect the matrix, but the reinforcing fibers, which are intended to be used as a shear mechanism for braking cracks by the fibers themselves on the adhesion surface of the matrix, with reinforcing fillers to strengthen the volume of the distribution surface in fibrous composite materials. Consider how an independent element of the structure. In the transition layer, connections are formed between reinforcing fibers and matrices through which mechanical stresses are transmitted. The conditions for braking cracks caused by

mechanical damage during the operation of automobile tires depend on the structure of these connections.

In the dissertation, a stand is proposed, which is intended for dynamic testing of pneumatic tires and provides determination in laboratory conditions of the service life of the tire, its dependence on the speed of movement of the dynamic radius of the tire and the path traveled by the tire before destruction. The test bench allows you to reproduce the operating conditions of the tire, including the most extreme in terms of vertical load, skid angle and speed. The method of Lagrange equations was used to build dynamic models of mechanical systems and bodies, and the SIMULINK environment was used for computer simulation of the braking process. The technology of modeling intermediate states of tire deformation and their comparison with the degree of accumulation of damage as deformation of areas when overcoming obstacles of different geometry during bench tests is proposed.

The results of experimental measurements of the elastic deformation of 175/70 R13 car tires at different pressures on a special stand that reproduces the processes of accumulation of mechanical damage when overcoming road obstacles of complex geometry. The obtained data are used in a new method of evaluating intermediate states of tire material for predicting mechanical and operational characteristics. The kinematic behavior of a car wheel on a road surface with defined mechanical damage and properties in the Vibrosloy 1 program is shown.

This approach is an alternative to a purely theoretical determination of wheel and tire reactions to various obstacles in different driving conditions and external factors. In the work, test tests (power and vibration) were carried out on a multi-coordinate stand with a spatial arrangement of drives to reproduce the orientation of the wheel in the closest to road conditions. The radial stiffness and the coefficient of error of tires during radial oscillations for a rotating wheel, depending on the pumping speed, air pressure in the tire, radial load and vibration frequencies, the damping coefficients of passenger car tires from air pressure and stiffness changes were determined. This approach is an alternative to a purely theoretical

determination of wheel and tire reactions to various obstacles in different driving conditions and external factors.

Keywords: pneumatic tire, mechanical characteristics, macro and microstructure, rubber cord construction

Список публікацій здобувача

Праці, в яких опубліковані результати дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Дмитрієв Д.О., Войтович О.А., Русанов С.А., **Чурсов С.О.** Стендові методи випробування шин автотранспорту. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2019. №2. С. 39-47. (Внесок дисертанта: аналіз результатів дослідження, виконання випробувань).

2. Дмитрієв Д.О., Русанов С.А., **Чурсов С.О.**, Бергер Є.Е. Моделювання та експериментальне визначення характеристик пневматичних шин при накопиченні пошкоджень від дорожніх перешкод різної геометрії. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2021. №4(79). С. 23-30. (Внесок дисертанта: аналіз результатів дослідження, виконання випробувань).

3. Дмитрієв Д.О., **Чурсов С.О.**, Осадчук В.С., Русанов С.А. Технологічне забезпечення контурного полірування при відновленні лакофарбових покриттів складних поверхонь. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2023. № 1(7), С.74-81. (Внесок здобувача: виконання випробувань, обробка результатів).

4. **Чурсов С.О.** Процеси деградації матеріалів пневматичних шин та забезпечення опору механічних властивостей (Внесок здобувача: дослідження термохімічних властивостей композитних матеріалів, аналіз результатів дослідження, виконання випробувань, обробка результатів).

5. Розов Ю.Г., Дмитрієв Д.О., Русанов С.А., **Чурсов С.О.**, Лещук Є.В. Рациональні схеми і енергосилові показники обробки тиском зовнішніх профільованих поверхонь шляхом обкатування роликми *Вісник*

Херсонського національного технічного університету. 2020. №4 (75), С. 34-41.
(Внесок дисертанта: аналіз результатів дослідження, виконання випробувань).

Патенти на корисну модель

6. Дмитрієв Д.О. **Чурсов С.О.** Стенд для випробування шин – патент на корисну модель № 150622 від 10.03.2022, бюл. № 10. (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Дмитрієв Д. О., Войтович О. А., **Чурсов С. О.**, Баль О. Д. Застосування багатокоординатних механізмів в якості випробувальних стендів шин автотранспорту. // *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: VIII міжнародна науково-практична конференція, 2018*» м. Чернігів. 10 - 12 травня 2018 р. м. Чернігів. с.147-149. (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень).

8. **Чурсов С.О.** Баль О.Д., Войтович О.А. Механіка шин: властивості, безпечність, методи випробування. // *Сучасні технології промислового комплексу: IV міжнародна науково-практична конференція, м. Херсон, 12-16 вересня 2018 р. Херсон, 2018. С. 269-270.* (Внесок здобувача: обробка результатів).

9. **Чурсов С.О.**, Дмитрієв Д.О., Русанов С.А. Визначення механо-кінематичних характеристик шин автотранспорту в залежності від властивостей матеріалу // *Сучасні технології промислового комплексу: VI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу – 2020»* Вересень 8, 2020 – Вересень 12, 2020 м. Херсон, Україна с. 358-365. (Внесок здобувача: проведення експериментальних досліджень).

10. **Чурсов С.О.**, Дмитрієв Д.О. Русанов, С.А. Моделювання механічних характеристик матеріалів пневматичних шин в процесі подолання перешкод. Матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню

космонавтики 12-14 квітня 2021 с.89-90. (Внесок здобувача: обробка результатів).

11. **Чурсов С.О.** Прогнозування залишкового ресурсу матеріалів пневматичних шин від накопичення і виду експлуатаційних пошкоджень. Дмитрієв Д.О., Панасенко В.М., Русанов С.А Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню космонавтики. ХНТУ:Херсон. – 2021.- С.94-95. (Внесок здобувача: аналіз результатів дослідження фізико-механічних властивостей композитних матеріалів, виконання випробувань).

12. **Чурсов С.О.** Міцність зв'язку в елементах пневматичних шин як композитного матеріалу / Чурсов С.О. Матеріали науково-технічної конференції "Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта", № XXII (2021): Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕХАНІКИ ДЕФОРМІВНОГО ТВЕРДОГО ТІЛА : КІІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО. с.45-47. (Внесок здобувача: аналіз результатів дослідження фізико-механічних властивостей композитів, проведення випробувань).

13. Поліщук В.М., **Чурсов С.О.** Фрактографічні дослідження контрольованого руйнування композиції волокнистих і металевих матеріалів, у автомобільних шинах МАТЕРІАЛИ VII-ої Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології промислового комплексу – 2021", Вересень 7, 2021 – Вересень 10, 2021 м. Херсон, Україна (с. 123-126). (Внесок здобувача: аналіз результатів дослідження фізико-механічних властивостей композитів, обробка результатів).

14. **Чурсов С.О.** Оцінка пошкоджень матеріалів корду та резинокордної конструкції в елементах пневматичних шин Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: XII міжнародна науково-практична конференція, 2022» м. Чернігів. 26–27 травня 2022 р. м. Чернігів. с.63-64. (Внесок здобувача: аналіз результатів дослідження).

15. **Чурсов С. О.** Оцінка механо-фізичних характеристик корду та резинокордної конструкції в елементах пневматичних шин як композитного матеріалу //Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції з проблем вищої освіти і науки ТК-2022 «ПРОГРЕСИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ» Луцьк, Україна 28-30 травня 2022 року с. 111-113. (Внесок здобувача: аналіз результатів дослідження фізико-механічних властивостей композитів, проведення випробувань).

16. **Чурсов С.О.** Вплив при накопиченні механічних пошкоджень матеріалів пневматичних шин на властивості корду при випробуванні на розтяг / Чурсов С.О., Осадчук В.С. //Матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню космонавтики. ХНТУ: Херсон-Хмельницький – 12 квітня 2023.- С.163-165. (Внесок здобувача: аналіз результатів дослідження фізико-механічних властивостей композитів, проведення випробувань).

17. **Чурсов С.О.** Прогнозування властивостей гумокордних матеріалів пневматичних шин при накопиченні механічних пошкоджень властивості корду при випробуванні на розтяг / Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: XIII міжнародна науково-практична конференція, 2023» м. Чернігів. 25–26 травня 2023 р. м. Чернігів. с.210-213. (Внесок здобувача: аналіз результатів дослідження фізико-механічних властивостей композитів, проведення випробувань).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН І ПРОБЛЕМИ ВИПРОБУВАНЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН.....	21
1.1 Причини, види і засоби усунення пошкоджень матеріалів пневматичних шин в процесі експлуатації.....	21
1.2 Основні критерії працездатності і забезпечення властивостей матеріалів шин як еластичного колеса.....	36
1.3 Існуючі математичні моделі опису поведінки матеріалів при накопиченні пошкоджень.....	40
1.4 Напрямки удосконалення компонентів гумо-кордної конструкції.....	46
Висновки до розділу 1	54
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ.....	55
2.1 Експериментальні методи досліджень.....	55
2.1.1 Методи металографії і макроскопії і аналізу макроструктури гумо- кордних конструкцій.....	55
2.1.2 Визначення твердості і мікротвердості.....	58
2.1.3 Методи випробування на розтяг і розшаровування.....	59
2.1.4 Метод фрактографії та вивчення зламів.....	60
2.1.5 Механічні характеристики матеріалів при випробуванні на згинання до руйнування.....	62
2.1.6 Динамічні випробування.....	64
2.2 Методи моделювання та теоретичні дослідження.....	65
2.2.1 Стендові випробування.....	66
2.2.2 Моделювання динаміки і визначення дисипативних властивостей матеріалів.....	71
Висновки до розділу 2	73

РОЗДІЛ 3. ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МАТЕРІАЛІВ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН ВІД НАКОПИЧЕННЯ І ВИДУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ.....	75
3.1 Результати стендових методів випробувань шин автотранспорту.....	75
3.2 Моделювання та експериментальне визначення характеристик шин при накопиченні пошкоджень від дорожніх перешкод різної геометрії.....	79
3.3 Визначення механо-кінематичних характеристик шин автотранспорту в залежності від властивостей матеріалів.....	83
3.4 Оцінка пошкоджень матеріалів корду та гумо-кордної конструкції в елементах пневматичних шин.....	88
3.5 Фрактографічні дослідження контрольованого руйнування композиції волокнистих і металевих матеріалів, у автомобільних шинах.....	93
Висновки до розділу 3	95
РОЗДІЛ 4 ПРОЦЕСИ ДЕГРАДАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПОРУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ.....	96
4.1 Вплив кінетики накопичення пошкоджень на деградацію механічних властивостей гумо-кордного композиту.....	96
4.2. Експериментальна оцінка метало-кордної компоненти з отриманим пошкодженням при окремих термінах та видах експлуатаційних пошкоджень.....	106
4.3 Термомеханічні впливи та втомна міцність матеріалів в об'ємах матеріалу протектору.....	124
4.4 Критичні умови експлуатації при отриманні гумо-кордної композиції в корозійно-активних середовищах.....	128
Висновки до розділу 4	137
ВИСНОВКИ.....	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	141
ДОДАТКИ.....	153

ВСТУП

Актуальність теми. Автомобільна шина - дуже складна, високотехнологічна з точки зору сучасного матеріалознавства та багатофункціональна конструкція. Від шини в значній мірі залежить прохідність в різних дорожніх умовах, коефіцієнт зчеплення, шум і витрата палива, безпека, вона з забезпечує довговічність, надійність і задану вантажопідйомність, пом'якшує поштовхи і удари, передані на підвіску, забезпечення надійного зчеплення з дорожнім покриттям, керованість. Сучасні матеріали шин забезпечують, передачу на дорогу тягових і гальмівних сил, призначені для поглинання незначних коливань, викликаних недосконалістю дорожнього покриття та подолання перешкод, виконують компенсацію похибки траєкторій коліс, реалізують та сприймають сили руху. Сучасні дослідження та підходи конструювання гумо-еластичних оболонок з багатокомпонентним складом матеріалів різного походження як композитів дозволяють конструкторам, технологам, маркетологам в різних галузях промисловості, а не тільки в матеріалознавстві зрозуміти, яких саме показників слід очікувати від шин. Тести готових пневматичних шин засновані на наборі важливих критеріїв. В основному перевіряється конструктивна міцність, якість гумових сумішей, однорідність, жорсткісні і геометричні характеристики шин. Однак переважна більшість тестових та стендових випробувань, включаючи незалежні випробування для забезпечення даних параметрів направлено поза безпосереднього дослідження властивостей матеріалу. У власних маневрах, подолання перешкод, гальмування, критичних ситуаціях експлуатації матеріали пневматичних шин сприймають найскладніший зовнішній вплив та змінюють власні властивості під час експлуатації, що не можна проконтролювати безпосередньо як вектор впливів та навантажень. Загалом це оцінюють тільки за пост апріорною інформацією зміни властивостей матеріалу. Дана проблема вимагає додаткових досліджень і поєднує стендові методи досліджень із матеріалознавчими

дослідженнями. Незважаючи на досить широке застосування, усталеність і стабільність поглядів, щодо механічних характеристик матеріалів шин, різні умови їх експлуатації напряду впливають на ресурс, прохідну здатність і безпеку руху автомобілів. Актуальністю дослідження є визначення міцності композиції гуми як матриці, армованої металевими волокнами і вплив їх співвідношення на стійкість до пошкоджень, під час експлуатації автомобільних шин. Розробка конструкції пневматичної шини з високим експлуатаційним рівнем пов'язана з проведенням серії експериментальних досліджень для визначення стабільності та надійності її виконання. Альтернативою експериментальному тестуванню є чисельне моделювання з використанням методу скінчених елементів, завдяки якому оцінюють деформації та напружені стани, що виникають у структурі шини, і впроваджують корелюючи зміни в конструкцію та склад матеріалів.

В цьому плані, задача дослідження накопичення пошкоджуваності в матеріалі шин є актуальною. В дисертаційному дослідженні приділено увагу механічні властивостям матриці, в якій саме накопичуються пошкодження різного виду в результаті чого відбувається перерозподіл навантажень у волокнистих наповнювачах (металевий корд, тканина) та границях їх розподілу.

В роботі поєднувались стендові циклові навантаження на спеціальному обладнанні випробування на розтяг та розшарування. В дослідженнях визначалось міцність композиції гума як матриця, армована металевими волокнами і вплив їх співвідношення на стійкість до пошкоджень, під час експлуатації автомобільних шин. Розглянуто окремо металеві і тканеві волокна для випробування матриці на розтяг і окремо видалено матрицю із збереженням волокон. Виникає потреба детально описувати різні типи руйнування металу складової у вигляді корду, бічного дроту, його механізм як у формі фізичного, так і морфологічного явища. На цьому гуртуються актуальність кожного з цих типів руйнування з удосконаленням технологічних процесів виготовлення металокорду, бортового дроту та усунення

несправностей у експлуатації шин. Для більш глибокого розуміння та опису пошкоджень місцях експлуатаційного руйнування поверхонь необхідно проводити дослідження мікрогеометрії, морфології поверхні, умов розповсюдження тріщини, в середині матеріалів та на границі зламів, поглиблене вивчення макро і мікроструктури матеріалу пневматичних шин. На сьогодні мало вивчено різних типів руйнувань пневматичних шин до яких належать пластичне, центральне розривне, крихке, втомне, скручування, корозія, розшарування і руйнування швів. Необхідна перевірка вимірних констант матеріалу методами чисельного моделювання шини, порівняння результатів з фактичними даними випробувань механічних властивостей, які містяться в технічній документації на шину.

Теоретичною базою для вирішення поставлених завдань стали роботи вітчизняних науковців Ларін О.О., Карпенко В.О., Перегон В.А., Абдулгасіс А.У., Біліченко В.В., Зінько Р.В. і зарубіжних вчених Alan N. Gent, Joseph D. Walter, Pawel Baranowski, Ramesh Shilavant, Juan Cabrera, Yi Xiong, Chen Liang, K. M. Jeong.

У наукових працях вищевказаних авторів обґрунтовані такі питання як стендові методи випробувань, механічні властивості гум, корд пневматичних шин і з'єднання корду з гумою, механіка кордно-гумових композиційних матеріалів, вантажопідйомність шин, аналіз напруг шин, фрактографічні дослідження, злами, феномен контактної плями (сліду), оцінка втоми для радіальної шини на основі градієнта щільності енергії деформації сили та моменти, шум і вібрація шин, зчеплення гуми та зчеплення шин, опір коченню, стирання гуми та зношування, які впливають на керованість автомобіля, довговічність та несправності шин. Багато досліджень щодо неруйнівного випробування та перевірки параметрів, стандартів, встановлення та специфікації шин, глобально-локальний аналіз скінченних елементів розділення в гумо-кордних композитах радіальних шин.

Зв'язок теми дослідження з планами науково-дослідних робіт. Робота виконана у рамках проведення науково-дослідної роботи кафедри

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки : «Технології та обладнання для отримання виробів складної форми з урахуванням процесів деформації середовища та зворотнього зв'язку у виробничих системах» номер державної реєстрації 0119U100159 (2019-2022 рр.), госпдоговірної науково-дослідної теми «Поверхнева обробка елементів кузовів автомобілів полірувальними пастами і оцінкою параметрів шорсткості» номер державної реєстрації 0121U114300 (2021 р.), наведено у Додатках Е та Ж, низки комерційних наукових лабораторних послуг на замовлення підприємств. Результати дисертаційної роботи впроваджено ПП «ОРИГІНАЛ АВТО» м. Херсон (Додаток З).

Мета дослідження – встановити зв'язок між зовнішнім впливом і факторами експлуатації із пошкодженнями пневматичної шини та властивостями матеріалу шин в процесі накопичення пошкоджень з використанням феноменологічного підходу із застосуванням стендових методів, що як найбільше відтворюють умови експлуатації шини при подоланні різних перешкод і їх комбінацій.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Встановити зв'язок між видом, походженням та ступнем пошкоджень пневматичної шини на механічні, структурні, хімічні і трибологічні властивості матеріалу в зміні фізико-механічних параметрів, за період експлуатації.

2. Виконати теоретичний опис процесів змін механічних, динамічних і експлуатаційних характеристик шин у вигляді математичних і комп'ютерних моделей, що можуть бути використані для прогнозування їх властивостей в процесі роботи.

3. Отримати експериментальні дані для комп'ютерного моделювання щодо ступеню форми просторової деформації дільниці шини, що контактує з перешкодою, як застосування феноменологічного підходу, прогнозування змін структурно-механічних властивостей матеріалу шин від виду походження і ступеню накопичення пошкоджень.

4. Визначити кінетику деградації міцності гумо-кордних композицій як матриці, армованої металево-тканевими волокнами і вплив їх співвідношення на стійкість до пошкоджень, під час експлуатації автомобільних шин.

5. Розробити кінематичну схему, конструкції вузлів та програмно-математичний апарат універсального програмно-керованого стенду для випробування пневматичних шин, з точки зору оцінки властивостей матеріалів.

6. Провести вимірювання і дослідження вібраційних характеристик коліс в кореляції з і шин в найбільш поширених комбінаціях, подолання перешкод.

7. Виконати моделювання механічних характеристик матеріалів пневматичних шин в процесі подолання перешкод для оцінки експлуатаційних характеристик гумо-кордних композицій.

Об'єкт дослідження – фізико-структурні процеси змін властивостей матеріалів шин, їх визначення стендовими методами та прогнозування.

Предмет дослідження – кінетика деградації властивостей матеріалів пневматичних шин від ступеню, виду і походження пошкодження та прогнозування випробувально-модельними засобами ресурсу гумо-кордних композицій.

Методи досліджень. Дослідження базуються на загальних принципах матеріалознавства, теорії пружності еластичної оболонки, теорії композитних матеріалів, окремих засадах теорії руху автомобіля, феноменологічному підході, динаміки машин, сучасних стандартних і модернізованих методах експериментальних вимірювань, комп'ютерного моделювання і комп'ютеризованих вимірювальних засобів.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше встановлено закономірності змін основних механічних характеристик пневматичних шин і поставлено у відповідність ступінь накопичення, природу та комплекс кількісних і якісних показників пошкоджень матеріалу. За рахунок керованого зовнішнього впливу факторів

засобами удосконалених стендових випробувань, як комплексу відтворення взаємодії матеріалів гумо-кордної композиції із перешкодами різної геометрії та їх комбінацій спрогнозовано взаємодію матеріалу з силовими, термічними, циклічними, трибологічними і хімічними впливами, що визначають термін експлуатації.

2. Систематизовано підходи та методики, що визначають механічні властивості матеріалів пневматичних шин як композитно-каркасної конструкції на рівні нормативних документів і технічних вимог, стендових випробувань та передових модернізованих вимірюваннях неруйнівного контролю для забезпечення критеріїв працездатності складових елементів композитів, визначення їх будови та змін у процесі накопичення пошкоджень.

3. Проведено ґрунтовний аналіз розвитку пошкоджень та деградації механічних властивостей під дією програмно-керованого комплексу подолання штучних перешкод і їх комбінацій, виконано опис набутих експлуатаційних характеристик у параметрах сукупних деформацій, дисипативних властивостей та структурних змін матеріалів пружних гумо-кордних оболонок з отриманими пошкодженнями.

4. За фрактографічними дослідженнями визначено комплекс термомеханічних пошкоджень та характеристик втомної міцності, викликаних умовами експлуатації різнокомпонентних матеріалів автомобільних шин, їх макро- і мікровластивості.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримано практичні рекомендації для виробників, експлуатаційних підприємств та торгових організацій, удосконалено і визначено нормативні показники працездатності автомобільних шин, як відбиток комплексу походжень зовнішніх експлуатаційних впливів заданих модернізованими стендовими випробуваннями матеріалів. Створено умови удосконалення деяких способів руху та керування автомобілів, враховуючи образ накопичених пошкоджень у детермінованому вигляді. Розроблено програмно-апаратні, механічні та вимірювальні засоби модернізованих методик

випробування матеріалів шин, на які отримані охоронні документи, у вигляді патентів, корисних моделей та авторських свідоцтв наведено у Додатку І.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаною науковою працею, у якій виконано експериментальні та теоретичні дослідження процесів пошкодження багатокомпонентних матеріалів в стендових випробуваннях та експлуатації пневматичних шин. Здобувачем самостійно виконано аналіз джерел інформації за темою дисертації, обрано методики та виконано натурні експерименти по встановленню механічних властивостей та структури, проведено опрацювання отриманих результатів, здійснено їх опис, власноруч виготовлено дослідні зразки нестандартної випробувальної і вимірювальної техніки. Теоретичні положення і математичні моделі створені у співавторстві з науковим керівником. Спільно отримані результати у співавторстві мають відповідні посилання.

Апробація результатів дисертації. Основний зміст дисертаційної роботи було представлено обговорено та схвалено на:

- VIII міжнародна науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», м. Чернігів, 10-12 травня 2018 р.
- IV міжнародна наукова-практична конференція «Сучасні технології промислового комплексу», м. Херсон, вересень 2018 р.
- VI міжнародна наукова-практична конференція «Сучасні технології промислового комплексу», м. Херсон, вересень 2020 р.
- IX Всеукраїнська наукова-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвячена Дню космонавтики, м. Херсон, квітень 2021 р.
- XXII Міжнародна наукова-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», м. Київ вересень 2021 р.
- VII Міжнародна наукова-практична конференція «Сучасні технології промислового комплексу», м. Херсон, вересень 2021 р.

- XII Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», м. Чернігів, травень 2022 р.
- VII Міжнародна науково-технічна конференція з проблем вищої освіти і науки ТК 2022» м. Луцьк, травень 2022 р.
- X Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління» м.Херсон, квітень 2023р.
- XIII міжнародна наукова практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» м. Чернігів травень 2023 р.

Публікації за темою дисертації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 17 робіт, у наукових фахових виданнях України- 5; патент-1; тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій-11, з них міжнародних конференцій- 9 та тез у збірниках всеукраїнських конференцій- 2.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і 11 додатків. Дисертація викладена на 152 сторінках, містить 19 таблиць, 79 рисунків та 98 найменувань літературних джерел.

РОЗДІЛ I

СУЧАСНИЙ СТАН І ПРОБЛЕМИ ВИПРОБУВАНЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН

Надійність пневматичної шини, як конструкції, значною мірою визначає безпеку машин які піддаються різним впливам, факторам та навантаженням в період експлуатації. Пневматична шина – це тороїдальна пружна оболонка, яка являє собою складну високотехнологічну конструкцію, виготовлену з гумо-еластичних матеріалів та армована металевим кордом.

Основним призначенням шини є контакт з дорожнім покриттям: пом'якшення поштовхів і ударів, забезпечення комфортних і безпечних умов руху транспорту. Пневматичні шини розрізняються за способом герметизації внутрішнього об'єму, розташування та конструкції корда за будовою, відношення висоти до ширини профілю, типу протектора та ін. Таким чином, постає задача подовження експлуатаційного ресурсу через дослідження передумов, зародження тріщин, умов виникнення пошкоджень та руйнування матеріалів пневматичних шин, що є актуальною сучасною задачею яка потребує вирішення.

1.1 Причини, види і засоби усунення пошкоджень матеріалів пневматичних шин в процесі експлуатації

Широке коло дослідників пневматичних шин використовують різні експериментальні методи, схеми опису, математичні моделі та засоби вимірювання таких складних і технологічних багатокомпонетів як матеріали автомобільних шин [1-11]. Це обумовлено тим, що пневматичну шину вивчають в декількох напрямках наукових досліджень: технологія виробництва [1, 6], експлуатація шин [2-5], відновлення та ремонт [1], теоретичне дослідження та моделювання [28-42], теорія руху еластичного колеса [3, 5, 24], напрями окремих розділів механіки шини [3] та шинне

матеріалознавство [43-52]. Тому доцільно такі роботи розглядати по групам, в межах відповідних критеріїв, що пред'являються до пневматичних шин які можуть бути використані в області матеріалознавства. Даний огляд наведено нижче. Попередній аналіз літературних джерел показав мінімальну частку публікацій з матеріалознавства порівняно з іншими галузями науки і техніки.



а)



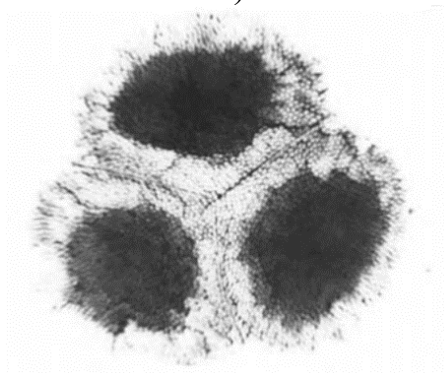
б)



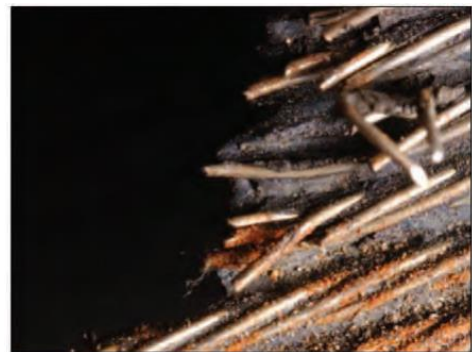
в)



г)



д)



е)

Рис. 1.1. Сучасні методи випробування та дослідження пневматичних шин: а), б) – дослідні стенди визначення механічних характеристик; в) - тріщина на межі із поліефірним шнуром; г) - тріщина на межі між сталевими стрічками; д) - переріз тканевого шнура; е) - пошкодження сталевого поясу

Так монографія [1] присвячена проблемі комплексного, узагальненого викладення методів дослідження пневматичних шин, детально описано властивості гуми та текстилю, умов тертя, розглянуто проблем напруги шин, конструкції шин, зношування та керованість, а також механічні властивості шин (рис. 1.1). В ряді робіт [1-8] докладно досліджено властивості шин, які впливають на керованість автомобіля в стабільному стані, довговічності виконано аналіз несправностей шин, опис неруйнівних випробувань та перевірки, наявні стандарти та специфікації шин, їх матеріалів, відновлення та повторне використання.

В роботі [2] наведено теоретичні та експериментальні методи, пов'язані з шумом, експлуатаційним ресурсом за критерієм довговічності та зносом, а також стійкістю керованих коліс. Методика визначення ресурсу шини та теоретичні дослідження оцінки за втомною довговічністю, включають розрахунок характеристик, які відповідають опору втомним руйнуванням. Термін служби шини залежить як від умов експлуатації, так і від конструкції та фізико-механічних властивостей матеріалів, а втомна довговічність шини визначається за критерієм втоми:

$$L = 2 \cdot 10 - 6 \cdot \pi \cdot r_k \cdot N_y \cdot K, \text{ тис. км,} \quad (1.1)$$

де r_k -радіус кочення колеса, м;

N_y - наведена втомна витривалість матеріалу шини, кількість циклів;

K - кількість циклів навантаження за один оберт колеса.

Наступним критерієм працездатності є енергія максимальних деформацій, що описують як :

$$W = 0.5 \cdot E \cdot \varepsilon_0^2, \text{ МДж/м,} \quad (1.2)$$

де E -динамічний модуль Юнга, МПа;

ε_0 -максимальна амплітудна деформація.

Для цього необхідно знати наведену енергію максимальних деформацій з урахуванням розігріву шини та впливу старіння. Максимальна амплітудна деформація за цикл складає :

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_y \cdot K_T \cdot K_c, \% \quad (1.3)$$

де ε_y - втомна деформація при температурі випробування зразка,
 K_T - коефіцієнт, що дорівнює відношенню деформації розриву при температурі розігріву шини та температурі випробування зразка;
 K_c - коефіцієнт старіння з деформації.

Приведена енергія максимальних деформацій з урахуванням розігріву боковини шини та впливу старіння має вигляд:

$$W_y = 0.5 \cdot E \cdot \left(\frac{\varepsilon_0^2}{K_T \cdot K_c} \right)^2. \quad (1.4)$$

При нелінійному співвідношенні напруг і деформацій залежності втомної витривалості від механічних параметрів циклу:

$$N_y = \left(\frac{W_p}{K_\theta \cdot W_y} \right)^{n_w}, \text{ циклів} \quad (1.5)$$

де W_p - енергія руйнування матеріалу при одноразовому навантаженні та заданій температурі, МДж/м³;

n_w - показник ступеня, що характеризує криву втомної витривалості гуми;

K_θ - коефіцієнт концентрації напруг.

Монографія [3] присвячена питанню впливу параметрів шини, вплив кутів встановлення керованих коліс на роботу сил тертя в плямі її контакту з опорною поверхнею, та на тягово-швидкісні властивості автомобіля. Запропоновано феноменологічний і модельний підхід в розробленні математичної моделі для визначення роботи сили тертя в контакті шини з опорною поверхнею. Розроблено математичну модель шини для визначення зусиль і проковзувань у контакті з дорогою, запропоновано визначення розподілу нормальних контактних зусиль з урахуванням жорсткості брекера,

наведено результати теоретичних досліджень впливу експлуатаційних та конструктивних факторів на роботу тренування в контактї шини з опорною поверхнею.

В Україні найбільш ґрунтовними дослідженнями методів моделювання та прогнозування пневматичних шин та їх елементів займалися низка дослідників [29-31] у співавторстві з професором Ларіним О.О. [4, 28-31], в яких викладено сучасні основні питання та визначення теорії надійності пневматичних шин при поступових відмовах при втомних пошкодженнях з використанням теорії пошкоджуваності матеріалів, визначення параметру пошкоджуваності у рамках континуальної механіки, механізми багатocyклової втоми, прогнозування залишкового індивідуального ресурсу з урахуванням випадкової частоти виникнення перехідних процесів та деградації матеріалу з гумо-кордними композитами, моделювання кінетики росту пошкоджуваності втоми в гумових матеріалах. Фізично пошкоджуваність визначається механізмом накопичення мікроефектів (мікроструктури матеріалу та причин розвитку мікроефектів: втоми, повзучість, знос і т.п.) і залежить від параметрів відгуку системи (напружень, деформацій, температури), а також властивостей матеріалу. У недеформованому і непошкодженому стані деяка частина матеріалу буде займати деякий презентативний обсяг δV . Для малої площадки з площею $\delta S(\vec{n})$, що проходить через дану точку тіла з нормаллю $\vec{n}$.

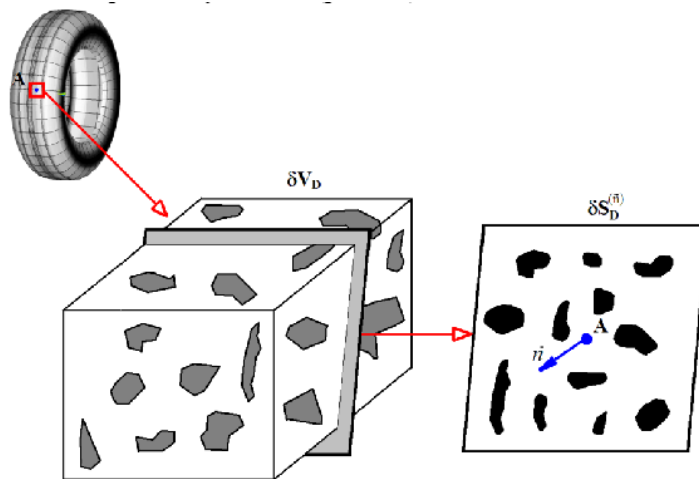


Рис.1.2. Геометрична інтерпретація пошкодження [4].

В результаті накопичення мікроефектів в околиці точки тіла виникають порожнечі, мікротріщини, мікро-порожнини і т.п. (рис. 1.2). В цьому випадку перетин презентативного об'єму матиме меншу площу $\delta\tilde{S}(\vec{n})$, так як буде містити порожнечі ($\delta SD(\vec{n}) = \delta S(\vec{n}) - \delta\tilde{S}(\vec{n})$). В рамках цих позначень поняття пошкоджуваності може бути введено як поверхнева щільність мікроефектів в перерізі презентативного об'єму площею з нормаллю

$$D_{(\vec{n})} = \frac{\delta S_D^{(\vec{n})}}{\delta S(\vec{n})} \quad (1.6)$$

У найпростішому випадку ізотропної пошкоджуваності – параметр пошкоджуваності вводиться як скалярна величина незалежна від орієнтації, і визначається для площі з максимальною щільністю мікроефектів.

Аналітичний підхід до прогнозування надійності полягає у розв'язанні задачі статистичної динаміки - визначенні ймовірнісних характеристик об'єкта (вектора $X(t)$) по відомим ймовірнісним характеристикам навантажень і параметрів об'єкта (векторів $F(t)$ и $S(t)$). При цьому будується математична модель об'єкта, яка ставить відповідність між зовнішнім впливом і відгуком об'єкта. При цьому математичну модель об'єкта представляють у вигляді:

$$L(S(t))[X(t)] = F(t), \quad (1.7)$$

де $X(t)$, $F(t)$ – відповідно вектори узагальнених вузлових переміщень і вузлових навантажень, L – матричний диференціальний оператор, що залежить від вектора параметрів об'єкта $S(t)$.

Надалі визначають ймовірнісні характеристики вектора параметрів працездатності $Z(t)$ по відомим ймовірнісним характеристикам відгуку $X(t)$ та параметрів конструкційної міцності вектора $R(t)$. Зв'язок між цими векторами може бути представлено в операторній формі :

$$H(R(t))[Z(t), X(t)] = 0, \quad (1.7)$$

де H – деякий детермінований оператор, що описує закон еволюції внутрішніх пошкоджень під час експлуатації. Для широкого класу поступових відмов для вектора $Z(t)$ використовують феноменологічні кінетичні рівняння виду.

Професором Карпенко В.О.[2] зазначається методика, де знаючи характер деформацій ниток корду в модельній шині та отримавши значення деформацій у досліджуваній шині за реальних умов, можна передбачити можливість її руйнування, зазначено, що найбільша ймовірність руйнування спостерігається у плечовій зоні шини.

Визначення пробігу шини присвячено низку робіт [2, 3]. здебільшого рекомендації щодо терміну служби даються з урахуванням ходових випробувань [5], які вимагають великих витрат трудових і матеріальних ресурсів.

Стендові випробування [5] прискорюють процес оцінки довговічності шини, проте умови роботи шини на стендах і при експлуатації відрізняються показники, що призводить до наближених оцінок пробігу. Важливо виявити переважний дефект виведення шини з ладу. Сучасні виробники стендів для випробування шин наведено у Додатку А та конструкції (стендів) наведено у Додатку А та Додатку Б, відповідно.

Один із таких методів запропонований у роботі [2], в якій пробіг визначається за наступною залежністю:

$$S = \int_0^{\infty} P_1 \cdot (S) \cdot P_2(S) \cdot dS \quad (1.8)$$

де $P_1(S)$ - функція надійності по зносу;

$P_2(S)$ – функція надійності розриву;

S – середній пробіг шини.

Виявлення визначального дефекту шини є дуже важливим завданням, проте цей метод базується на статистичних даних, отриманих в результаті об'ємних ходових випробувань.

В роботі [2] наведено отримано формулу пробігу шини до повного зносу протектора в залежності від різних експлуатаційних параметрів з урахуванням макронерівності дорожнього покриття.

$$Z_{u1} = \frac{h_{\text{пр}}}{\left[i_p + 10^{-6} \cdot \gamma \cdot u_a \cdot S^2 \cdot l(0,22 \cdot C + 0,3 \cdot C_1) \right]} \quad (1.9)$$

$h_{\text{пр}}$ – глибина малюнка протектора, мм

i_p – інтенсивність зношування на рівній дорозі, мм/1000км;

γ – коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструкції шини;

u_a – швидкість руху автомобіля км/год;

S – відносне переміщення кузова та коліс, см;

l – довжина нерівностей дороги, см/км;

C – опір амортизаторів, см/км;

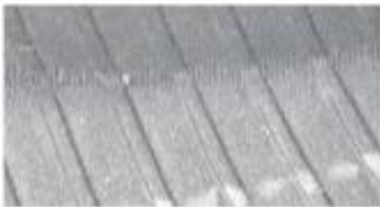
C_1 – коефіцієнт внутрішнього опору шини.

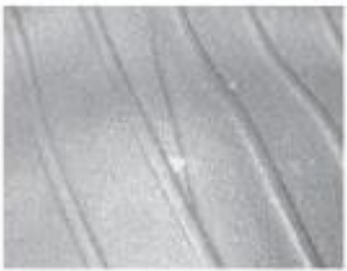
Однак запропонована залежність недостатньо повно враховує конструктивні, геометричні та фізико-механічні характеристики конкретної шини. Інтенсивність зносу прийнята постійною, хоча насправді ця величина змінюється за зміни глибини малюнка протектора [2].

Деякі наукові роботи є оглядом проблеми аналізу окремих дефектів шин [6] та їх причини, які можуть виникнути під час виробничого процесу їх виготовлення. Дефекти шин, пов'язані з помилками структурної неоднорідності в процесі виробництва, типові дефекти виробничого процесу, основні вузли радіальних шин та їх функції наведено в таблиці 1.1, також в роботі [6] виконано систематизацію виробничих дефектів і пошкоджень шин в цілому в процесі експлуатації (Рис.1.3). Сучасні критерії, представлення та визначення пошкоджуваності матеріалів наведено у Додатку В.

Таблиця 1.1.

Класифікація дефектів, пов'язані з помилками структурної
неоднорідності в процесі виробництва [6].

№	Вигляд пошкоджень	Дефекти	Потенційна причина
1.		Тиснення каркасу	Мембрана неправильно розташована в процесі вулканізації або неправильно покриті волокна каркаса
2.		Розрідження каркаса	Занадто сильно розтягнутий матеріал, в процесі виробництва, при технологічному з'єднанні
3.		Відкрите з'єднання протектора	Недотримання належної чистоти під час підключення протектор- ного полотна під час виробництва
4.		Відділення протектора в плечовій частині	Недостатня чистота (вода або краплі олії) під час виробництва
5.		Відділення поясу під протектором	Незабезпечення належної чистоти, конденсат води під час виробництва

№	Вигляд пошкоджень	Дефекти	Імовірна причина
6.		Розімкнуте з'єднання внутрішньої вкладиші	Неправильне склеювання матеріалу, неправильно вирізаний пояс з бутилкаучуку
7.		Відокремлення в бісерній області	Пошкодження, викликані потраплянням води або маслянистих рідин під час виробництва
8.		Деформація протектора	Неправильне зберігання шин прямо з форми
9.		Сторонній предмет, штампований під час вулканізації	Брудна цвіль, недотримання чистоти

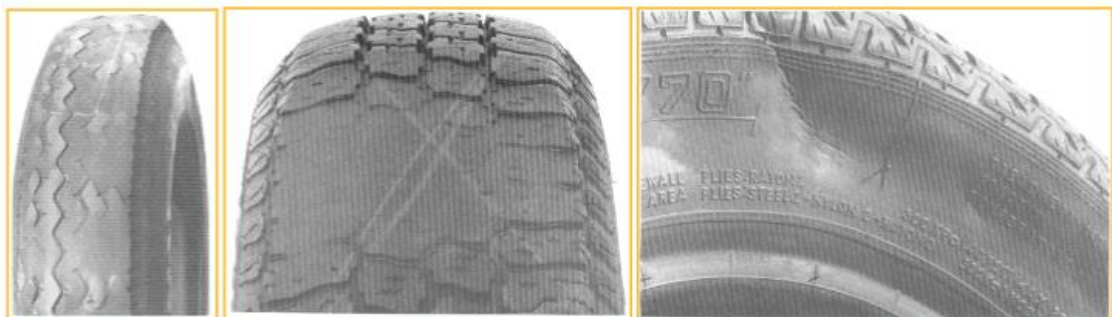


Рис. 1.3. Приклади нерівномірного зносу шин – багатоточковий знос протектора, різкий локальний знос протектора через блокування коліс (у центрі), пошкодження плеча через перевантаження або низький тиск накачування (праворуч) [6]

Вимоги до матеріалів і компонентів шин, які очікуються в структурах шин з механічної точки зору для майбутньої розробки реалістичної моделі для вдосконаленого моделювання шин розглядаються в роботах.

Будучи композиційними структурами, шини складаються з багатьох елементів, які підбирають через їхні внутрішні фізичні властивості щодо впливу навантаження. Оскільки механічна поведінка шини безпосередньо пов'язана з параметрами матеріалу та структурних складових (каркас, сталевий кордовий ремінь і текстильний кордовий ремінь), існує необхідність в адекватних математичних моделях (рис. 1.4) [7].

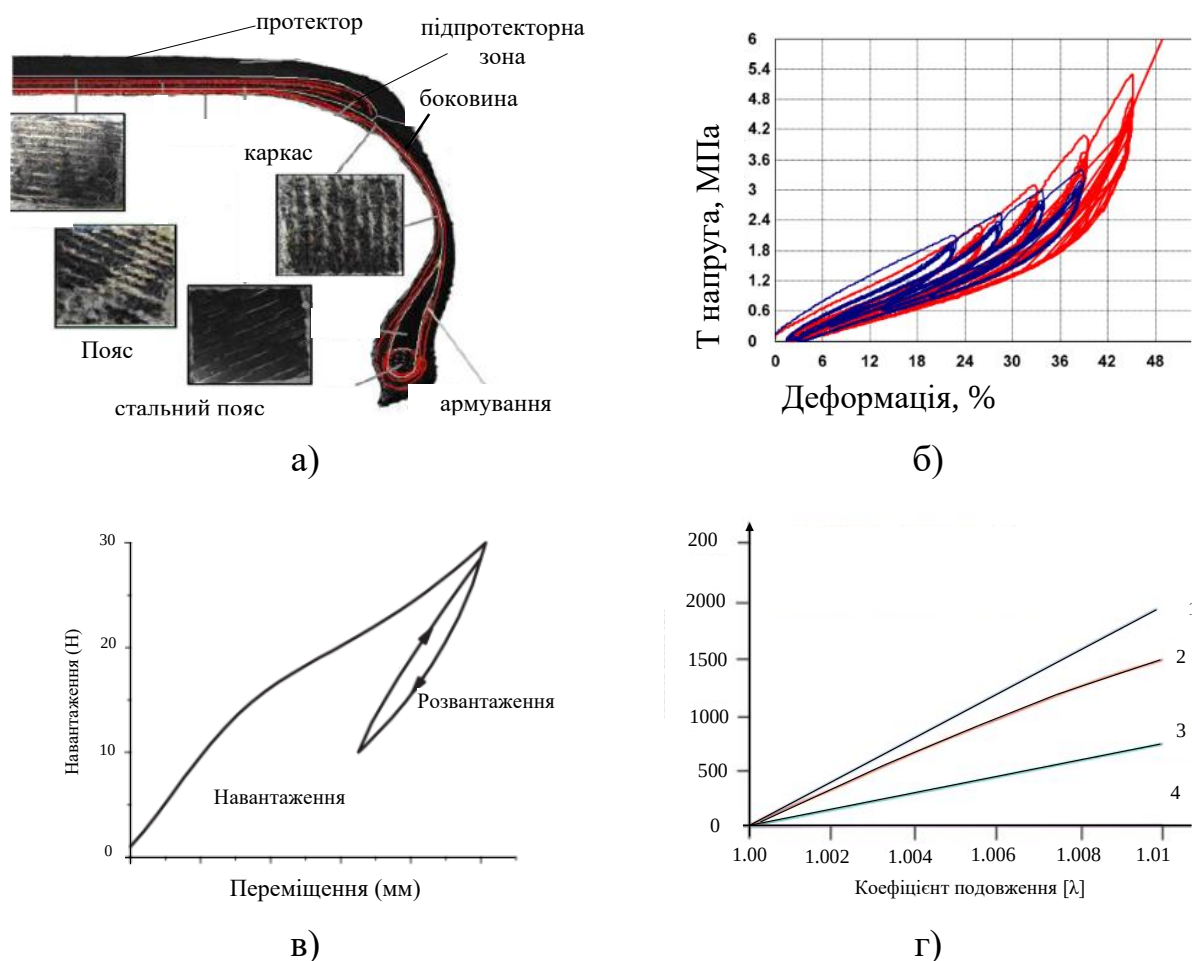


Рис. 1.4. Результати огляду публікацій по механічних характеристиках [7]: а) - макромеханічна структура шини [8]; б) - залежність справжньої напруги від справжньої деформації [9]; в) - петля гістерезису, що спостерігається в корді синтетичної шини під час циклічного навантаження [10]; г) - результати випробувань на розтяг деяких вибраних сталевих кордів [11]

З макроскопічного масштабу складність шин як композиційної структури становить реальну перешкоду для обчислень оскільки його стандартний скінченно-елементний аналіз передбачає дуже щільну систему алгебраїчних рівнянь. Автори [10] досліджували структуру композит, що складається з гуми та модифікуючих хімічних сполук, їх функції, вимоги та інформація про фізичну природу, пов'язані з кожним компонентом шин.

Використання автоматизованих систем аналізу якості шин з набору датчиків на основі лазера для вимірювань деформації блоку протектора шини (рис. 1.5) розглянуто в низці наукових статей [12-14]. Виконано вимірювання опору кочення для різних умов експлуатації, включаючи зміни напрямку кочення, навантаження на колесо, швидкості кочення та тиск у середині шини.



а)



в)

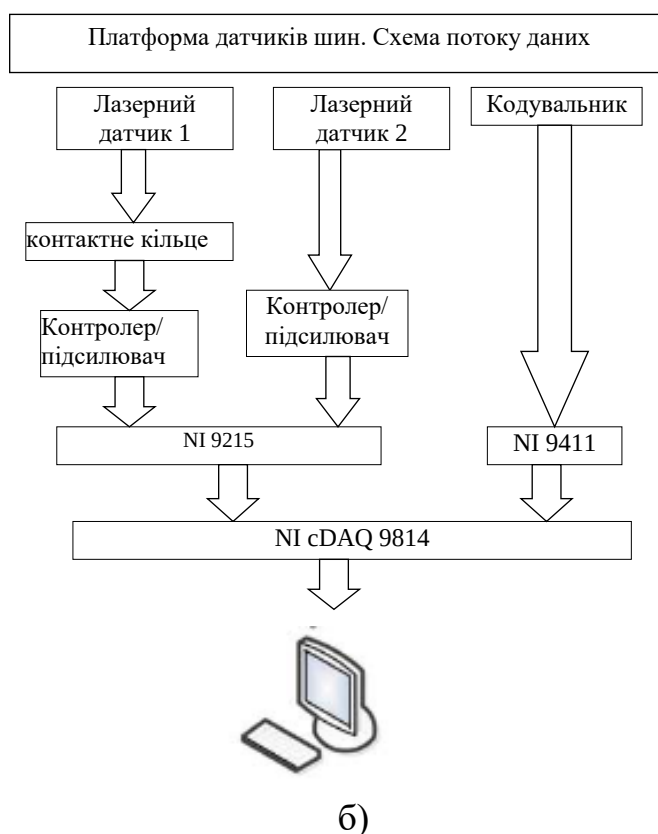


Рис. 1.5. Вимірювальний комплекс для пневматичних шин [12]:

а) – інтерфейс системи комп'ютерного контролю; б) - платформа датчиків шин та блок схема системи потоку даних; в) – зовнішній вигляд випробувального стенду

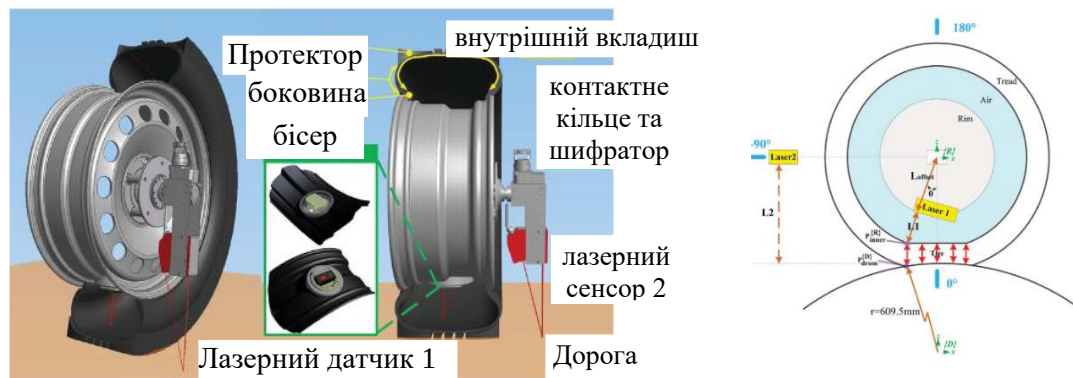


Рис. 1.6. Прототип лазерної системи датчиків шин для вимірювання деформації протектора [12]

Експерименти з валідації проводилися на динамометрі, і спостерігалася асиметрична деформація протектора шини вздовж плями контакту (рис. 1.7). В основному стендові випробування мають за мету визначення пружних та деформаційних сил в цілому, які не пов'язані напряму в методичному сенсі з властивостями матеріалу та його структурою, однак будуть корисними для співставлення вимог до матеріалу із механічними показниками.

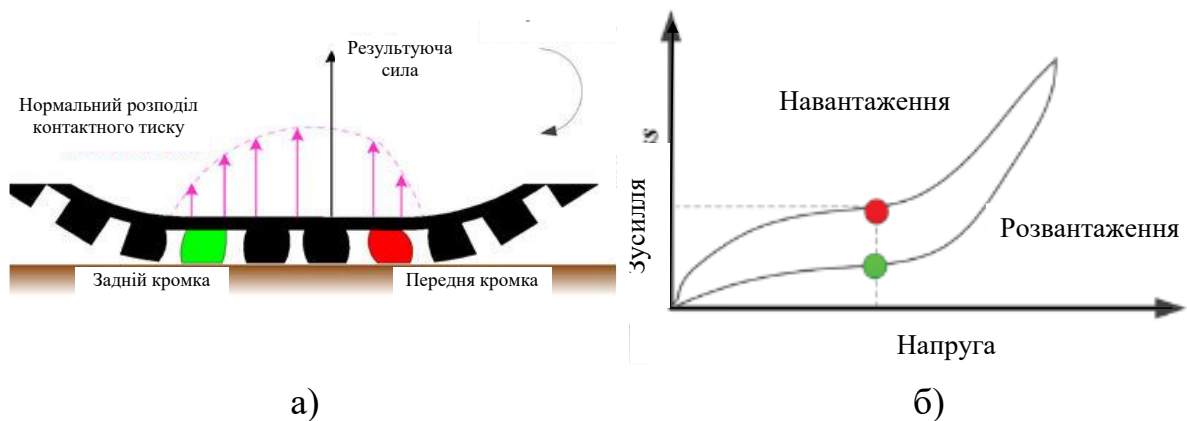
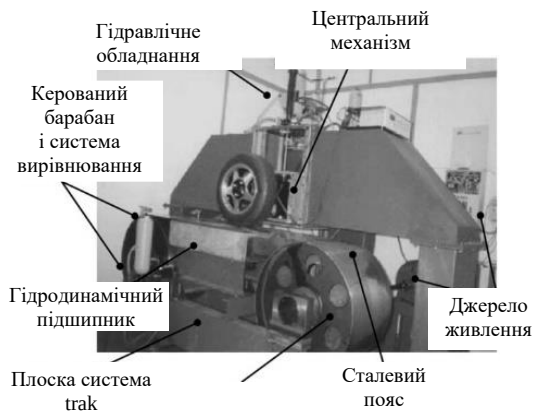
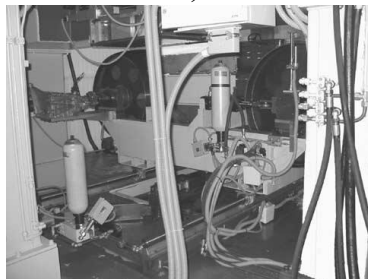


Рис. 1.7. Розподіл контактної тиску шини з дорогою у вертикальному напрямку та крива напруги-деформації гумової суміші [12]

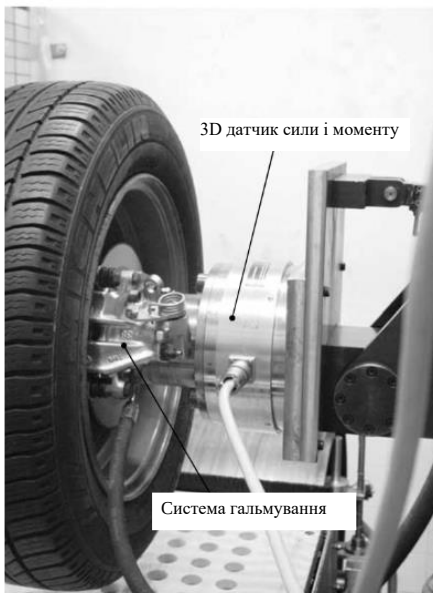
Публікації [13, 14] є оглядом стендових випробувань пневматичних шин, описано машину для випробування на плоскій доріжці, що дозволяє моделювати та вивчати динамічну поведінку багатьох їх конструкцій у контрольованих і повторюваних високодинамічних реалістичних умовах (рис. 1.8).



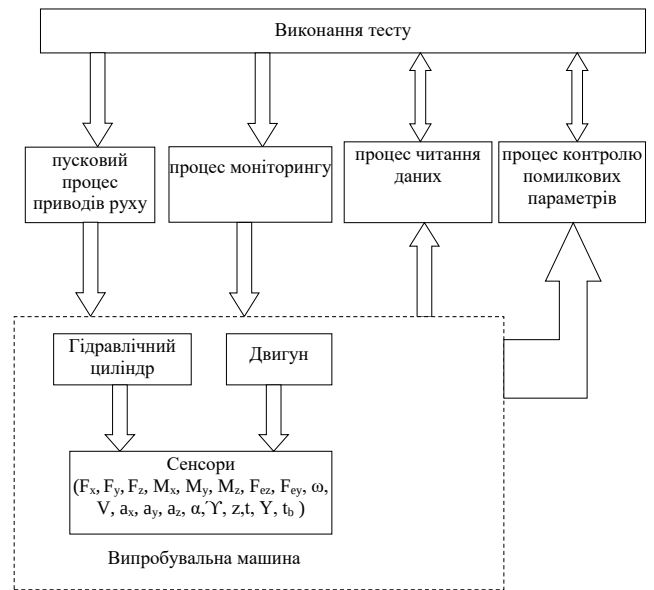
а)



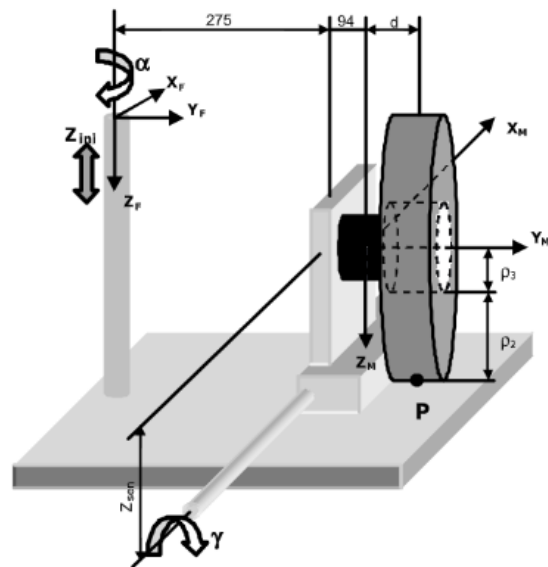
б)



д)



в)



г)

Рис. 1.8. Стенд для випробування шин [13]: а) - машина для динамічних випробувань шин; б) - система бокового руху; в) - схема програмного забезпечення комп'ютера; г) - тривимірний датчик і гальмівна система; д) - центральний механізм і сенсорна система відліку

На стендах вимірюються зміни внутрішнього контуру шини внаслідок подолання перешкод та навантаження на колесо. Аналізуються нерівномірні деформації протектора в зоні контакту, проводять вимірювання внутрішнього контуру кочення шини, який охоплює частину поперечного перерізу шини.

Дослідження авторів [15] присвячено процесам втоми та методу оптимізації, який ефективно покращує втомний ресурс шини. За допомогою аналізу кінцевих елементів і випробувань на довговічність було визначено градієнт щільності енергії деформації як індекс оцінки втоми шини, а також підтверджено гіпотезу про прогнозування втомного ресурсу шини (рис.1.8). Одночасно розраховували чутливість градієнта енергії деформації до параметрів структури шини. Крім того, у цій роботі також було встановлено зв'язок між структурними параметрами та довговічністю у втомі (рис.1.9 а, б).

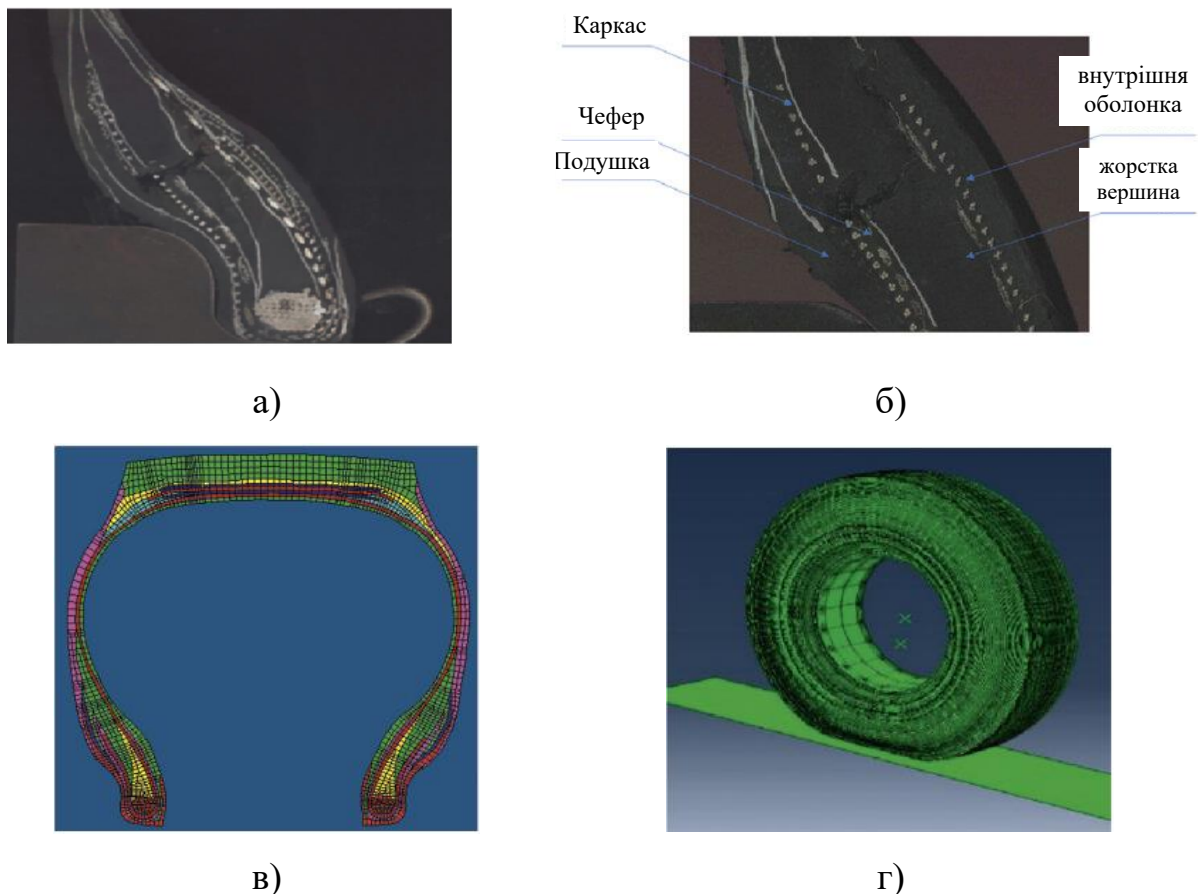


Рис. 1.9. Розріз зразка тестової шини [15]: а) - площа борта шини, а) - точка руйнування зони валика, в, г) - скінченно-елементна модель, (в) двовимірна скінченно-елементна модель, г) - тривимірна скінченно-елементна модель

У дослідженні об'єктами дослідження були суцільносталеві радіальні вантажні шини 11.00R20 і 12.00R20, а керівною гіпотезою дослідження було те, що максимальна площа модуля градієнта щільності енергії деформації відповідає початковій площі руйнування, її напрямок відповідає до напрямку поширення тріщини, а також максимальне значення енергії деформації обернено пропорційне втомному ресурсу шини. Існують декілька критеріїв пошкоджуваності, що впливають на критерії втомної міцності та використовуються в прогнозних розрахунках (Додаток В).

Проблему зношенню шин розглянуто авторами [16, 17]. Знос шин вимірювався експериментально за допомогою напівемпіричних моделей, попередньо визначених даних і сенсорних технологій, що обґрунтовано математично з використанням різних підходів до моделювання та різних моделей тертя за допомогою експериментальних та змодельованих середовищ. В результаті зношення утворюються тверді частинки які досліджувались авторами [21]. Проведено аналіз твердих частинок зносу шин із протекторної гуми з різними складами та порівняння концентрації у різних зношувальних пристроях, що утворюється під час стирання радіальних шин, а також досліджено вплив використання різних типів гуми та сажі. Коли натуральний каучук використовувався виключно як гумовий матеріал для протектора шин, спостерігалася вища концентрація 5–10 мкм. Однак, коли склад протектора складався з натурального каучука, змішаного з бутадієновим каучуком, концентрація твердих частинок зменшувалася. Концентрація твердих частинок у зразках зростала зі збільшенням швидкості та вертикального навантаження.

1.2 Основні критерії працездатності і забезпечення властивостей матеріалів шин як еластичного колеса

Багато наукових публікацій [25, 26] детально розглядають умови правильно накачаного тиску в шинах, щоб забезпечити рівномірний розподіл

навантаження по сліду та допомогти стабілізувати структуру шини, що має значний вплив на знос шин, опір коченню, довговічність. Вплив тиску на ресурс шин визначають, також вивчаючи пляму контакту шини. Зона найбільшого тиску в зоні контакту протектора шини з дорогою показана на рис.1.10 [22, 23].



Рис. 1.10. Пляма контакту шини з поверхнею в залежності від тиску в ній [22]

При зниженому тиску більш високе навантаження припадає на краю шини, тобто плечову зону, провокуючи в цій частині протектора підвищений зношування. При підвищеному тиску - більш високе навантаження в плямі контакту доводиться на центральну частину протектора. В цьому випадку центральна частина шини починає зношуватися швидше, ніж бічні блоки протектора. Знижений тиск при високій швидкості призводить до нечіткого керування задньої осі на бічному профілі шини та непрогнозованого зношування, внутрішнього розігріву каркаса і підвищеного зносу шин в цілому [2].

Осадку шин математично пов'язують із її жорсткістю та тиском за наступними рівняннями:

$$f_{\sigma} = \frac{M_a g}{2c_{\sigma}} \quad \text{або} \quad f_{\sigma} = \frac{M_a g}{A_0 + B_0 p_{\sigma}}, \quad (1.10)$$

де $c_{\text{ш}}$ - жорсткість шин, пропорційна тиску $p_{\text{ш}}$ в шинах;

A_0, B_0 – коефіцієнти.

Різним значенням $M_a g$ відповідає сімейство гіпербол (рис.1.10). Наприклад, для шини 9,75—18 в середньому $B_0 = 100 \text{ см}$; $A_0 = 170 \text{ кг/см}$,

паспортний тиск в шинах для досліджуваного вантажного автомобіля – 4,0 кг/см² [21].

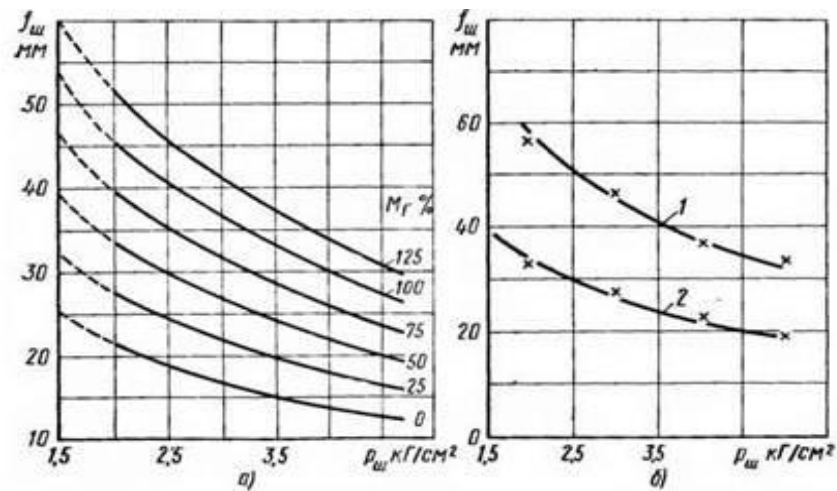


Рис. 1.11. Вплив статичного навантаження на шину марки 9,75-18 і внутрішнього тиску повітря на її осадку [2]: а) - за результатами розрахунку для задньої шини вантажного автомобіля; б) - за даними випробувань для задньої шини автобуса

На підставі наведених даних і формули (1.10) побудовані криві, показані на рис. 1.11, а (цифри на кривих позначають навантаження у відсотках). Існують рекомендації щодо максимального ресурсу шини для при рекомендованому заводом-виробником тиску (рис.1.12) [22].

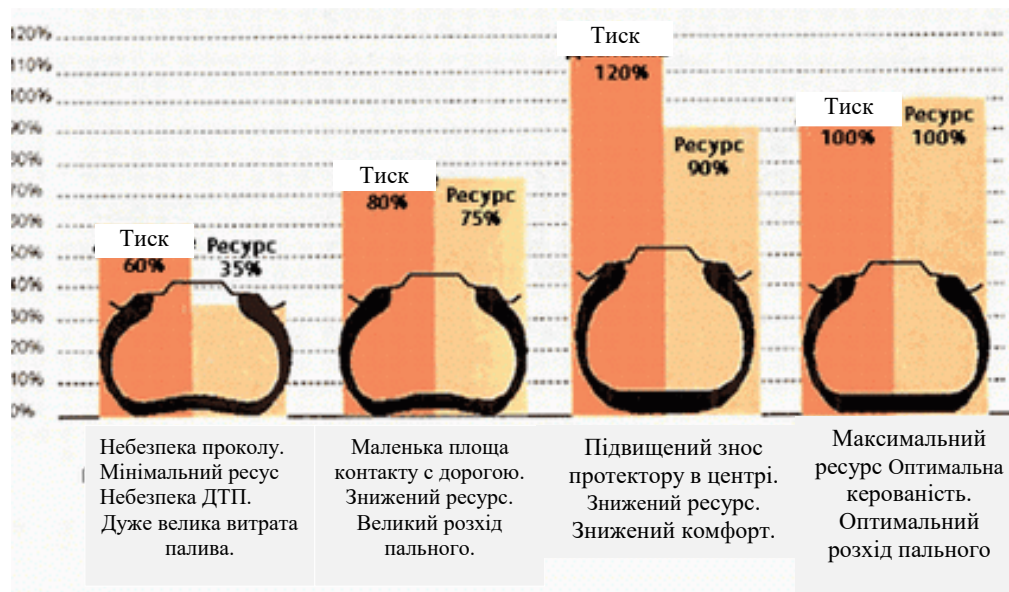


Рис. 1.12. Діаграма залежності ресурсу шини від тиску в ній [22]

Тиск в шинах має велике значення для деформаційних властивостей в цілому та структури матеріалу з накопиченням пошкоджень. Непрямим показником таких властивостей контакту є геометрія контакту від тиску (рис. 1.13).

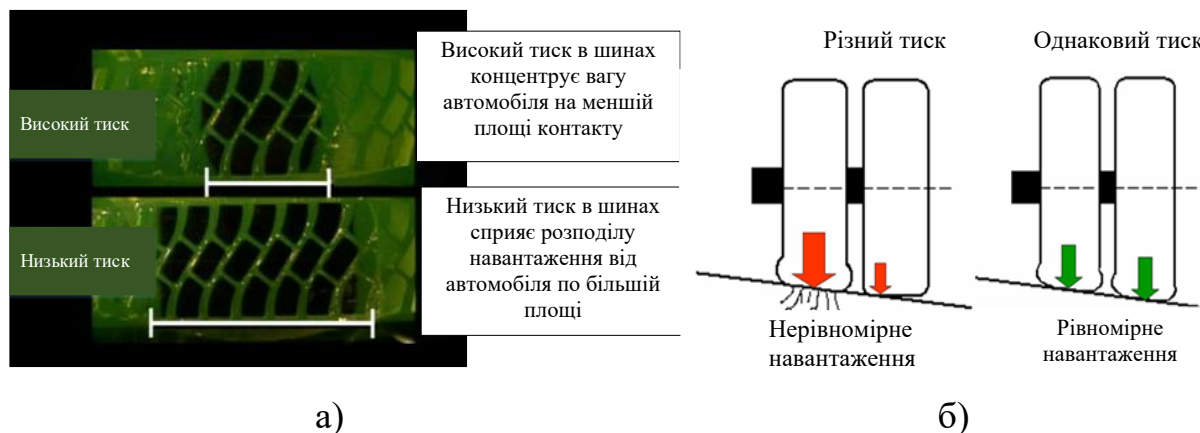


Рис. 1.13. Деформаційні властивості матеріалів пневматичних шин в залежності від тиску: а) - збільшення відбитка шини радіального типу; б) - деформація в парних шинах на ділянці дороги

Ця різниця в відбитках - важлива характеристика для вантажного транспортного засобу, оскільки більший відбиток і більшу кількість ділянок протектора в контакті з поверхнею дороги забезпечують розподіл питомого навантаження по більшій площі. В системах парних шин, при якій тиск повітря в кожній з парних шин вирівняно, що сприяє кращому розподілу навантаження і однаковому контакті з покриттям. Ділянки дороги з опуклим поперечним профілем сприяють нерівномірному розподілу навантаження по парним шинам, що призводить до нерівномірного розподілу тиску в окремих шинах, нерівномірного зношування шин і підвищеного навантаження на дорогу. Встановлено [22], що збільшення прогину в боковині шини під контрольованим тиском мінімізує ризик потрапляння гострих каменів між двома парними шинами. Менший тиск заповнення може сприяти скороченню пошкоджень шин на нерівних дорогах як по корду, так і по боковині шини, а збільшений вигин боковини шини з низьким тиском зменшує вібрацію.

1.3 Існуючі математичні моделі опису поведінки матеріалів при накопиченні пошкоджень

Комп'ютерному моделюванню як теоретичним дослідженням щодо прогнозування елементів машин з гумо-кордними композитами присвячено низку робіт українських та закордонних вчених [28-42, 44]. В роботах Ларіна О.О. [28-31] проблема розв'язується у декілька етапів (рис.1.14):

- на першому етапі вирішується попередня допоміжна задача щодо визначення усереднених інтегральних ортотропних характеристик композиту методами гомогенізації в рамках задач мікро-механіки композитів. Тобто формується презентативний об'ємний елемент композиту з явним моделюванням наявності корду. На основі даної моделі проводиться серія розрахункових досліджень, які імітують набір випробувань на одновісну деформацію даного елемента з подальшим усередненням напружено деформованого стану по об'єму даного презентативного елемента. Результати цих розрахункових випробувань дають можливість отримати усереднені ортотропні характеристики гумо-кордного композиту;

- на другому етапі проводиться розрахунок цілої машинобудівної конструкції, що найбільш повно враховує експлуатаційні особливості конструкції, умови її роботи, розподіл навантаження та особливості кріплення. Композитні елементи задаються гомогенним матеріалом з ортотропними пружними властивостями, орієнтація яких повторює особливості геометрії конструкції. Така модель будується з досить грубою скінченно-елементів сіткою та із спрощеним врахуванням композитних шарів, що не дає достовірної картини щодо напружено-деформованим станом, але є достатньою для отримання картини загального деформування (переміщень точок конструкції);

- на наступних етапах, з повної розрахункової моделі вилучається певна її частина. В якості додаткових кінематичних граничних умов використовуються результати розрахунків по переміщенням, що були

отримані на попередньому етапі моделювання. Це дозволяє застосувати більш дрібну сітку та отримати уточнені результати по деформаціям для частини конструкції, не збільшуючи розмірності повної моделі. Таких етапів може бути декілька, при цьому формується зв'язана ієрархічна система уточнюючих моделей.

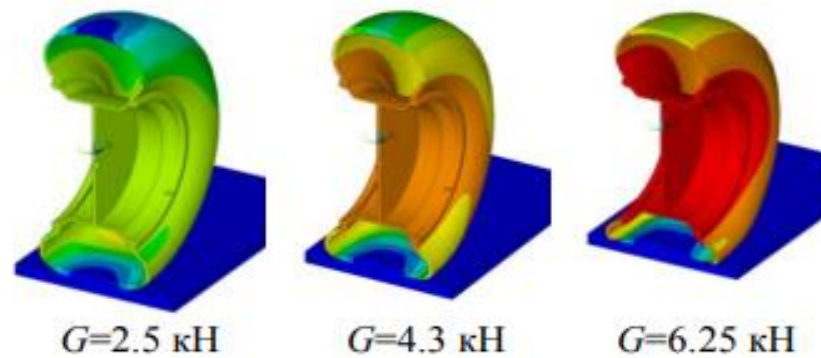


Рис. 1.14. Розподіл сумарних переміщень при різному вертикальному навантаженні [28]

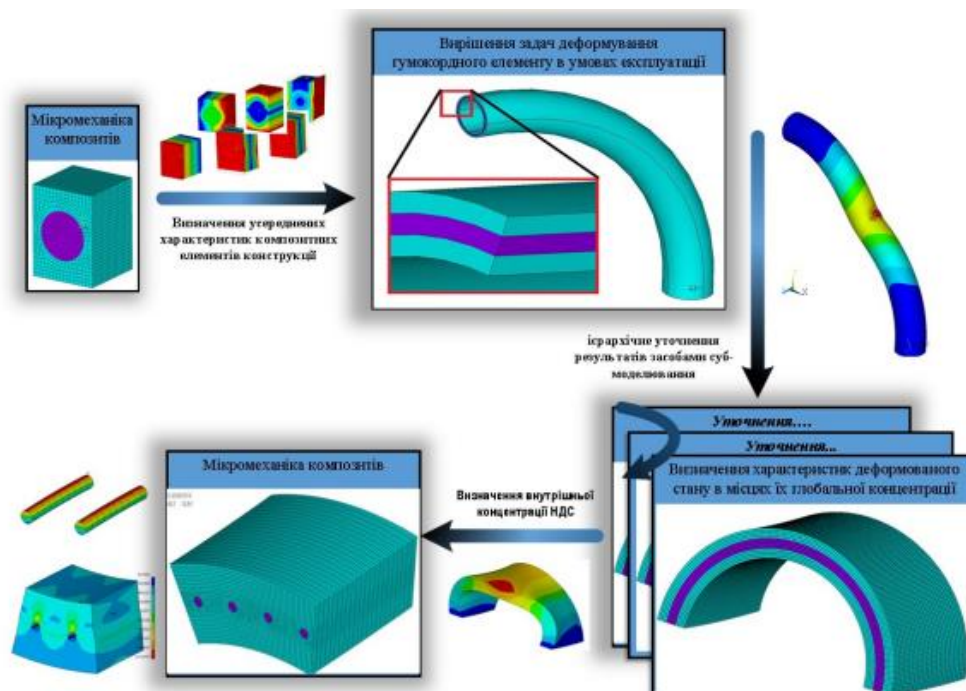


Рис. 1.15. Схема ієрархічного багато-масштабного моделювання гумокордних елементів машинобудівних конструкцій [28]

Проект вчених [32] присвячений тривимірному моделюванню шини, представленню скінченними елементами збірки шини, яку побудовано для прогнозування розподілу контактної напруги шини та дорожнього покриття. Шина розглядається як композитна структура, що включає гуму та посилення. Властивості матеріалу шини відкалібровані. При моделюванні використовується коефіцієнт тертя, що залежить від швидкості ковзання. Розроблена модель [32] скінчених елементів взаємодії шини та дорожнього покриття використовується для оцінки площі контакту та механізму розподілу контактних напружень на межі покриття та дорожнього покриття за різних умов шини та автомобіля. Результати [32] демонструють існування нерівномірних вертикальних контактних напружень і локалізованих тангенціальних контактних напружень на межі шини та покриття. Гальмування/прискорення шини спричиняє значні поздовжні контактні напруги, тоді як поворот шини спричиняє зсув пікових контактних напруж до однієї сторони плями контакту.

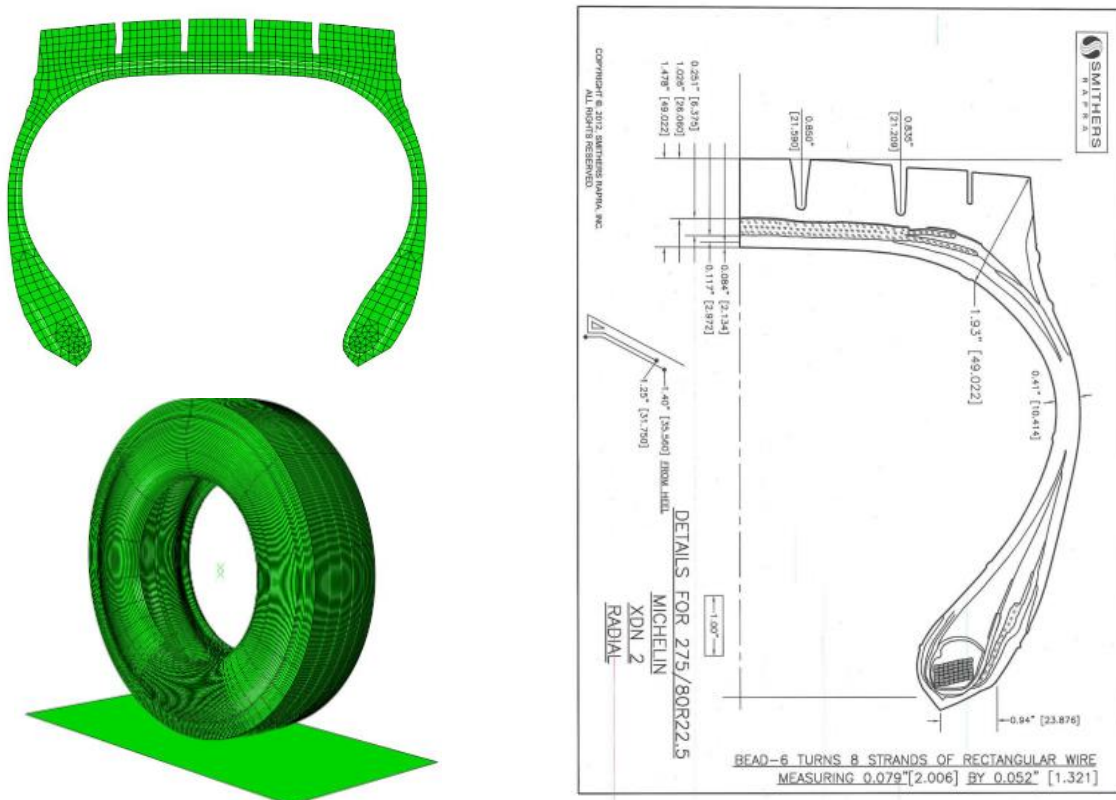


Рис. 1.16 Розмір шини (dta 275/80r22.5) у поперечному перерізі, етапи аналізу [32]

Складність доступних представлень скінчених елементів шин змінюється залежно від характеристик розробленої моделі, включаючи формулювання Лагранжа, Ейлера або довільного Лагранжа-Ейлера, моделі матеріалу (лінійно-пружна, гіперпружна або в'язкопружна), тип часової області (перехідний або стаціонарний стан) і тип аналізу ізотермічний, неізотермічний або термомеханічний [4]. Залежно від мети дослідження, що аналізує взаємодію шини та дорожнього покриття, боковини або перехідну реакцію, вібрацію та шум, поломку шини та опір коченню, задають різні умови чисельного моделювання шин. Основні підходи моделювання, геометрія скінченних елементів, характеристика матеріалів шин (для моделей шин), оптимізована сітка для скінченно-елементної моделі, калібрування та перевірка числової моделі, аналіз контактних напруг сценарій прискорення, сценарій гальмування, сценарій зміни кутів, беруться як зовнішні фактори.

В публікаціях [33-36, 40, 42] виконано аналіз тривимірної модель взаємодії шини та дорожнього покриття. Модель була розроблена для розрахунку контактної напруги, при статичних і динамічних умовах кочення, (вільного кочення, прискорення та гальмування. Змодельована радіальна шина 205-55-R16 з її спеціального малюнка протектора та матеріалів у програмному середовищі скінчених елементів ABAQUS [33]. За допомогою програмного забезпечення для аналізу скінченних елементів ABAQUS досліджується розподіл напруги під час вільного кочення, прискорення та проходження поворотів. Автори проаналізували та порівняли характеристики контактної напруги, включаючи її розподіл, пікову контактну напругу та зміну напруги з часом під час вільного кочення, прискорення та гальмування. В публікаціях [34] розглянуто проблему аналізу розподілу контактного напруження між шиною та покриттям за різних умов руху, а також визначення та порівняння критичного коефіцієнта ковзання під час гальмування та прискорення. Передбачається, що розподіл контактних напруг між шинами та дорожнім покриттям рівномірно розподілений у колах або прямокутниках

конструкції дорожнього покриття. Існують розробки теоретичних підходів до моделювання контактної напруги між шиною автобусів та тротуаром і дослідження критичного коефіцієнта ковзання під час етапів прискорення та гальмування в різних умовах шини. Ця мета досягається за допомогою тривимірної моделі взаємодії шин і дорожнього покриття. Співвідношення напруга-деформація демонструє очевидну нелінійність, яку описують поліноміальною моделлю:

$$U = C_{10} (I_1 - 3) + C_{01} (I_2 - 3) + \frac{1}{D_1} (J - 1)^2. \quad (1.11)$$

Коли $C_{01} = 0$, рівняння (1.11) перетворюється на неогуківську модель матеріалу, як показано в наступному рівнянні:

$$U = C_{10} (I_1 - 3) + \frac{1}{D_1} (J - 1)^2, \quad (1.12)$$

де U — потенціальна енергія деформації, C_{10} і C_{01} — константа матеріалу, I_1 і I_2 — інваріантна частина тензора деформації, J — коефіцієнт пружного об'єму, D_1 — параметр матеріалу, що вказує на стисливість матеріалу. Рівняння (1.12) може краще імітувати малу та середню деформацію матеріалу, і воно має добру стабільність.

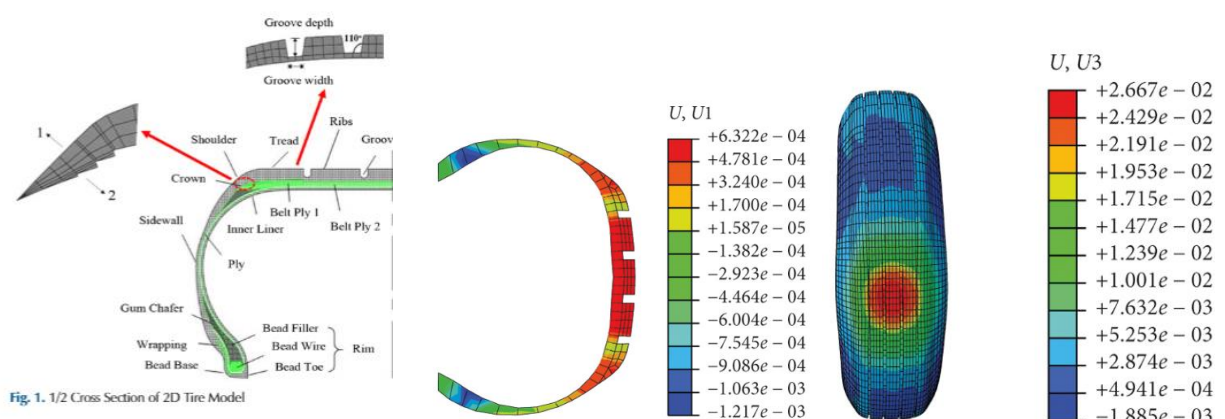


Рис.1.17. Комп'ютерні скінченно-елементні моделі: а) - переріз шини двовимірної розрахункової моделі [33]; б) - карта напруги та деформації моделі контакту шини уздовж бічної стінки та розподіл тиску в області контакту [34]

В роботах було проаналізовано [1, 35, 36, 40] та порівняно вплив різного тиску повітря в шинах і різних навантажень шин на величину та розподіл тривісного напруження в умовах зчеплення, змодельовано взаємодію між деформованою автомобільною шиною та дорожнім покриттям за нормальних та перевантажених умов (рис. 1.18). Модель включає в себе детальну геометрію колеса автомобіля, разом із металевим посиленням обода, гіпереластичні композитні шини та протектори шин, а також геометрію дорожнього покриття [36]. Розраховано асиметрію розподілу коефіцієнтів тертя за цих різних умов експлуатації. Дослідження полягає у тому, що запропоновано модель, яка поєднує в собі детальну геометрію гумової шини з металевим армуванням, металевого обода та дорожнього покриття. Розглянуто проблему динамічного контакту шини з дорогою при раптовому гальмуванні [36]. Передбачалося, що шина діє як гіпереластичний матеріал Муні-Рівліна, тоді як поверхня дороги була змодельована як ідеально еластичний континуум з нульовою шорсткістю.

Наведено дослідження характеристик вантажної шини Regional Haul Steer II, RHS 315/80 R22.5 під час поворотів, що рухається по сухій твердій поверхні за допомогою аналізу скінченних елементів. Авторами даної роботи [40] розроблено скінченну-елементну модель вантажної шини для застосування в умовах проходження шини на поворотах складної місцевості. Гумовий матеріал визначено за допомогою моделі Муні-Рівліна. Модель кінцевих елементів для вантажної шини Regional Haul Steer II, RHS 315/80 R22.5 розроблена за допомогою програмного забезпечення Pam-Crash.

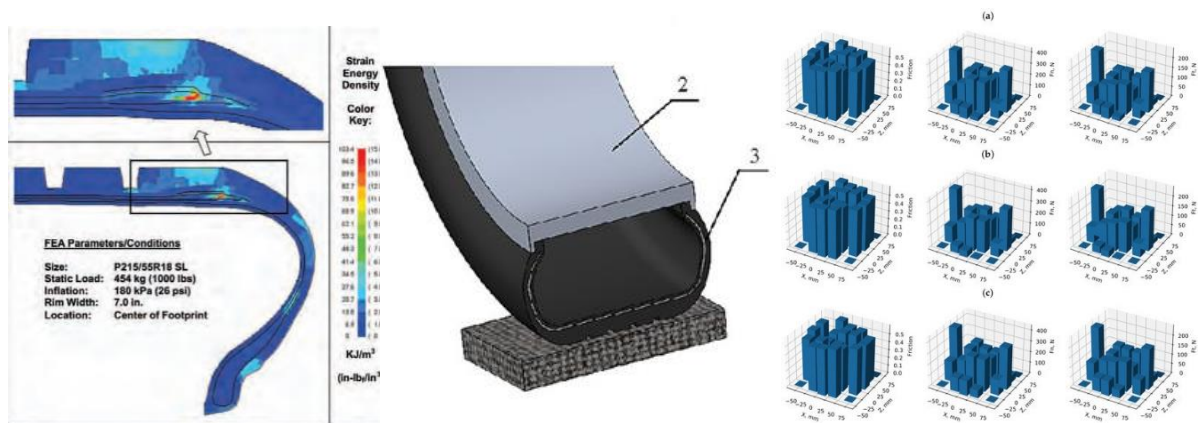


Рис.1.18. Комп'ютерні моделі та теоретичні розрахунки умов, для матеріалів пневматичних шин: а) - щільності енергії циклічної деформації твердого елемента в середині матеріалу [1]; б) – геометрія контакту і деформація [36]; в)- розраховані коефіцієнти тертя та складові зовнішніх сил в залежності від тиску [36]

Подібним дослідженням по прогнозуванню тривимірних контактних напружень радіальної вантажної шини при різних режимах руху присвячено роботу [41]. В даній роботі встановлено, що внаслідок динамічного впливу та деформації шини на контактній поверхні між шиною та покриттям виникають неоднорідні тривимірні контактні напруги під час різних режимів руху. Враховуючи геометричну нелінійність і велику деформацію шини та нелінійні характеристики контакту шини з дорожнім покриттям, моделі Neo-Hookean та Rebar використовуються для моделювання гіперпружного гумового матеріалу та гумового кордного композитного матеріалу відповідно.

1.4 Напрямки удосконалення матеріалів компонентів гумо-кордної конструкції

В останніх дослідженнях [43] фрактографічним методом руйнування пневматичних шин встановлено дев'ять різних типів розломів, які переважно зустрічаються в сталевих кордах і бортових дротах під час експлуатації або в процесі їх виробництва (рис. 1.19).

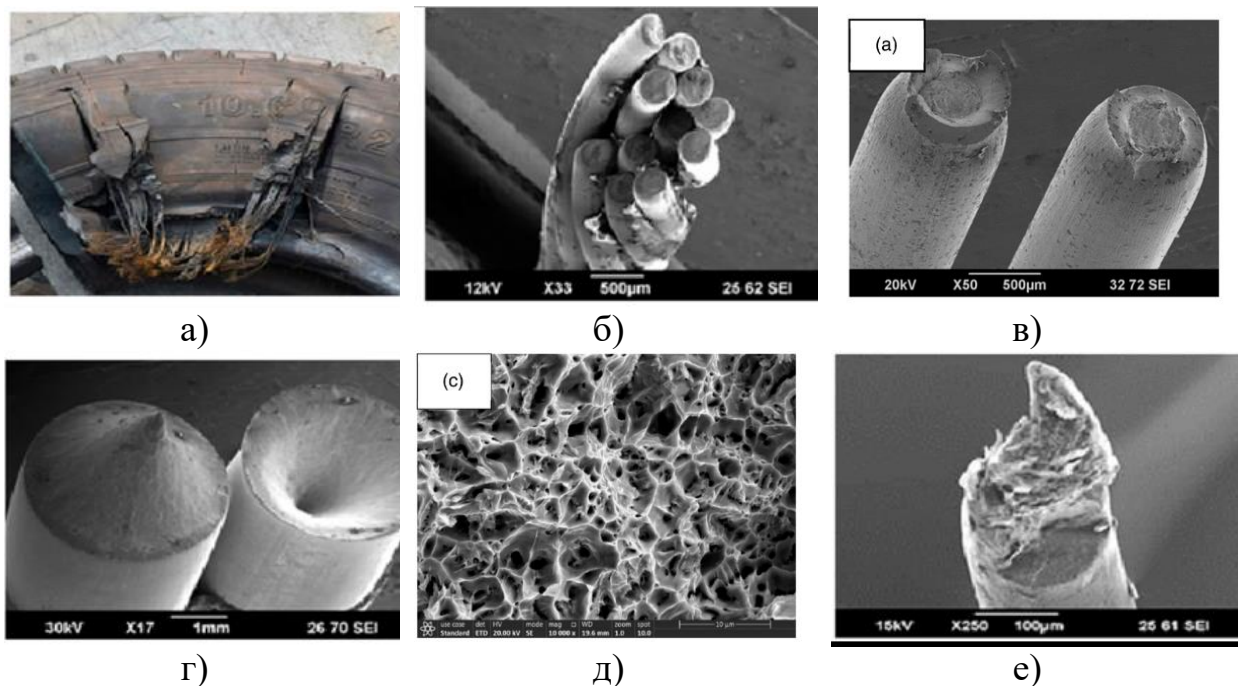


Рис.1.19. Механіка зламу матеріалів корду пневматичних шин: а) - показ типового режиму несправності відриву стрічки шини висувний шар; б) - зона пошкодження після видалення протектора із зазначенням двох місць, місця удару та зони пошкодження блискавки; в) – зламані кінці бортових дротів, випробуваних на розтяг; г) – центральний розрив катанки, яка використовується для виробництва бісерного дроту; д) – збільшене зображення (10 000х) зламаної поверхні бортового дроту; е) – втома руйнування нитки металокорду, витягнутої з шини, що вийшла з ладу [43]

А саме, в матеріалах шин виявлено такі види руйнувань від пошкодження і їх накопичення: пластичне, крихе, втомне, скручування, корозія, розшарування і руйнування швів. Так в роботі [44] представлено моделі експериментальну оцінку механічних властивостей на одноосьовий розтяг і стиск, розроблена чисельна модель шини. Геометрія шини та обода була досягнута за допомогою 3D-сканування.

Перевірено малюнок корду шини, який на наступних етапах був реалізований у моделі скінчених елементів. Тест на радіальний прогин шини був змодельований для перевірки оцінених констант матеріалу. Отримані результати порівнювали з фактичними даними випробувань на прогин, які

містяться в технічній документації на шину. Однак в даній роботі не враховано властивості матеріалів при розшаруванні.



а)



б)



в)

Рис.1.20. Результати досліджень механічних характеристик на одноосний розтяг: а) – випробувальне обладнання для визначення міцності матеріалів міцності Instron 8802; б) – мікрофотографія сталевго корду після розриву; в) – структура матеріалу протектора [44]

Статті [45-48] присвячені проблемі опису механічної поведінки полімерних текстильних композитів із застосуванням геометричного моделювання та застосуванню підходу чисельного моделювання за кількох умов навантаження, таких як: навантаження на розтяг, стиснення, вигин та ударне навантаження. Односпрямовані, гладкі та саржеві волокнисті композити які розглядаються для огляду, аби зрозуміти механічну поведінку при розтягуванні, стисненні, згині та ударі з різними механізмами руйнування. Описано методи геометричного моделювання, чисельної характеристики, механізми руйнування, та застосування високоміцних армованих волокнами

полімерних текстильних композитів у різних секторах шини, представлені результати, отримані різними дослідниками [44], і їх зв'язок з експериментальними даними. Запропоновано методики визначення характеристик армованих волокном полімерних текстильних композитів, їх геометричне моделювання як текстильної арматури і волокнистих композитів, надано числову характеристику за різних умов механічного навантаження, виконано чисельне моделювання в умовах стискаючого навантаження, чисельне моделювання в умовах навантаження на згин, чисельне моделювання в умовах ударного навантаження та в цілому узагальнені критерії пошкоджень в середовищі ABAQUS для текстильних композитних структур і матеріалів. Представлено [47] основні принципи пов'язані з моделюванням шинного корду для скінченного моделі аналізу, а також типові механічні властивості шинного корду та відповідні методи випробувань. Зосереджується увага на моделюванні матеріалів підсилення шин і аналізується декілька моделей матеріалів, особливо лінійну, Yeoh і Marlow. Досить поширеними в багатьох дослідженнях, основні принципи, що пов'язані з моделюванням корду шини для аналізу скінченими елементами, типові механічні властивості корду шини, відповідні методи механічних випробувань, властивості шинного корду при розтягуванні/стискуванні, принципи моделювання арматури шин, осесиметричні моделі - аналіз послаблення, побудови моделей структури корду.

Авторами [47-50] надано характеристику гетерогенної моделі шини, яка складається з трьох груп матеріалів: кордно-гумового композиту, фізично нелінійної гуми та бортової дротяної сталі. Система є геометрично нелінійною, що відображено в детальній структурній схемі авторського коду, призначеного для аналізу деформації та міцності пневматичних шин. Охарактеризовано втомну поведінку композиційних матеріалів корд-каучук, що утворюють зону пояса радіальних пневматичних шин, щоб оцінити їх залежність від напруги, деформації та історії термовпливу, а також від складу матеріалів та конструкції. Використовуючи реальні шини, було виявлено, що

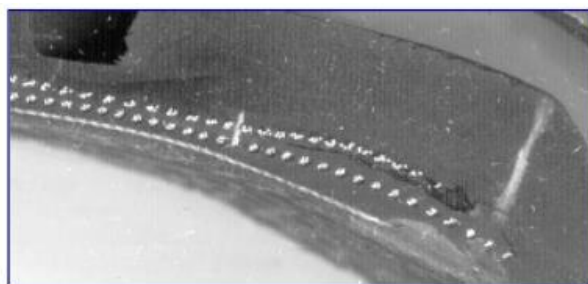
міжшарова деформація зсуву є одним із вирішальних параметрів для оцінки пошкоджень, оскільки більш високі рівні міжшарової деформації зсуву фактичних шин зменшують термін служби шин, що витримує втому. На різних рівнях амплітуди навантаження оцінювали довговічність у втомі, ступінь і швидкість результуючого збільшення деформації («динамічна повзучість»), циклічні деформації при руйнуванні та температуру зразка. На міжшарову деформацію зсуву 2-шарового композитного матеріалу типу «ремін шини» під дією окружного натягу впливало скручування зразка через зв'язок натягу та вигину. Критичний рівень міжшарової деформації зсуву, який визначає грубе руйнування композитних матеріалів внаслідок розшарування, виявився незалежним від різного розташування двошарової та симетричної чотирьох шарової конфігурації.



а)



б)



в)

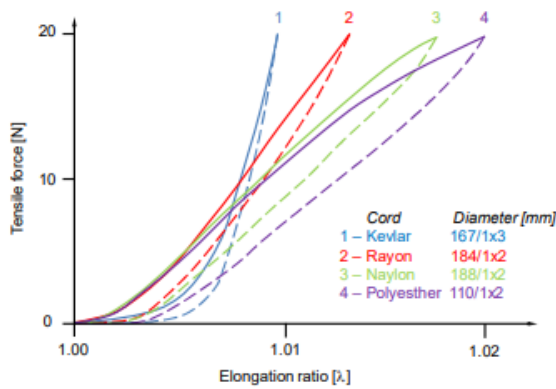


г)

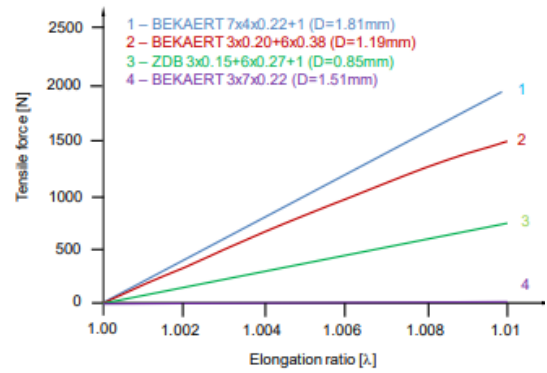
Рис. 1.21. Моделі прогресування відриву руйнування стрічки, що відходить від матриці а) – одношнурове відшарування; б) – початкове відшарування в) – бічний ріст тріщин; г) – прискорений ріст тріщин (кишень) [50]

Відображаючи способи руйнування, пов'язані з домінуванням матриці, такі як роз'єднання та відшарування корд-матриці, композитні ламінати з різним армуванням кордом демонстрували однакове співвідношення SN, якщо вони були виготовлені з однаковою гумовою матрицею, однаковим кутом корду, подібним об'ємом корду та однакове укладання шару. Значну нелінійність кривих напруження-деформації можна помітити у всіх текстильних кордах, сталі з високим подовженням шнури та інші види шнурів. Петлі гістерезису чотирьох різних текстильних шнурів, навантажених силою 20 Н і потім розвантажені, показані на рис. 1.22 а, згідно з [11, 47]. Криві розтягування різних металокордів, також згідно з [11, 47], показані на рисунку 3. Криві майже лінійні, щонайменше до 1% деформації. Міцність кордної сталі значно вища, ніж у звичайних сталей подібного складу завдяки технології витягування стрижня. Хоча гістерезис у металокордах є значним, важко точно записати криву розвантаження за допомогою звичайної машини для випробувань на розтяг. Коутні [11] повідомляє, що спроби знайти відповідний і простий метод вимірювання гістерезису шнура сталі виявилися невдалими.

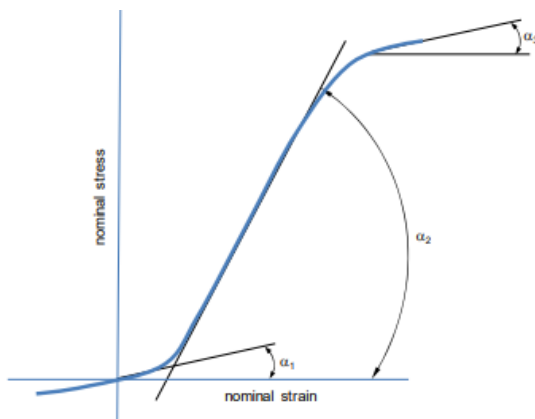
Типову криву напруга-деформація сталевого корду шини з великим подовженням при розтягуванні можна розділити на три частини (рис. 1.22, в). При низьких деформаціях нахил кривої відносно малий, потім він підвищується і для широкого діапазону деформацій залишається майже лінійним, тоді як при більших деформаціях нахил починає падати. Це наслідок структури корду шини. Оскільки нитки шнура скручуються, при меншому натягу вони стають частково вільними (рис. 1.22, г). Таким чином, кінцевий модуль дуже низький, у той час як відбувається просторове упакування первинних волокон. При більш високому натягу нитки шнура упаковуються та стягуються (рис. 1.22, г), крива розтягування стає майже лінійною, а модуль стає вищим і деякий час залишається постійним.



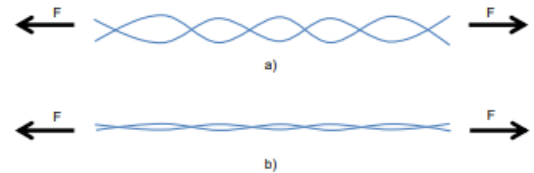
а)



б)



в)



г)

Рис. 1.22. Механічні властивості шинного корду при натягу/стиску а) – криві навантаження та розвантаження різних текстильних кордів [11]; б) – криві розтягування кількох металокордів [11]; в) – різниця у видимому модулі пружності сталевого корду шини при малих і високих деформаціях [47]; г) – взаємне розташування ниток шнура при меншому та більшому натягу шнура пневматичної шини [47]

Коли напруга наближається до граничної міцності сталі, модуль стає меншим, і матеріал може поступитися, таким чином може залишатися деяка постійна деформація. При більш високих стискаючих напругах відбувається вигин нитки, і опір шнура різко стає значно меншим [47].

Через набагато нижчі значення міцності в одному циклі (в термінах загального навантаження на руйнування на одиницю ширини), композитні ламінати з більшим кутом корду та 2-шарові ламінати показали

експоненціально менший термін служби втоми при заданій амплітуді напруги, ніж композитні ламінати з меншим кутом корду та 4-шарові симетричні ламінати відповідно. Збільшення товщини міжшарових гум подовжує їх втомний ресурс на проміжному рівні амплітуди напружень. Однак збільшення довговічності від втоми композитного ламінату стає менш помітним при дуже низькій амплітуді напруги. Навіть при невеликих циклічних напругах стиску на втомну довговічність стрічкових композитів переважно впливає величина максимального напруження. Максимальна циклічна деформація композитних ламінатів при руйнуванні, яка вимірює загальне накопичення деформації для грубого руйнування, не залежала від амплітуди напруги та була близькою до рівня статичного руйнування. Для всіх досліджуваних композитних ламінатів можна встановити лінійну кореляцію між швидкістю підвищення температури та швидкістю динамічної повзучості, яка, у свою чергу, була обернено пропорційна довговічності від втоми. Запропонована модифікована модель модуля втоми, заснована на поєднанні степеневого закону та логарифмічного відношення, щоб передбачити профіль тривалості служби втоми композитних ламінатів корд-гума [50].

Існує обчислювальна модель, яка заснована на багатомасштабному прогресивному аналізі відмов, використовується для надання теоретичних прогнозів розвитку пошкоджень у кордно-гумових композитах у шинах [51].

Представлено нову тривимірну модель композиту корд-каучук, який використовується в шинах [52], щоб передбачити різні типи пошкоджень, включаючи розтріскування матриці, розшарування та руйнування волокон на основі мікромасштабного аналізу. Вулканізована гума, армуючі пояси та каркас, що використовуються в конструкціях шин, викликають анізотропну поведінку за різних умов навантаження. Сталеві армуючі шари, виготовлені зі сталевих дротів у поєднанні з гумою, ускладнюють макромасштабне скінченно-елементне моделювання шин.

Висновки до першого розділу

У першому розділі представлено сучасний актуалізований комплексний аналіз робіт провідних вітчизняних та закордонних вчених в області пневматичних шин та матеріалів. В проаналізованих роботах представлені різні експериментальні методи, схеми опису, математичні моделі та засоби вимірювання таких складних і технологічних багатокомпонентів, як матеріали пневматичних шин, критерії, що пред'являються до пневматичних шин, які можуть бути використані в галузі матеріалознавства для вивчення стану оцінки пневматичної шини як конструкції.

Пневматичну шину вивчають за декількома напрямками наукових досліджень: технологія виробництва, експлуатація шин, відновлення та ремонт, теоретичне дослідження та моделювання, теорія руху еластичного колеса напрями окремих розділів механіки шини та шинне матеріалознавство.

Тому такі роботи в дисертації розглядаються по групам, в межах відповідних критеріїв, що пред'являються до пневматичних шин які можуть бути використані в області матеріалознавства:

- Причини, види і засоби усунення пошкоджень матеріалів пневматичних шин в процесі експлуатації;
- Основні критерії працездатності і забезпечення властивостей матеріалів шин як еластичного колеса;
- Існуючі математичні моделі опису поведінки матеріалів при накопиченні пошкоджень;
- Напрямки удосконалення компонентів гумо-кордної конструкції.

Пневматична шина забезпечує контакт транспортного засобу з дорожнім полотном, призначена для поглинання коливань, викликаних недосконалістю дорожнього покриття, компенсації похибки траєкторій коліс, реалізації та сприйняття сил, саме тому необхідно створення таких випробувальних комплексів, як стенди для випробування шин які б відтворювали умови експлуатації, режими роботи та поведінку.

РОЗДІЛ II

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ТЕОРЕТИЧНІ МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ

2.1 Експериментальні методи досліджень

В роботі використано стандартні, модернізовані і оригінальні методи експериментальних і теоретичних досліджень. В галузі матеріалознавства, теорії пружності еластичної оболонки, композитних матеріалів, та підходи застосовані на феноменологічних принципах. В якості стандартних методик застосовано визначені державною метрологічною системою України, вимірювання механічних властивостей на основі нормативних документів технічних умов, керуючих документів та державних стандартів. В якості оригінальних методик розроблено випробувальні стенди нових конструкцій та забезпечено математичними моделями їх опису і алгоритмами програмного керування.

2.1.1 Методи металографії і макроскопії і аналізу макроструктури гумо-кордних конструкцій

Мікромакроскопічний та металографічні випробування проводилися в Атестованій лабораторії механічних випробувань та якості технологічного обладнання Херсонського національного технічного університету на робочому місці № 1 з засуванням каліброваних та повірених засобів вимірювальної техніки. (<http://kntu.net.ua/ukr/Struktura/Kafedri-universitetu/MVTO>). Для виявлення кількості, розмірів, форм, взаємного розташування та кількісного співвідношення фаз і структурних складових застосовувались металографічні методи дослідження відповідно до ДСТУ 7175, ДСТУ 8975, ДСТУ 8972, ДСТУ EN 10218-1; ДСТУ ISO 16650 [53-58]. Спостереження макро- і мікроструктури та природи структурних змін в матеріалах, які підлягали дослідженню, виконані на металографічних

мікроскопах: МИМ-5, МИМ-8М, МИМ-4, мікроскоп цифровий Microtex мод. УТР-200 Фірми МІКРОТЕХ® (рис. 2.1).

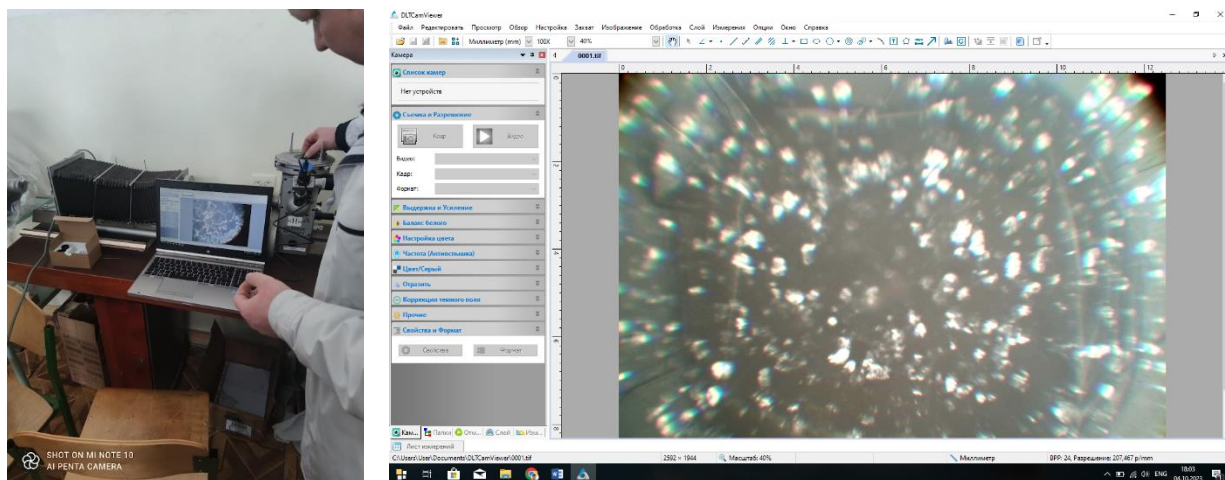


Рис.2.1. а)-Цифрова камера MD500-СК, б)- середовище програмного забезпечення Delta Optical DLT-Cam Viewer

Використовуючи метод макроаналізу, виявлялось наявності макродефектів, характер накопичення пошкоджень та попередньої спадковості властивостей матеріалу від зовнішнього впливу силового та термічного та циклічного від різних факторів. Визначалась структурна і хімічна неоднорідність, волокнистість, причини та характер руйнації. Надавалась загальна оцінка стану поверхонь матеріалу або зразка шин в цілому та обиралось невеликими найбільш важливі та типові ділянки для поглибленого вивчення. Визначалось такі пошкодження та дефекти як порізи, раковини, шлакові включення, порушення суцільності металу, тріщини та інші дефекти будови матеріалу, хімічна і структурна анізотропія та геометричні відхилення розташування елементів.

Методами мікроаналізу визначено форму і розміри кристалічних зерен металевих елементів корду та дроту пневматичних шин, виявлялось імовірність зміни внутрішньої будови металевих елементів під впливом термічного та механічного впливу під час експлуатації шин і стендових випробувань [59].

Підготовка зразків та поперечних шліфів для мікродосліджень виконувалась, згідно ДСТУ 7175 [53] (рис. 2.2).

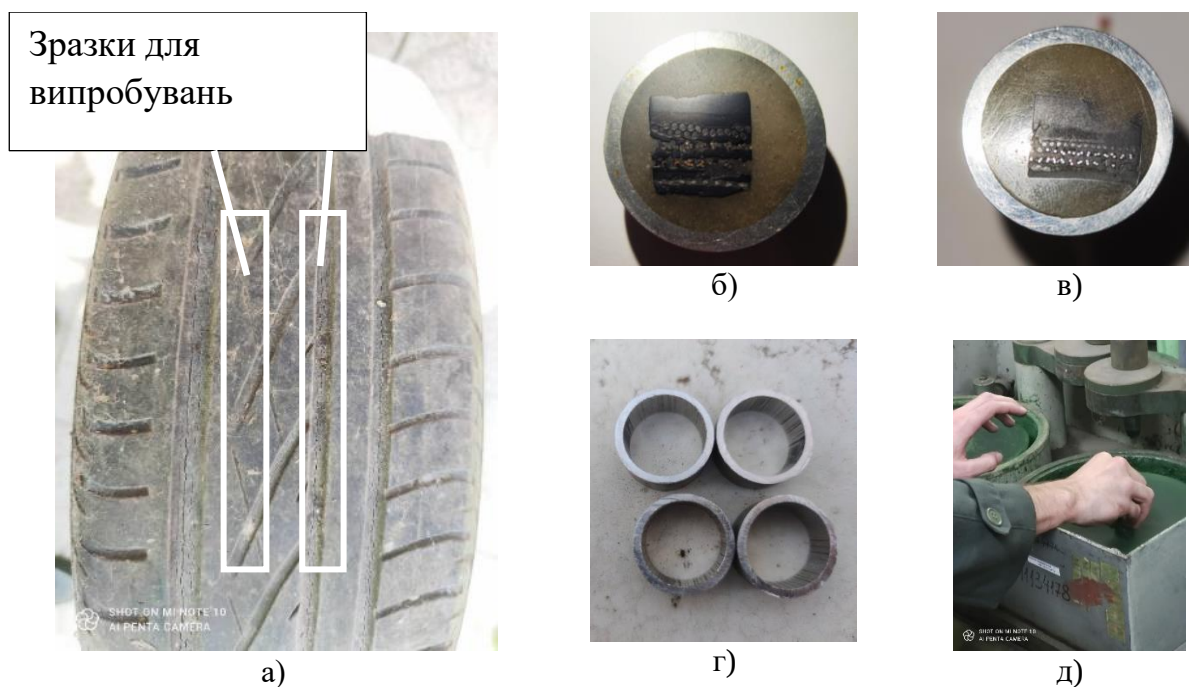


Рис.2.2. Зразки для випробувань: а)-місця вирізання зразків у пневматичній шині б), в),-макрофотографії дослідних зразків шин [59-61]; г)- алюмінієві кільця, як засоби фіксації зразків при пробопідготовці до металографічних досліджень д)-полірувальна машина Інв. № 1113478

З метою фіксації поперечного шліфа матеріалів пневматичних обраної форми зразки (рис. 2.2 б, в) були залиті двокомпонентною епоксидною смолою у алюмінієвих кільцях (рис. 2.2, г). Виконувалась механічне полірування поверхні зрізків для наступного хімічного травлення за необхідності.

Аналіз структури матеріалу проводиться за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Застосовано цифрову камеру Мікротех MD500-СК та програмне забезпечення Delta Optical DLT-Cam Viewer з виведенням та обробкою зображення на ПК. Дане ПЗ дозволяє оперативно визначити: параметри металографічного об'єкта, структуру еластомерів металів і сплавів сукупність характеристик фазового складу і будови, точкових, лінійних,

поверхневих та об'ємних, Цифрова обробка мікроструктур виконувалась як растрове зображення в програмі Tour wiew, J Microvision [59-66].

2.1.2 Визначення твердості і мікротвердості

Твердість дослідних матеріалів вимірювалась в залежності від типу матеріалу та розмірів зразків. Полікристалічні металеві елементи конструкції стендів, пристосувань, умовного дорожнього покриття з перешкодами вимірювались стандартними методами по Бринелю, Роквелу відповідно ДСТУ ГОСТ 8.335:2009 [67]. Гумові зразки оцінювались за методом Шора ДСТУ EN ISO 868:2017 [68], з використанням дюрометрів моделі ТШ-Ц (шкала С і D).

Визначення змін мікротвердості в окремих мікроскладових елементів шин, що досліджувались виконувалось шляхом уколювання індентором Вікерса та дряпанням методом склерометрії, згідно ГОСТ 21318-75 [69] на приборі, вимірювання крихкості матеріалів АИИ 2.840.005ПС (рис. 2.3).



а)



б)

Рис.2.3. Засоби вимірювання твердості : а)- Прилад АИ2.280.005ПС для вимірювання твердості за Мартенсом; б)-цифровий портативний дюрометр (твердомір Шора)

2.1.3 Методи випробування на розтяг і розшаровування

Аналіз закономірностей зміни властивостей гумових матеріалів пневматичної шини є важливою проблемою, як і дослідження початкових характеристик цих матеріалів. На відміну від більшості традиційних випробувань гумових сумішей і композитних матеріалів для шин, які піддаються зусиллям розтягування (міцність на розтяг і сила відриву) або зусиллям стиснення (твердість вдавнення), двошарова конфігурація втоми напружує гумовий шар між сталевими поясами шини піддаючи його зусиллям зсуву.

Визначення міцності зразків багатокомпонентного матеріалу визначалось класичним методом випробування на розтяг відповідно до ДСТУ ISO 5893, ДСТУ ISO 6892-1, [70, 71] та розшарування відповідно до ГОСТ 6768-75 [72]. Вказаними методами досліджено механічні властивості на межі розподілу гумової матриці та металевих і тканинних волокнистих матеріалів, як окремої області в механізмі гальмування тріщин і її вплив на довговічність пневматичних шин при накопиченні пошкоджень в процесі експлуатації.

Експериментальна частина виконана з використанням Універсальної розривної машини Р-5 УХЛ 4.2 (атестат про калібрування дата видачі - 1058/М 06.08.2015 р.), яка показана на (рис. 2.4 а), та машини на розшарування Розривна машина типу РТ-250М (атестат № 120/М і дата його видачі - від 09.08.2019 р.), яка показана на (рис. 2.4 б).



а)



б)

Рис. 2.4. Обладнання для випробування шин на розтяг і розшарування матеріалів: а)- машина універсальна розривна Р-5 УХЛ 4.2; б)- машина розривна типу РТ-250М

Для машини універсальної розривної Р5 зразки виготовлені відповідно до ДСТУ ISO 37:2019 [73].

2.1.4 Метод фрактографії та вивчення зламів

Фрактографічні дослідження [43] пов'язані з встановленням відповідності між рельєфом поверхні руйнування і видом силового впливу, а також умовами навантаження. Критерієм правильного розшифрування інформації про процес руйнування в результаті аналізу експлуатаційного зламу [43, 74] є відтворення подібного рельєфу зламу в лабораторних умовах. Уявлення про подібність руйнування в лабораторному експерименті і в умовах експлуатації достовірно тільки з точки зору подібності реакції матеріалу на вплив в досвіді і в експлуатації. Розвиток руйнування з формуванням того чи іншого рельєфу зламу є автомодельного процесом, який може бути реалізований в різних умовах навантаження.

Для оцінки зв'язку накопичення пошкоджень із змінами механічних властивостей матеріалів шин застосовано фрактографічні методи досліджень

ДСТУ 3715-98 [74]. Хоча для гумових матеріалів даний метод не є широко застосованим, враховуючи сукупність в зразках різнорідних матеріалів таких як: гума, волокна тканини та металеві дотові корди можна можна припустити, що злами зразків будуть відбивати ті процеси, що спричинені окремими видами накопичених пошкоджень. Оцінка зламів відбувалась із застосуванням цифрового мікроскопу модель фірми Microtex (м. Харків) [62] та побудови рельєфів зламів, в програмі J Microvision [63]. JMicroVision - інструмент для аналізу зображень і для вимірювання і кількісного вираження характеристик елементів цих зображень. Програма містить більшість поширених операцій обробки зображень, має ефективну систему візуалізації та інноваційні функції. Вона містить інструменти для кількісної оцінки зображень в ручному і автоматичному режимі.

Додатково застосовано контактний метод побудови мікрорельєфів із використанням модернізованого профілометра цехвоого моделі 296 з аналоговим виходом на usb осцилограф та програмним забезпеченням IRIS Waveware (рис. 2.5 а).

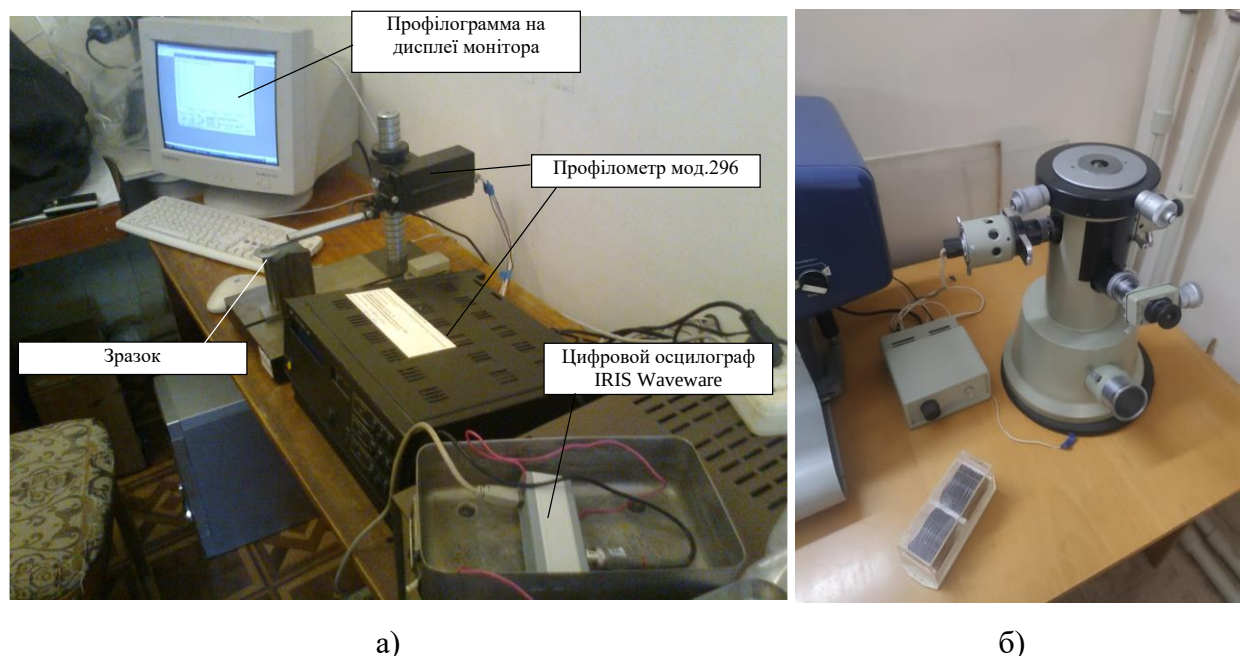


Рис.2.5. Загальний вигляд робочого місця визначення мікрогеометрії дослідних зразків: а) - комп'ютеризований профілометр з виведенням результатів на ПК; б) мікроінтерферометр Лінніка МІІІ-4

Деякі місця аналізу мікрорельєфу в пошкодженнях на межах зламів, розшаруваннях та подряпинах оцінювались по інтерферограмах із застосуванням мікроінтерферометра Лінніка МІІІ-4 (рис. 2.5 б).

2.1.5 Механічні характеристики матеріалів при випробуванні на згинання до руйнування.

Зразками для випробування є відрізки дроту. Методи відбору зразків вказуються в нормативно-технічній документації на дріт. Зокрема, згідно ДСТУ ISO 16650:2009 [58] робоча довжина зразка дроту повинна бути не менше ($l_0 + 50$) мм. Повна довжина зразка повинна включати ділянки для закріплення його в затискачах розривної машини.

Початкова розрахункова довжина зразка l_0 дроту діаметром менше 4 мм, а також дріт не круглого перетину товщиною менше 3 мм повинна бути 100 або 200 мм в залежності від вимог, передбачених у нормативно-технічній документації на металопродукцію.

Для зразків діаметром не менше 4 мм, а також для зразків дроту не круглого перетину товщиною не менше 3,0 мм, початкова розрахункова довжина повинна бути $l_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ або $l_0 = 11,3 \sqrt{S_0}$, але не менше 25 мм. Допускається застосування зразків з початкової розрахунковою довжиною 100 або 200 мм.

Випробувальне обладнання та засоби вимірювань - за ДСТУ 7305:2013 [75] Метали. Метод випробування на розтяг металів і сплавів за низьких та криогенних температур. Перед випробуванням допускається проводити правку зразків, яка не повинна впливати на стан поверхні і форму перетину дроту. Початкову розрахункову довжину з похибкою до 1% обмежують на робочій довжині зразка кернами, рисками або іншими позначками. Початкову розрахункову довжину вимірюють з похибкою $\pm 0,1$ мм.

Початкову площа поперечного перерізу обчислюють за розмірами зразка. Круглий дрід діаметром не менше 3 мм або плаский дрід товщиною не менше 3 мм вимірюють з похибкою не більше $\pm 0,5\%$. При вимірі круглого дроту діаметром менше 3 мм і плоскою дроту товщиною менше 3 мм похибка вимірювання повинна бути не більше 1,0%. Дрід круглого перетину вимірюють в двох взаємно перпендикулярних напрямках, за діаметр приймають середнє арифметичне цих вимірів. Допускається обчислення площі поперечного перерізу за номінальними розмірами, якщо це передбачено в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

Зразок слід закріплювати в затискачах випробувальної машини так, щоб крайні позначки, що обмежують розрахункову довжину, відходили від затискачів машини на відстані не менше двох діаметрів випробуваного зразка. Затискачі повинні забезпечувати відсутність прослизання зразка під час випробування.

Випробування дроту на розтягнення з визначенням меж пропорційності, пружності, плинності і тимчасового опору проводиться за методиками ДСТУ ISO 6892-1:2019 [71] з наступними доповненнями.

При визначенні меж пропорційності, пружності і плинності мала ступінь навантажування приймається 20 - 40 Н/мм² (2 - 4 кгс/мм²). При визначенні межі текучості дозволяється ставити не навантаження за шкалою вимірювача сили, а залишкову деформацію - за шкалою тензометра, відповідно визначеної характеристики.

Відносне подовження дроту після розриву визначають відповідно до ДСТУ ISO 6892-1:2019 [71]. Кінцеву розрахункову довжину зразка вимірюють з похибкою $\pm 0,1$ мм. Для вказівки початкової розрахункової довжини, на якій визначалося подовження, до позначення відносного подовження додають цифровий індекс. Наприклад: d_{100} або d_{200} .

Для дроту діаметром 1,0 мм і менше, залежно від вимог нормативно-технічної документації, допускаються наступні методи визначення подовження. По відстані між захватами розривної машини. Приміром

необхідно докласти початкове навантаження $P_0 = 10 \%$ від середнього розривного зусилля. Вимірюють з похибкою $\pm 1,0$ мм. Без руйнування зразка при навантаженні, що становить 97% і 98% від розривного зусилля - для визначення залишкового подовження.

Порядок визначення подовження: попередньо за двома - трьома зразками визначають середнє розривне зусилля дроту. До випробуваному зразку прикладають початкове навантаження ($P_0 = 10\%$) від середнього розривного зусилля і навішують тензор або лінійку.

Зразок навантажують до 97% від середнього розривного зусилля і відзначають загальне подовження. Потім зразок розвантажують до початкової навантаження P_0 і знімають показання залишкового подовження. Операції навантаження і розвантаження повторюють для навантаження, що становить 98% від середнього розривного зусилля, після чого зразок доводять до руйнування і відзначають розривне зусилля даного зразка. Якщо виявиться, що подовження визначено при навантаженні нижче 97% отриманого розривного зусилля, випробування повторюють. Визначення відносного звуження після розриву круглої дроту проводиться відповідно до ДСТУ ISO 5893:2019 [70]. Відносне звуження визначається тільки на дроті, що має діаметр 2 мм і більше, якщо немає інших вказівок у відповідній нормативно-технічній документації на дріт.

Для визначення розриву з вузлом зразок зав'язують простим вузлом і злегка зтягують. Остаточне зтягування проводиться додаванням навантаження.

2.1.6 Динамічні випробування

Для побудови динамічних моделей механічних систем і тіл використовувався метод рівнянь Лагранжа. Основним призначенням шини є пом'якшення поштовхів і ударів, переданих на підвіску машини, забезпечення надійного зчеплення колеса з дорожнім покриттям, керованість, передача на

дорогу тягових і гальмівних сил. Шина забезпечує контакт транспортного засобу з дорожнім полотном, призначена для поглинання незначних коливань, викликаних недосконалістю дорожнього покриття, компенсації похибки траєкторій коліс, реалізації та сприйняття сил. Від шини в значній мірі залежить прохідність в різних дорожніх умовах, коефіцієнт зчеплення, шум і витрата палива у автомобіля під час руху. Крім цього, шина повинна забезпечувати довговічність, надійність і задану вантажопідйомність.

Значна увага сучасними дослідниками приділяється розробці емпіричних методів визначення чинників, які впливають на знос покриття автомобільних шин. Стендові випробування забезпечують якість виробів і їх технічну надійність відповідно до стандартів, а саме: ISO 10191:2021 [76] визначає методи випробувань для перевірки можливостей шин для легкових автомобілів.

2.2 Методи моделювання та теоретичні дослідження

Методом математичного моделювання, адаптованим для розрахунку динамічних характеристик пневматичних шин, можна задавати будь-які комбінації деформування шини, вираховувати швидкість змін точок колеса як морфінг (перетикання) еластичної оболонки з одного стану в другий [77, 78]. Метод дозволяє в процесі дослідження умов терміну служби шини отримати залежність від швидкості руху колеса та динамічного радіуса шини до шляху пройденого шиною та до руйнування та детально спрогнозувати поведінку шини в цілому. Розроблювана методика є альтернативою суто теоретичному визначенню реакцій колеса і шини на різноманітні перешкоди в різних умовах руху автомобіля і дії зовнішніх факторів.

Державними стандартами і технічними умовами різних країн-виробників передбачені критерії перевірки працездатності пневматичних шин. Деякі визначення для видів руйнування пневматичних шин стандартизовано.

Експериментальні методи контролю сучасної пневматичної шини об'єднують випробування на витривалість, опір на розшарування борту шини до ободу і ін. Значення основних критеріїв працездатності наведені "ДСТУ 8816:2018 [79]:

- норми навантажень на шини для вибору режиму роботи при різних тисках;
- співвідношення між індексами та значеннями тиску;
- швидкості, застосовані при експлуатації шин, і відповідні їм індекси категорії швидкості;
- зміна індексу несучої здатності в залежності від швидкості шини;
- індекси несучої здатності;
- енергія руйнування.

2.2.1 Стендові випробування

Стендові випробування забезпечують якість виробів і їх технічну надійність відповідно до стандартів, а саме, : ISO 10191:2021 [76] визначає методи випробувань. В Україні діють основні нормативні документи щодо технічних умов: ДСТУ 4406:2005, ДСТУ 2219–2015, ГОСТ 22374–77 ISO 3877-1–78, ISO 3877-3–78, ISO 4223-1–78). ДСТУ 3780–98 ГОСТ 30761–2002. ДСТУ 8815:2018 [80-83]. В даних документах визначені методи випробування шин, що описані в стандартах: ДСТУ 7496:2014[84] «Шини пневматичні. Метод визначання основних розмірів» [79-81]. 2. ДСТУ UN/ECE R 30-02:2005 «Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження пневматичних шин для дорожніх транспортних засобів і їхніх причепів» (UN/ECE R 30-02:1999, IDT). 3. ДСТУ UN/ECE R 54-00:2004 «Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження пневматичних шин для дорожніх транспортних засобів неіндивідуального користування та їхніх причепів (UN/ECE R 54-00:2004, IDT)» [84].

Стендові методи використано для отримання даних про температуру окремо взятої ділянки шини конкретного типорозміру при певній швидкості,

навантаження і тиску. Традиційні стенди призначені для динамічних випробувань пневматичних шин і забезпечує визначення в лабораторних умовах терміну служби шини, залежність його від швидкості руху динамічного радіуса шини та шляхи пройденого шиною до руйнування [85, 86].

В даній роботі пропонується використання механізму з паралельною структурою із чотирма штангами постійної довжини, які приводяться до руху каретками на напрямних, що утворюють пірамідальну каркасну компоновку (рис. 2.6.) [85,86]. Випробувальний стенд дозволяє відтворювати умови експлуатації шини, в тому числі найбільш екстремальні з точки зору вертикального навантаження, кута заносу і швидкості.

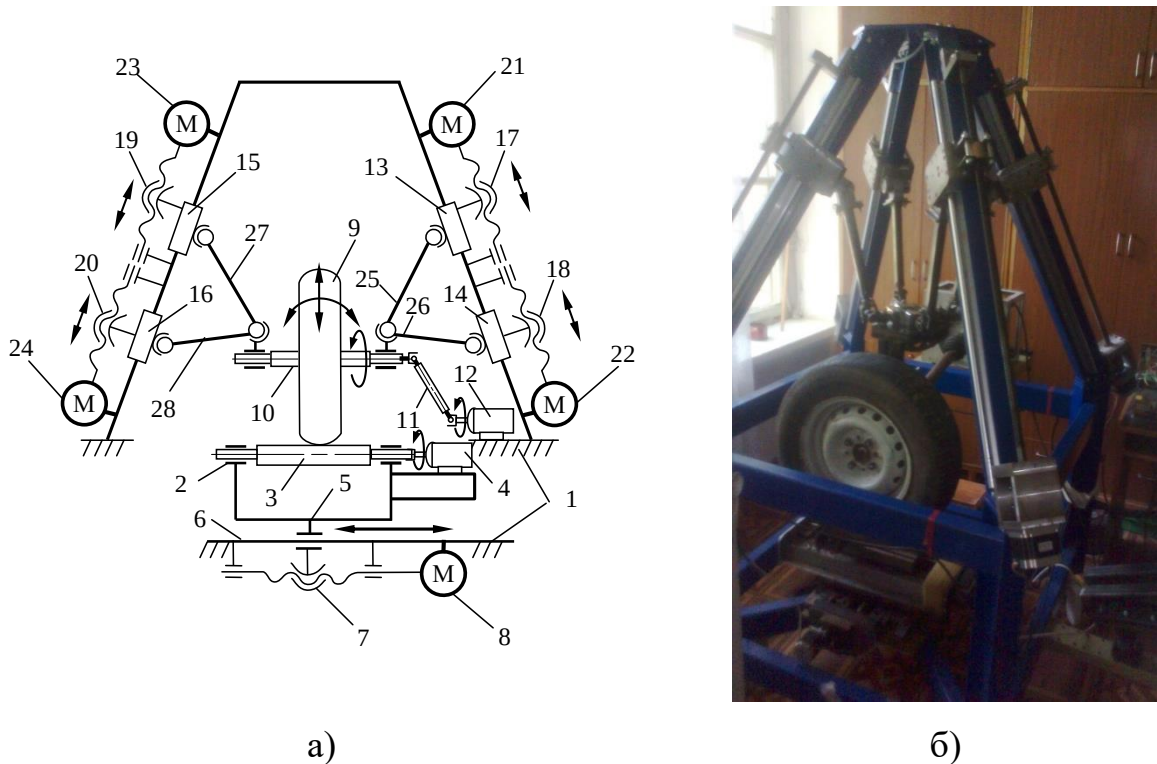


Рис. 2.6. Схема чотирикоординатний стенд для випробування шин: а) - кінематична схема; б) - виготовлений дослідний зразок [84]

На станині 1 встановлено в опорах 2 біговий барабан 3 з приводом обертання 4, який кріпиться на двокоординатному приводі 5 з напрямною 6 і рухомою передачею гвинт-гайка 7 до електродвигуна 8. Колесо із шиною 9 встановлено на обертальну вісь вузла кріплення 10 шини 9 і з'єднано з

приводом обертання колеса, який складається з обох кінців шарнірно-з'єднаного валу 11 і електродвигуна 12. На станині 1 змонтовано у вигляді ребер піраміди чотири незалежні приводи лінійного руху з каретками 13, 14, 15, 16 з передачею гвинт-гайка 17, 18, 19, 20 від окремих електродвигунів 21, 22, 23, 24, які шарнірно-зв'язані за допомогою штанг постійної довжини 25, 26, 27, 28 з вузлом кріплення 10 шини 9 і утворюють єдиний виконавчий орган механізму радіального навантаження на шину і кутів орієнтації колеса, що випробовується.

В процесі випробувань шин можуть бути реалізовані такі комбінації навантажень на матеріал шин:

- окреме циклічне радіальне навантаження на шину;
- окрема зміна кута орієнтації шини 9 без зміни радіального навантаження;
- окреме циклічне зворотно-поступальне зміщення бігового барабану 3 в горизонтальній площині, без змін радіального навантаження і кута орієнтації шини 9;
- спільна зміна в різних діапазонах радіального навантаження і кута орієнтації шини 9;
- спільна зміна радіального навантаження і циклічне зміщення бігового барабану 3 в горизонтальній площині;
- спільна зміна кута орієнтації шини 9 і зміщення бігового барабану 3 у горизонтальній площині;
- забезпечення різних швидкостей обертання бігового барабану 3 і шини 9 для імітації гальмування;
- усі варіанти разом.

Стенд для випробування шин відтворює складні умови контакту колеса з поверхнею дороги як комбінації силових навантажень з різним знаком і значенням та геометрією перешкод у місцях контакту за рахунок чого досягається технічний результат визначення ступеню пошкоджуваності матеріалу шини в залежності від результатів навантаження. На стенді за

рахунок конструкції опорної поверхні колеса у вигляді системи приводних роликів малого діаметру задається висота та відстань розташування типових або найбільш поширених перешкод за рахунок чого можна передбачити і прогнозувати ступінь внутрішньої пошкоджуваності матеріалу шини. Це досягається тим, що система приводних роликів малого діаметру побудована як впадини або виступи з змінною висотою і відстанями між ними та можливістю програмного переміщення в горизонтальній площині по двом координатам уздовж траєкторії руху колеса та в бічному напрямку під час обертання колеса (рис. 2.7).

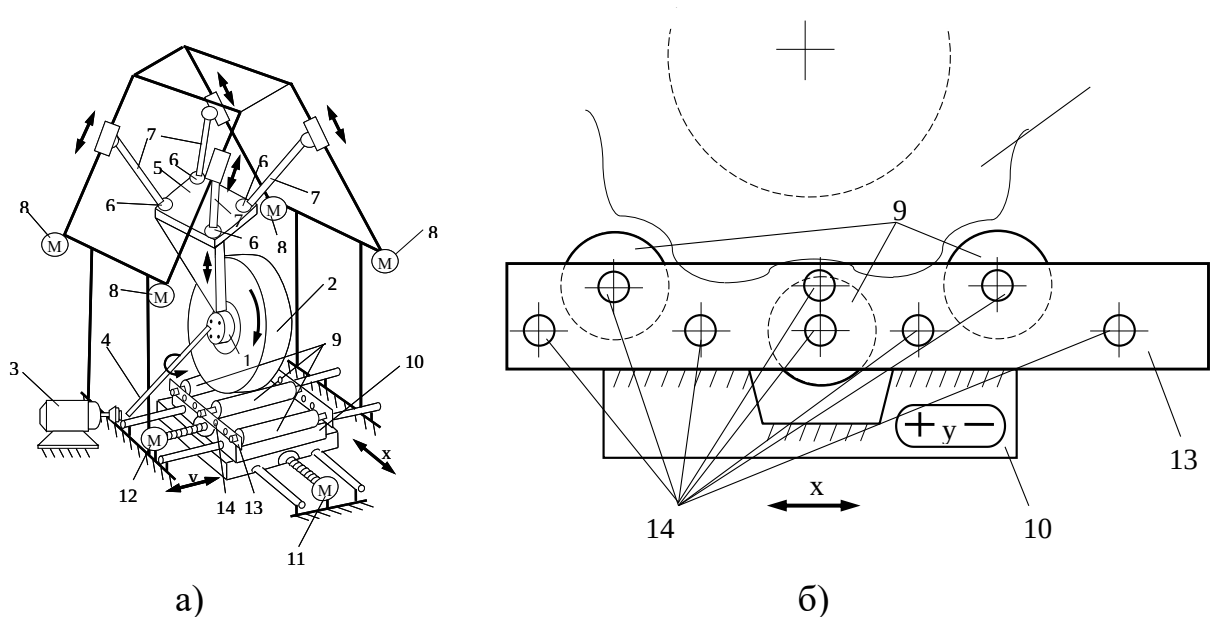


Рис. 2.7. Рухома керована платформа стенду для випробування пневматичних шин : а) – кінематична схема (загальний вигляд); б) – керована рухома платформа

Пристрій працює наступним чином (рис.2.7 а). У вузлі кріплення колеса 1 встановлюється шина 2, який з'єднано з електродвигуном 3 через карданний вал 4. Вузол кріплення колеса 1 розташовано на рухомій платформі 5 з шарнірами 6 і чотирма стрижнями 7, що приводяться до руху кожен окремо кроковим двигуном 8. Шину 2 вводять в контакт із навантаженням з трьома роликами малого діаметру 9, які закріплено на рухомому програмно-керованому двокоординатному столі 10, що має можливість задавати переміщення за допомогою двох пар гвинт-гайка і крокових двигунів 11, 12

роликів 9 уздовж горизонтальних координат x і y . Систему роликів 9 закріплено на металевій опорі 13 із отворами 14, які мають різну відстань і висоту розташування. Ролики 9 можна перевстановлювати в будь якій комбінації в опорних отворах 14 за рахунок чого формують задану перешкоду для шини 2 (Рис. 2.7 б). Уявна перешкода, що складається з системи роликів 9 під час випробувань переміщується за потрібною швидкістю і на задану відстань по координатах x і y від системи керування (не показано на рис. 2.7 а).

Стенд для випробування шин відтворює складні умови контакту колеса з поверхнею дороги (рис. 2.7) як комбінації силових навантажень з різним знаком і значенням та геометрією перешкод у місцях контакту за рахунок чого досягається визначення ступеню пошкоджуваності матеріалу шини в залежності від результатів навантаження [85-86].

Авторами [2] для дослідження характеристик пневматичних шин з обертаючим колесом був розроблений і виготовлений спеціальний стенд, схема якого показана на (рис. 2.8). На цьому стенді, для визначення механічних та динамічних характеристик шин, застосований метод вільних коливань системи, пружним елементом.

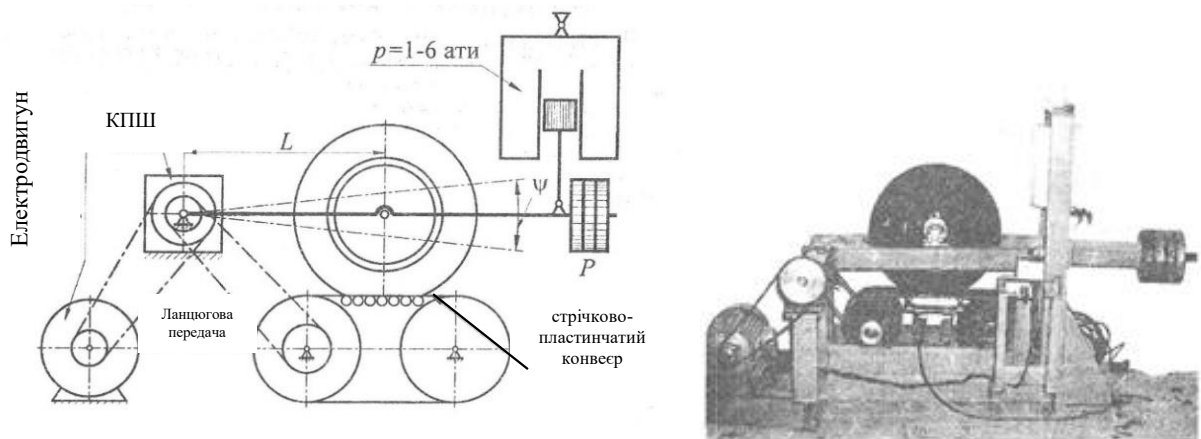


Рис. 2.8. Схема і конструкція стенду для визначення вібраційних характеристик шин [2]

Основною частиною коливальні системи стенду є маятник з колесом в зборі. Зміна моменту інерції маятника для отримання різних частот коливань

здійснюється зміною кількості вантажів, що встановлюються на стрижень маятника. На описаному стенді (рис. 2.8) були визначені радіальна жорсткість та коефіцієнт похибки шин при радіальних коливаннях для обертається колеса залежно від швидкості прокачування, тиску повітря в шині, радіальної навантаження та частот вібрацій [2].

2.2.2 Моделювання динаміки і визначення дисипативних властивостей матеріалів

В вібраційних дослідженнях важливо виявити значення коефіцієнтів демпфування [83] конкретної конструкції шини і нормативних значеннях її параметрів для підстановки в рівняння руху механіки. Виконується це тільки експериментально (рис. 2.9).

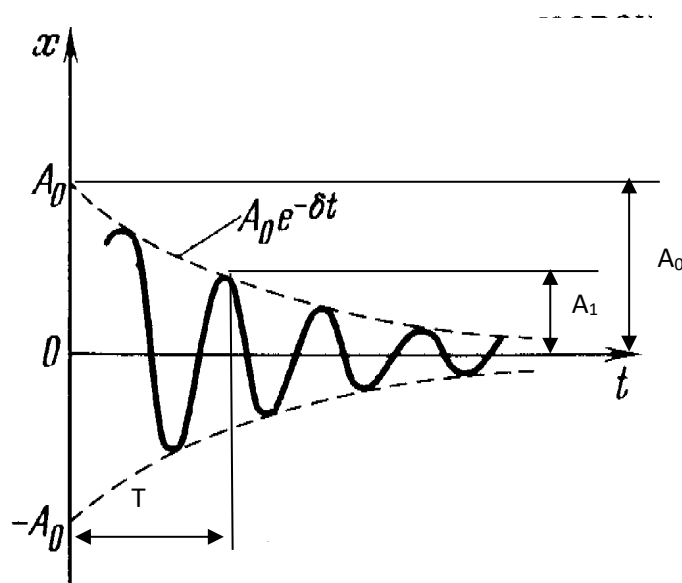


Рисунок 2.9. Рівняння згинаючої вільних коливань і розрахунок коефіцієнту демпфування [83]

В експерименті (для стенду на рис. 2.6) коефіцієнт демпфування буде розраховуватись зі співвідношень:

$$\mu = -\frac{\ln\left(\frac{A_0 - A_1}{A_0}\right)}{T}. \quad (2.1)$$

$$\frac{A_0}{A_1} = \frac{e^{-\frac{a^3\mu + a^2\mu b}{2mL^2a}t} - \frac{a(F_{00}(a+b) + mgL)}{c_\kappa a^2 + c_0(a+b)^2}}{e^{-\frac{a^3\mu + a^2\mu b}{2mL^2a}(t+T)} - \frac{a(F_{00}(a+b) + mgL)}{c_\kappa a^2 + c_0(a+b)^2}}, \text{ звідки} \quad (2.2)$$

$$\mu = -\frac{2 \ln\left(\frac{A_1 a^2 (c_\kappa + c_0) + 2A_1 c_0 ab + A_1 c_0 b^2 + a(a+b)F_{00} + aLmg}{A_0 a^2 (c_\kappa + c_0) + 2A_0 c_0 ab + A_0 c_0 b^2 + a(a+b)F_{00} + aLmg}\right) mL^2}{Ta(a+b)}, \quad (2.3)$$

де T – період коливань, A_0 и A_1 – амплітуди в позиції t і $t+T$ відповідно.

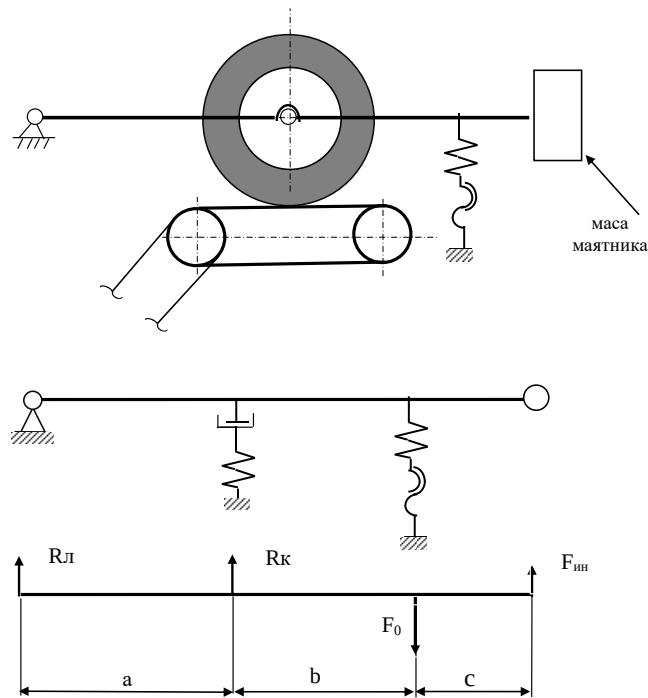


Рис.2.10. Силовая схема конструкції стенду по рис. 2.8

(R_l -реакція лівої опори, R_k - реакція колеса, F_0 -сила натягу пружини, $F_{ин}$ -сила натягу вантажу)

Математична модель враховує рівновагу і суму дії моментів (2.4) і сил (2.5) для даної розрахункової схеми.

$$(C_k U_k + \mu_k U_k) a - C_0 U_0 (a + b) - mgL - F_0 L = \pm m \ddot{U}_m L \quad (2.4)$$

$$\Sigma M_1 = R_{ка} - F_0 (a + b) \pm F_n L - mgL = 0. \quad (2.5)$$

$$\Sigma F: R_n + R_k - F_0 + F_n = 0. \quad (2.6)$$

$$U_0 = U_k \frac{a + b}{a}, \quad U_m = U_k \frac{L}{a + b}.$$

Результати експерименту для формул 2.1-2.6 наведено у додатку Є. Розрахункова схема, розрахунок і розв'язання рівняння руху колеса на стенді в середовищі Maple.

Моделльний підхід характеризується розглядом колеса з конкретним уявленням еластичної периферії, яка деформується, у вигляді сукупності елементів у формі пружин або стрижнів і оболонки під тиском повітря [77-78]. Математичний опис динаміки колеса буде в такому випадку аналогічний динаміці об'єкту на вібруючій поверхні. В роботі застосовувалось спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання об'єктів на вібруючих поверхнях. Прикладом може слугувати використання програмного забезпечення «Виброслой 1.0» [87], що створено саме для вказаних цілей – аналізу поведінки об'єктів з великою кількістю ступенів вільності (аж до сипких середовищ) на довільно переміщуваних поверхнях.

Висновки до другого розділу

У другому розділі сформовано: загальні методи випробувань, вирішення практичних задач, аналіз закономірностей зміни властивостей матеріалів пневматичної шини є важливою проблемою, як і дослідження початкових

характеристик матеріалів пневматичних шин. При розробці та формуванні використано методи дослідження властивостей і структури матеріалів.

Сучасними дослідниками значна увага приділяється розробці емпіричних методів визначення чинників, які впливають на знос покриття автомобільних шин. В роботі використано стандартні, модернізовані і оригінальні методи експериментальних і теоретичних досліджень. В галузі матеріалознавства, теорії пружності еластичної оболонки, композитних матеріалів, та підходи застосовані на феноменологічних принципах. В якості стандартних методик застосовано визначені державною метрологічною системою України, вимірювання механічних властивостей на основі нормативних документів технічних умов, керуючих документів та державних стандартів. В якості оригінальних методик розроблено випробувальні стенди нових конструкцій та забезпечено математичними моделями їх опису і алгоритмами програмного керування.

В роботі застосовано: методи металографії і макроскопії і аналізу макроструктури гумо-кордних конструкцій; визначення твердості і мікротвердості матеріалів; методи випробування на розтяг і розшаровування; метод фрактографії; механічні характеристики матеріалів при випробуванні на згинання до руйнування; динамічні випробування; методи моделювання та теоретичні дослідження; стендові випробування; моделювання динаміки і визначення дисипативних властивостей матеріалів.

РОЗДІЛ III

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МАТЕРІАЛІВ
ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН ВІД НАКОПИЧЕННЯ І ВИДУ
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ

3.1 Результати стендових методів випробувань шин автотранспорту

Для керованої зміни властивостей матеріалів шин, з метою визначення, виду ступеню та деградації пошкоджень в мікро об'ємах необхідно виконати послідовність імітування «Стендові випробування граничних станів – Моделювання проміжних станів» (рис.3.1).

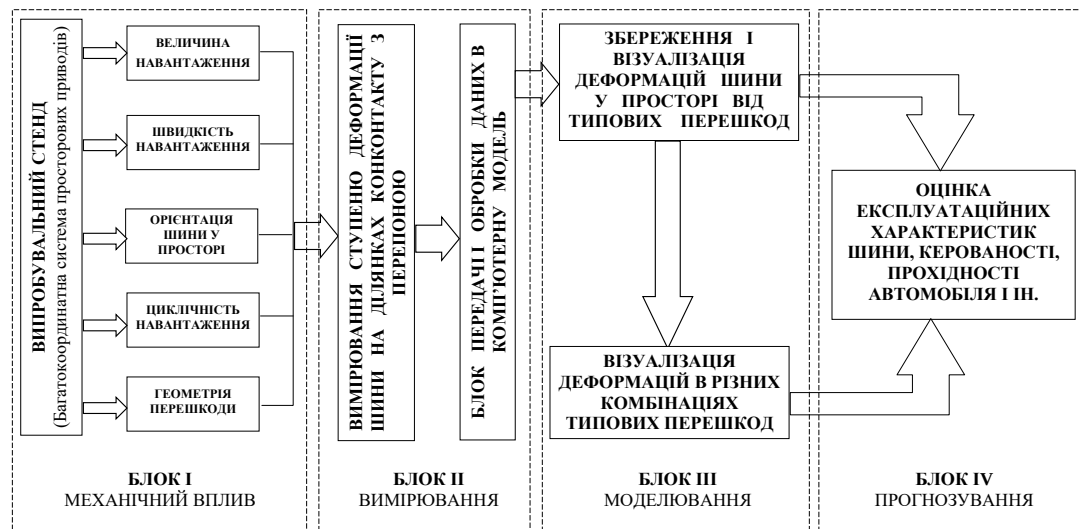


Рис.3.1. Загальна блок схема оцінки накопичення експлуатаційних пошкоджень шин із застосуванням запропонованих технічних і програмних засобів

Запропонований стенд (див. п.п. 2.2.1) призначений для динамічних випробувань пневматичних шин і забезпечує визначення в лабораторних умовах терміну служби шини, залежність його від виду; геометрії та комбінації перешкод, циклових навантажень, швидкості руху пружних дисипативних властивостей гумо-кордної конструкції (рис. 3.2).

Випробувальний стенд дозволяє відтворювати умови експлуатації шин, в тому числі найбільш екстремальні з точки зору вертикального навантаження.



Рис.3.2. Чотирикоординатний стенд для випробування лабораторних властивостей пневматичних шин з програмно керованим управлінням [85]

Стенд дозволяє виконувати з геометрією дороги і рівняннями Вимірювання динаміки і віброхарактеристик таких як амплітуд, декрементів затухань, визначення коефіцієнтів демпфування, побудова віброграм різних шин в залежності від виду впливу і законів зміни навантажувальних сил в різних напрямках координат.

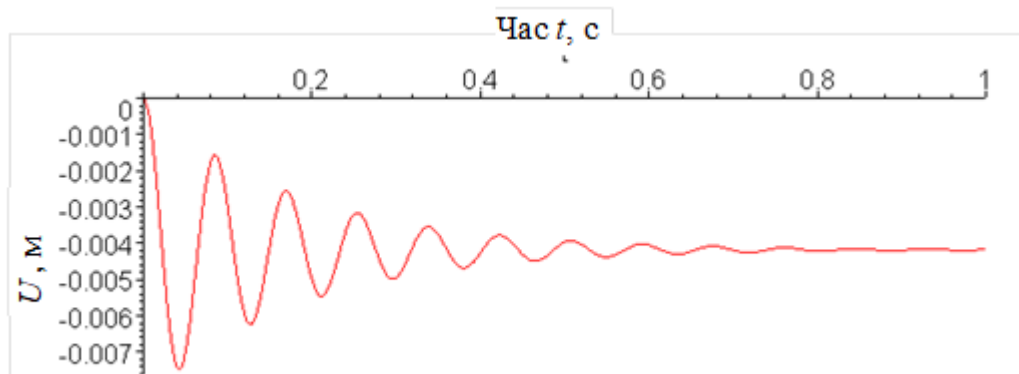


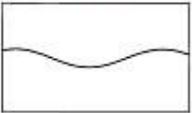
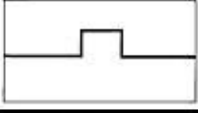
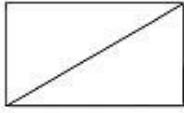
Рис. 3.3. Теоретична віброграма вільних коливань колеса для стенду на (рис.3.2)

Отримана залежність дозволяє прогнозувати, враховувати частоту власних коливань, колеса при зміні навантаження на шину, її жорсткість і коефіцієнти демпфування, як механічні властивості матеріалу гумо-кордної

конструкції з певним накопиченим ступенем пошкодження та картиною внутрішніх дефектів.

Таблиця 3.1

Аналitичне представлення штучної геометрії перешкоди моделювання пружних властивостей матеріалів шин при стендових випробуваннях

Графік функції	Вигляд функції
	${}^0z_{\partial} = A \sin x_{o13}$
	${}^0z_{\partial} = A \sin x_{o13} $
	${}^0z_{\partial} = aU_{+}(x_{o13}) + b[U_{+}(x_{o13} - x_{o13K}) - U_{+}(x_{o13} - x_{o13H})]$
	${}^0z_{\partial} = aU_{+}(x_{o13}) - b[U_{+}(x_{o13} - x_{o13K}) - U_{+}(x_{o13} - x_{o13H})]$
	${}^0z_{\partial} = \frac{8a^3}{x_{o13}^2 + 4a^2}$
	${}^0z_{\partial} = x_{o13} \operatorname{tg} \alpha$
	${}^0z_{\partial} = Ax_{o13} + B \sin x_{o13}$
	${}^0z_{\partial} = A \sin(\sin x_{o13})$

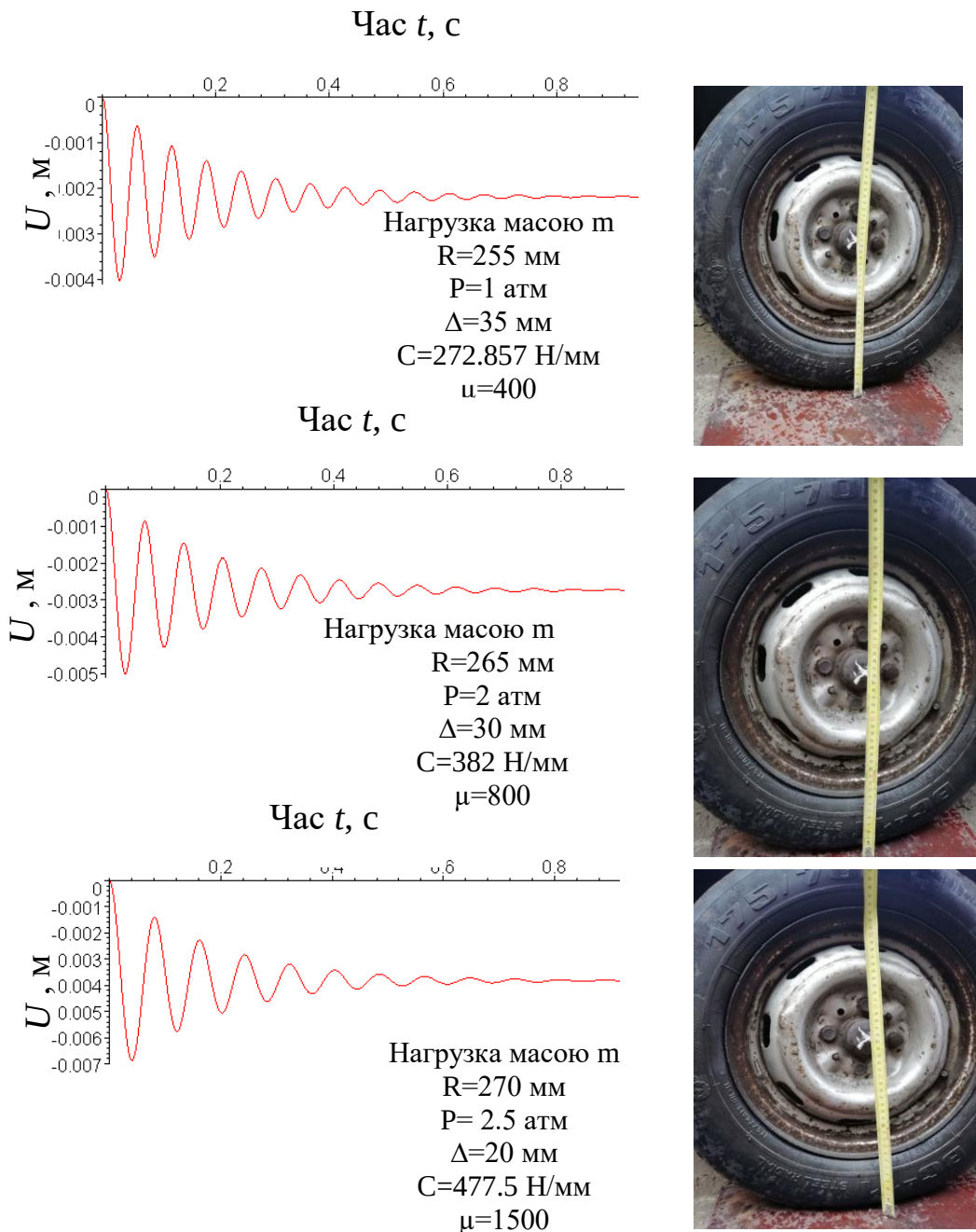


Рис. 3.4. Теоретичні віброграми за заданим коефіцієнтом демпфування μ

Виконано експериментальне випробування коливань при ударних навантаженнях для стенду наведеному на рис. 3.5, де і визначено коефіцієнт демпфування (рис. 3.5) Використано в якості вимірювального приладу вимірювальну плату – двохосьовий акселерометр MPU6050. Розрахунок наведено в Додатку Є.

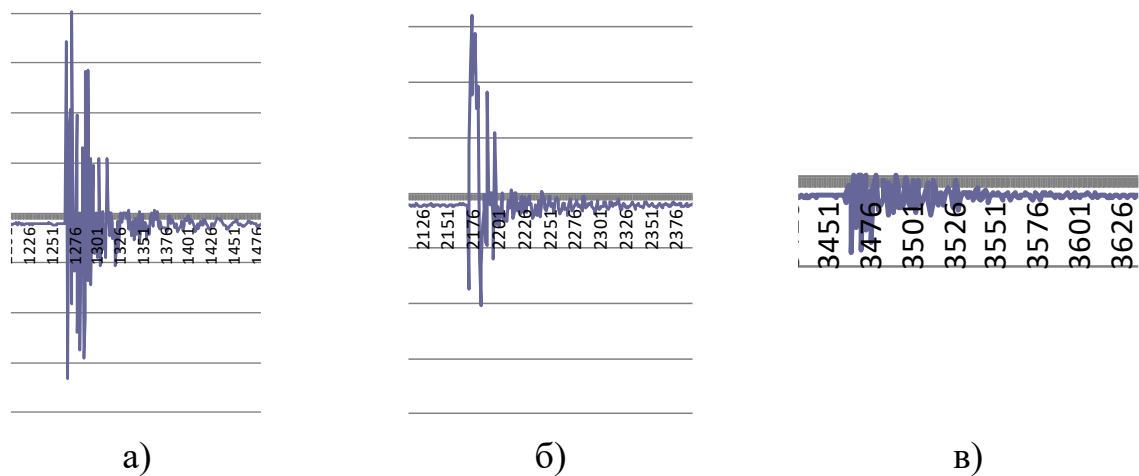


Рис. 3.5. Віброграми зняті при одиничному ударі в різних місцях стенду з навантаженою шиною до бігового барабану: а) - удар по цапфі приводного валу колеса; б) - удар по поверхні шини; в) - удар по поверхні бігового барабану

В результаті вимірювання та аналітичної оцінки експериментально отриманих віброграм пружної системи шини при одиничному ударі або вимушеному збудженні розраховано коефіцієнти демпфування згідно залежностей (2.1-2.3) у відповідності до критерію пошкодження шин, що були в експлуатації. Отриманий масив даних коефіцієнтів демпфування μ який характеризує за дисипативними властивостями матеріалів пошкоджуваності.

3.2 Моделювання та експериментальне визначення характеристик шин при накопиченні пошкоджень від дорожніх перешкод різної геометрії

Моделювання механічних характеристик матеріалів пневматичних шин в процесі подолання перешкод для оцінки експлуатаційних характеристик пружних матеріалів виконано як накопичення експериментальних даних для комп'ютерного моделювання щодо ступеню, форми просторової деформації ділянки шини, що контактує з перешкодою як застосування феноменологічного підходу. Це є основною гіпотезою прогнозування змін

механічних властивостей матеріалу шин від ступеню накопичення механічних пошкоджень.

Для моделювання математичної моделі розрахунку динаміки шини автомобіля треба розділити дві можливі обставини:

- динаміка з відривом від траси;
- динаміка з постійним контактом з трасою.

Для першого випадку критерієм відриву колеса від траси буде вважатися нульове значення реакції поверхні дорожнього полотна. Такі розрахунки потребують подвійного прогону циклу розрахункової моделі, для визначення значення реакції в даний момент часу, та істотного змінення алгоритму на тому ж кроці за часом при наявності відриву.

Умова відриву для горизонтальної поверхні може бути сформульована як перевищення відношення сил інерції до сил тяжіння значення одиниці, тобто необхідне контролювання комплексу $\frac{a}{g}$, де a – прискорення колеса, g – прискорення вільного падіння. Наприклад, якщо траса представляє собою хвилясту лінію, що апроксимується виразом $A\sin(\omega t)$, то комплекс буде мати вигляд $\frac{A\omega^2}{g} < 1$.

Колесо повільно з'їжджає на перешкоду з невеликим відривом та з наступним утворенням коливань в самій шині. Характерні важкопрохідні ділянки доріг можна характеризувати їх схематичними профілями. Вони складаються з нечисельного набору елементів профілю, які наведені вже у формалізованому вигляді (табл. 3.2).

Формалізовані елементи профілю типових ділянок доріг можна представити аналітично, використовуючи лінійні, тригонометричні, розривні функції з розривами першого роду. Таким чином математичний опис динаміки колеса аналогічний динаміці об'єкту на вібруючій поверхні. В цьому випадку ми можемо застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання об'єктів на вібруючих поверхнях.

Аналітичне представлення формалізованих елементів типових ділянок дороги

№ з/п	Формалізований елемент профілю типової ділянки дороги	Вигляд аналітичного представлення
1		${}^0Z_d = A \cdot {}^0X_d + A_0; \quad A \geq 0; \quad A_0 \neq 0;$
2		${}^0Z_d = \begin{cases} A \sin(a \cdot {}^0X_d); \\ A \sin(a \cdot {}^0X_d) ; \end{cases}$ $A > 0;$
3		${}^0Z_d = \sum_{i=1}^n h_i [u_+({}^0X_d - {}^0X_{iП}) - u_+({}^0X_d - {}^0X_{iК})]$ $h_i > 0;$ ${}^0X_{iП} < {}^0X_{iК};$

Прикладом може слугувати використання програмного забезпечення «Виброслой 1.0» [87], що створено саме для вказаних цілей – аналізу поведінки об'єктів з великою кількістю ступенів вільності (аж до сипучих середовищ поверхні дороги) на довільно розміщених поверхнях. Нижче представлено демонстрацію роботи в системі для моделювання поведінки колеса автомобіля шириною 20 см з масою 20 кг, що попадає в дорожню перешкоду вказаного нижче вигляду рухаючись з прискореннями, що формують рух з відривом (масу автомобілю не враховано вважаючи за наявний згладжуючий ефект підвіски).

Моделювати кінематику та динаміку відскоку колеса від нерівностей траси, можливо за допомогою спеціалізованих математичних пакетів програмних продуктів, у яких є в наявності можливість розрахунку

контактних взаємодій між пружними тілами. Програма підтримує розрахунки динаміки з урахуванням пружного контакту, для великої кількості тіл. Для повноцінного розрахунку необхідно правильно задати параметри жорсткості шини та підвіски автомобіля. Програма «Виброслой 1.0» [87] підтримує також аеродинамічні характеристики (для представлених розрахунків аеродинамічними параметрами знехтувано). В результаті моделювання отримуємо параметри руху колеса у вигляді наступних графіків:



Рис. 3.6. Відскок колеса на перешкоді (а), геометрія перешкоди (б)

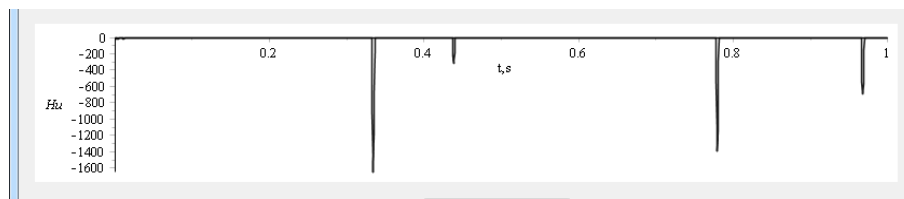
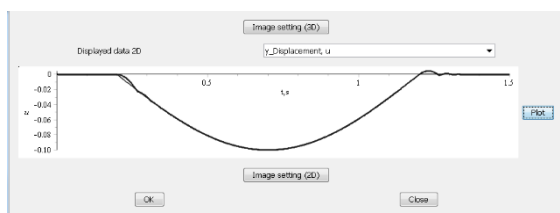


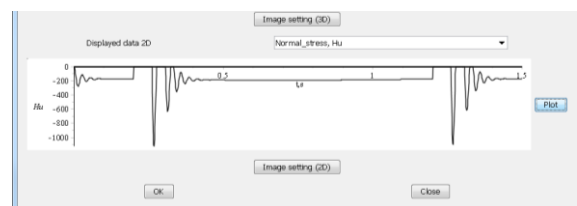
Рис. 3.7. Відповідні ударні напруги в умовних одиницях на дорожньому покритті при відскоках колеса

Значення жорсткості шини взяті з [5-8] як перерахований уявний модуль пружності 60000 Н/м^2 . Ударні навантаження не дають можливості прослідити за коливальними процесами в шині.

Прослідити коливання шини під навантаженням можливо, якщо перешкода буде більш повільною, або буде менше швидкість автомобілю. Такий приклад наведено нижче (рис. 3.8).



а)



б)

Рис. 3.8. Моделювання подолання увігнутої внутрішньої перешкоди (а) із значенням коливань шини (б)

3.3 Визначення механо-кінематичних характеристик пневматичних шин в залежності від властивостей матеріалу

З метою накопичення даних для комп'ютерного моделювання щодо ступеню, форми просторової деформації дільниці шини, що контактує з перешкодою було проведено низку експериментів для автомобільної шини 175/70 R13. В якості перешкод було змонтовано три ролики діаметром 60 мм на крестовому двокоординатному столі (рис. 3.9). Штучну «Перешкоду» змінювали конструктивно:

- три ролики поруч з мінімальним зазором – «рівна поверхня»;
- середній ролик відсутній – «невелика яма»;
- перший ролик вище за інших – «бугор».

Колесо навантажувалось стрижневою системою зверху чотирма приводами з кроковими двигунами згідно схеми поданої на рис. 2.6.

Величина навантаження задавалась у вигляді відстані від вільного радіусу колеса до лінійного уздовж радіусу переміщення платформи з колесом, яке складало до 40 мм при різних контрольованих значеннях внутрішнього тиску (рис.3.9). Для дистанційного зняття деформації шини використано компютеризовану вимірювальну головку з цифровим відліковим пристроєм INTELLIGENT (виробник МІКРОТЕХ® м. Харків) з можливістю передачі вимірювань в процесі руху (обертання) колеса на перешкоді.

На бічну поверхню шини було нанесено сітку і під час опускання колеса проводилось записування відеотреку з подальшою «розкадровкою» і накладанням сіток одна на другу.

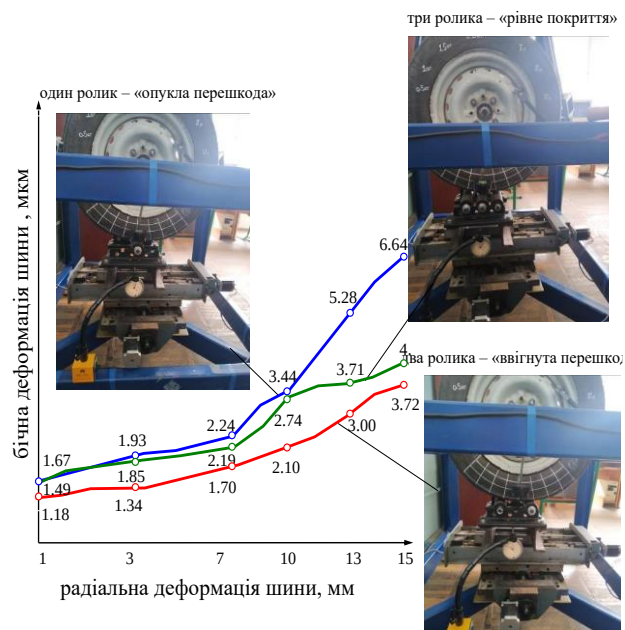
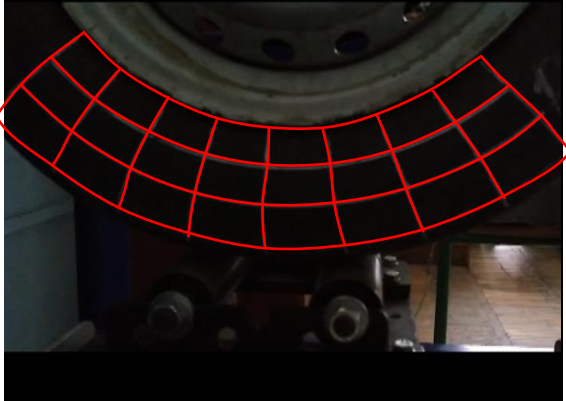
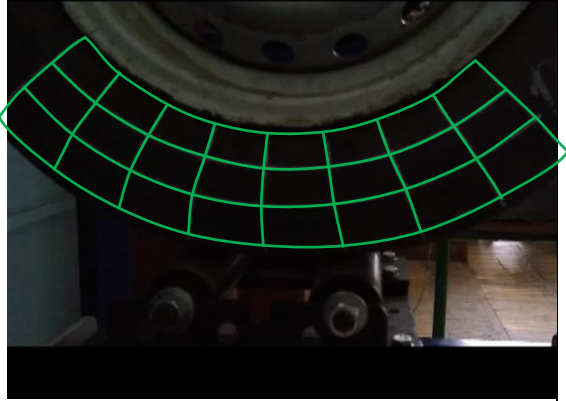


Рис. 3.9. Залежність ступеню бічної деформації шини від типу і геометрії перешкоди (тиск 1 Атм)

Даний експеримент було проведено в статичі для трьох значень внутрішнього тиску в шині : 1 Атм, 1,5 Атм, 2 Атм.

Таблиця 3.3

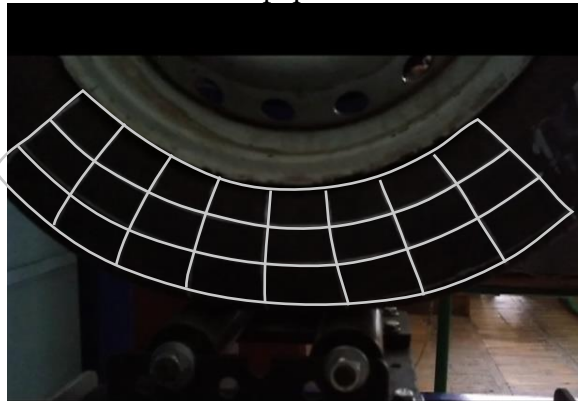
Деформація шини при статичному навантаженні на перешкодах різного вигляду

№	Вигляд деформації сітки	№	Вигляд деформації сітки
1		6	

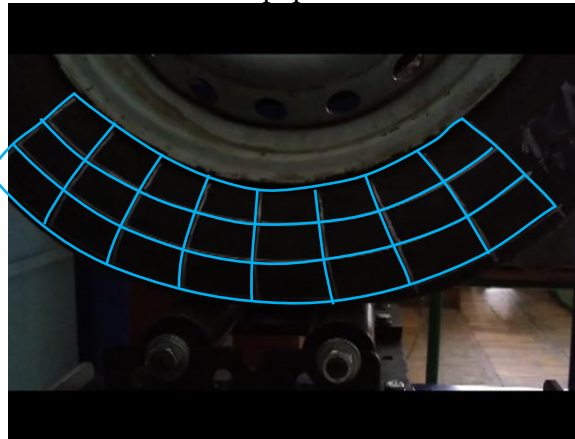
Продовження табл. 3.3
Вигляд деформації сітки

№
2

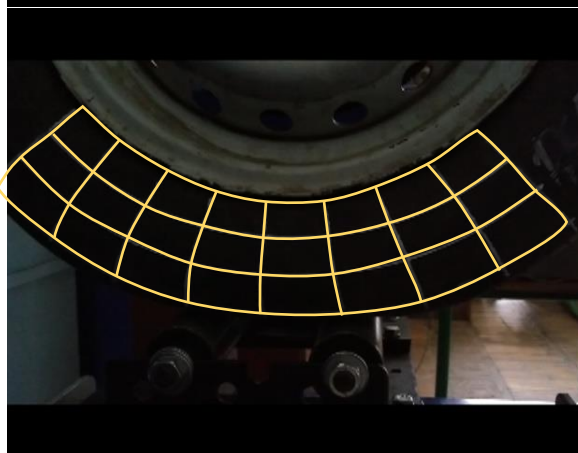
Вигляд деформації сітки



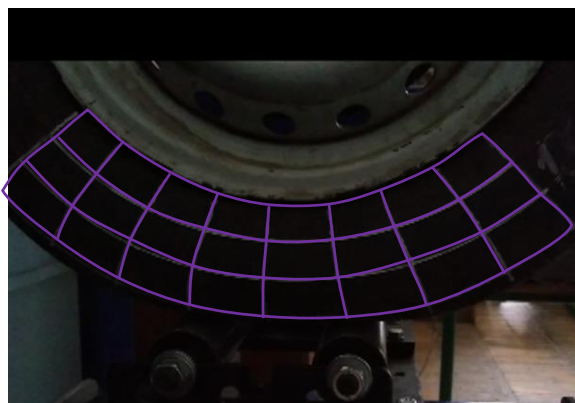
№
7



3



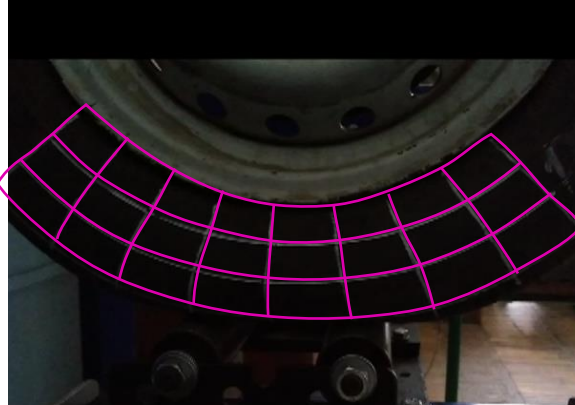
8



4



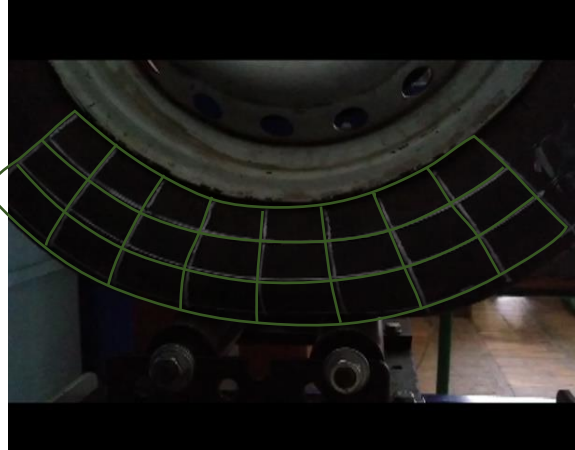
9



5



10



Отримані точки занесено як візуальні координати (рис.3.10.), що характеризують перший статичний відлік просторової деформації. Надалі відбувалось циклічне навантаження/розвантаження по керуючій програмі з різною швидкістю на таку ж саму відстань 40 мм.

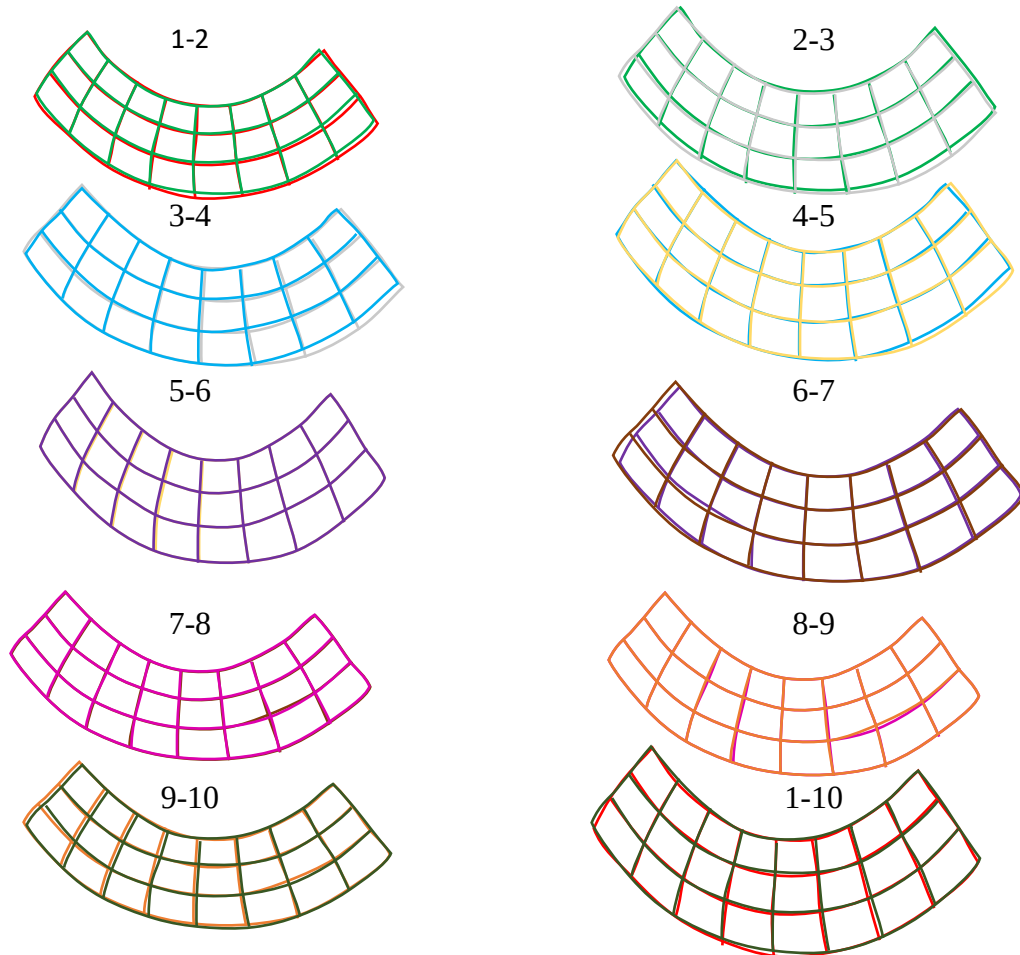


Рис. 3.10. Приклад накладання деформаційних сіток з різницею в зміні радіуса шини покроково на 4 мм

Зміна «динамічних» сіток з урахуванням швидкості деформації надає уявлення про поглинання енергії (демпфування) на перешкодах різного рівня. Розроблювана методика може стати альтернативою теоретичному визначенню реакцій колеса і шини на різноманітні перешкоди в різних умовах руху автомобіля і дії зовнішніх факторів. Наприклад, лише змодельованим процесам методом скінчених елементів (рис. 3.11, а) можна протиставити дані які отримано експериментально на багатокоординатному стенді для випробування шин як режим низькополігонального редагування сітки

модифікаторами (Edit Mesh, Bend, Push, Skew і ін.) середовища 3dStudio MAX з можливістю анімації усіх керованих параметрів (рис.3.11, б).

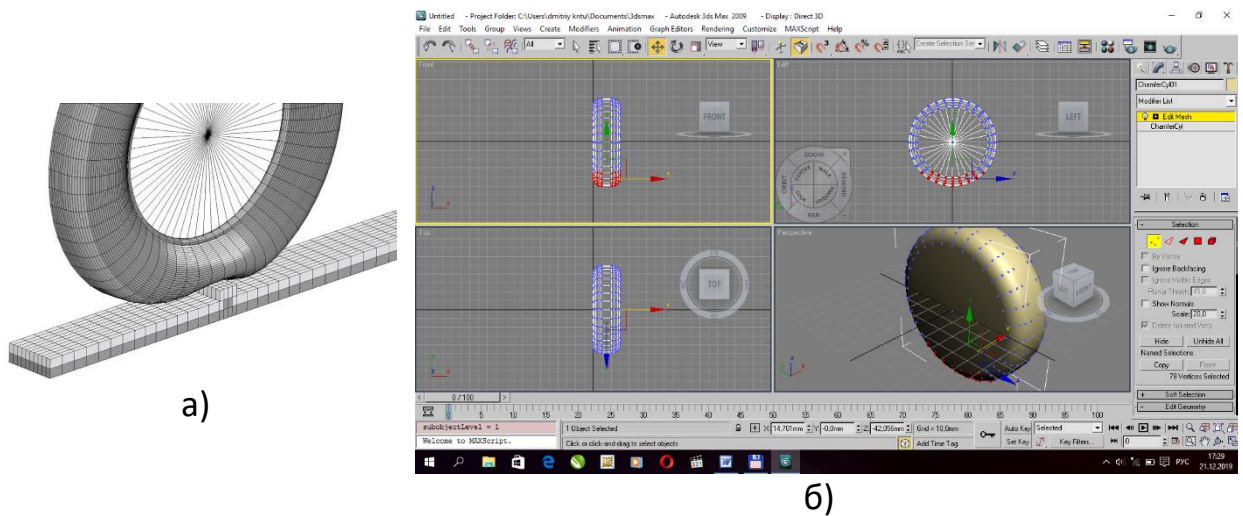


Рис. 3.11. Моделювання деформованого стану шини при перекошуванні через нерівність: а) методом скінчених елементів в САЕ –системах; б) методом управління геометрією шини з урахуванням феноменологічного підходу в середовищі 3dStudio MAX

Сучасні потужні САЕ-системи не зважаючи на великий досвід і розповсюдженість використання для моделювання різних деформаційних процесів допускають ряд обмежень, припущень і не враховують накопичену пошкоджувальність матеріалу, його анізотропію і ін. Тому послідовність «Стендові випробування граничних станів – Моделювання проміжних станів» для автомобільних шин є перспективним для оцінки працездатності, прохідності і безпеки руху автомобіля (рис.3.11).

Особливістю програмного середовища 3dStudio MAX є відкритість програмного коду MaxScript, що дозволяє створювати окремі прикладні програми і модулі для управління (відтворення) саме тих місць і видів деформації шини, які відповідають конкретним умовам руху і видам перешкод. Основні модифікатори геометрії показано (рис.3.12).

Змінні, що входять в розрахунок отримують дані про сітку деформації з експерименту і транслюють власні значення в математичні залежності

стандартних модифікаторів геометрії без врахування сил, швидкостей і навантажень, що повністю відповідає процесу моделювання і спрощує отримання візуального відтворення подолання перешкоди автомобілем.

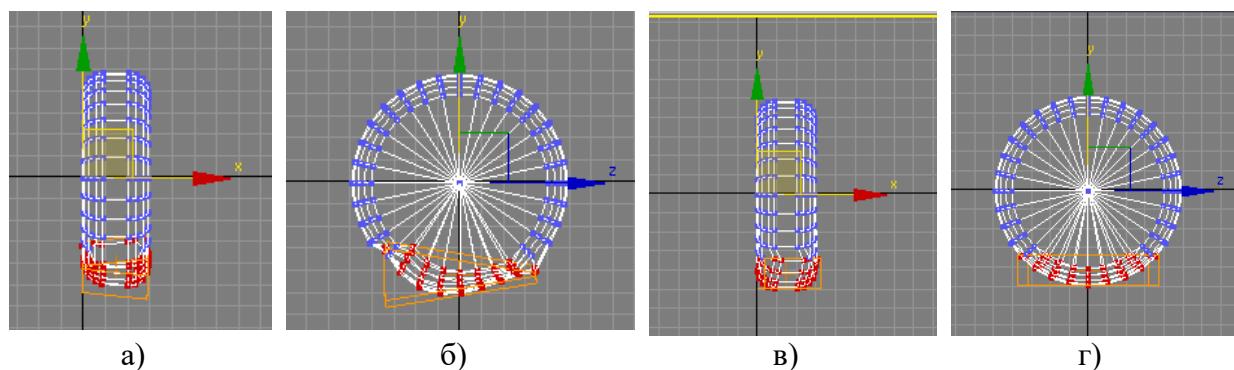


Рис. 3.12. Приклад роботи модифікатора Bend [67]

Таким чином, можна задавати будь-які комбінації деформування шини, вираховувати швидкість змін точок колеса як морфінг (перетикання) еластичної оболонки з одного стану в другий.

3.4 Оцінка пошкоджень матеріалів корду та гумокордної конструкції в елементах пневматичних шин

Розглядалась поведінка композицій під дією напруження прикладеного паралельно до волокон. В матеріалі матриці штучно утворили поперечні проколи глибиною 3 мм і радіусом індентора 1 мм.

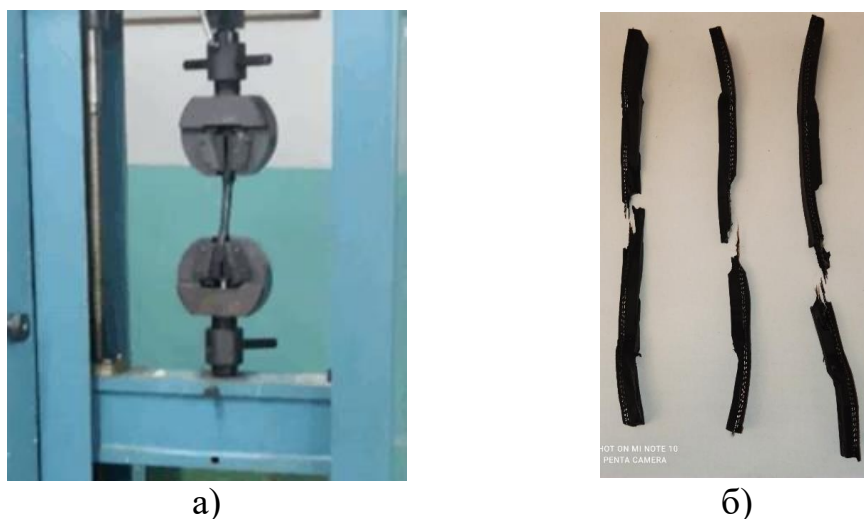


Рис.3.13. Випробування на розтяг: а) - загальний вигляд закріплення зразків;
б) - зразки після розриву

Випробування проводили на розривній машині Р-5 (рис.3.13 а). Криві деформацій руйнування (рис.3.15.) свідчать, що руйнування відбувається за двократним механізмом- руйнування матриці з модулем пружності $E_M=1,282 \cdot 10^9$ МПа формула 3 та наступним руйнуванням металевих волокон $E_B=50$ МПа. Отримано під час досліджень величину сили розтягу 130 Н заданого для $a=11$ мм, $b=11$ мм, у місці руйнувань. $S=121\text{мм}^2$. Моделювання гумового композитного матеріалу у формі лопатки наведено у Додатку Г.

Було виготовлено окремо в зразках видалено металеві і тканеві волокна для випробування матриці на розтяг і окремо видалено матрицю із збереженням волокон (рис.3.14) .

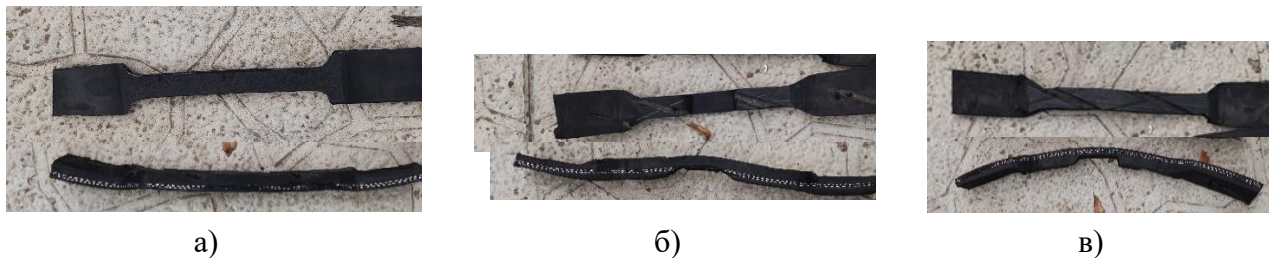


Рис. 3.14. Зразки на випробування на розтяг: а)- для визначення сукупної міцності композиційного матеріалу; б)-міцності матриці, в)-міцності волокнистих матеріалів

$$S=a \cdot b; S=11 \cdot 11=121\text{мм}^2$$

$$S = a \cdot b; \quad (3.1)$$

Таким чином, знаючи числові дані величин сили розтягу та величин площі можна знайти величину напружень:

$$\sigma=F:S=130:121=1,08 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_M=E_M=100:0,000078=1,282\text{МПа};$$

$$\sigma_B=E_B=300:0,000006=50\text{МПа}$$

Більшість розірваних зразків показали «щепоподібне» руйнування з висмикуванням металевих волокон армуючого корду з подальшим повільним руйнуванням матеріалу матриці, що залишалась до процесу руйнації усього зразка в цілому (рис.3.13, б).

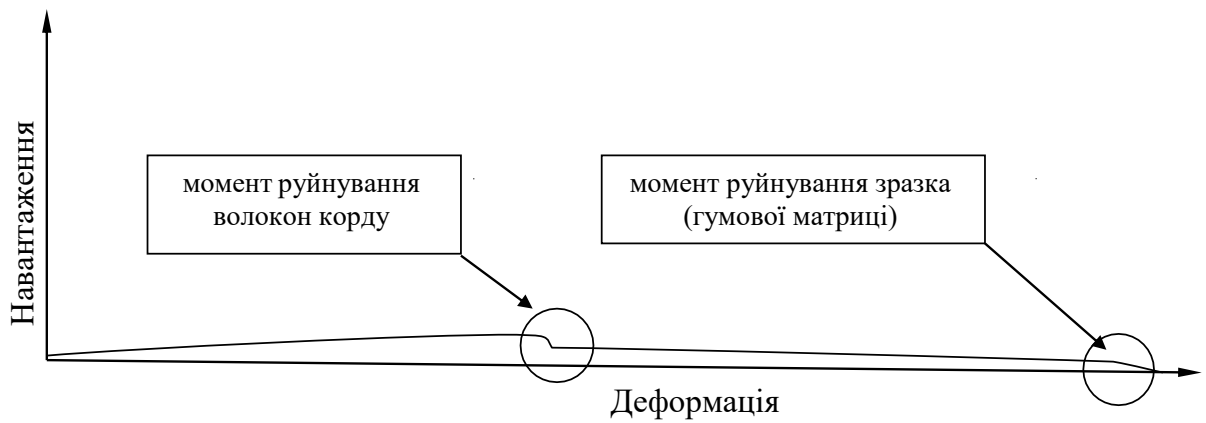


Рис. 3.15. Крива деформації при випробуваннях на розтяг гумової матриці зразків пневматичних шин

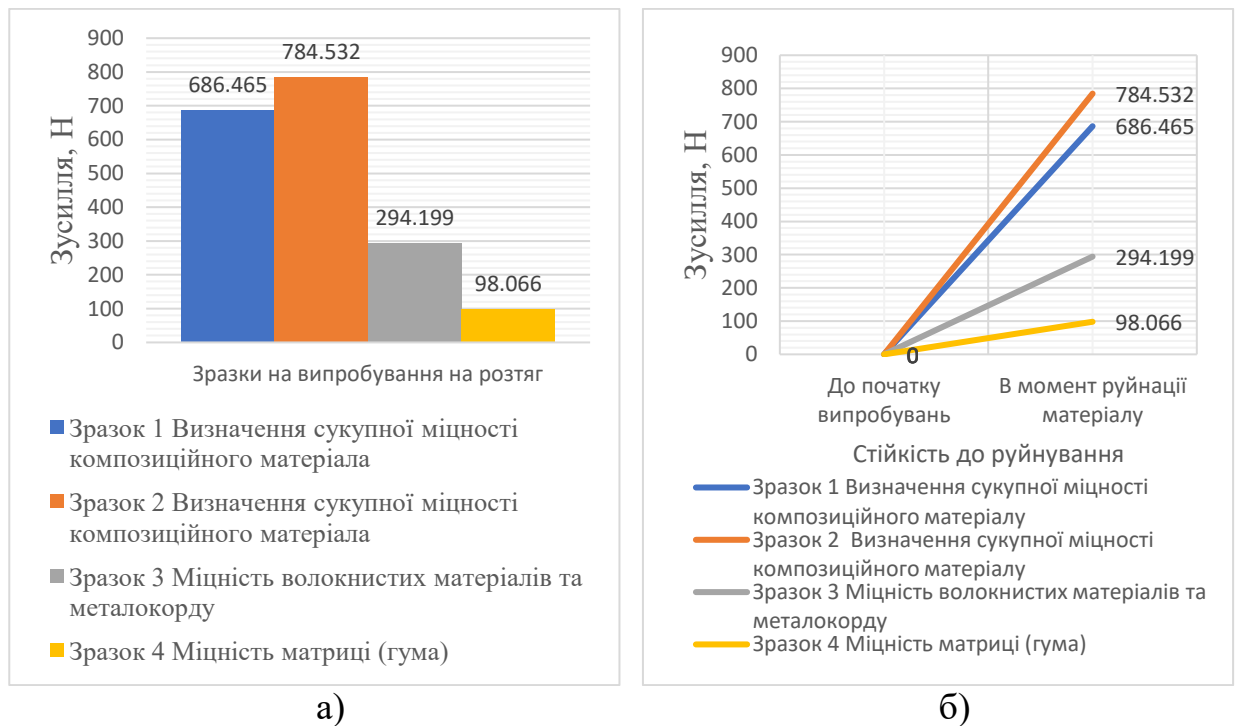
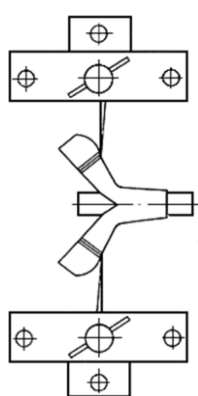


Рис. 3.16. Результати випробувань; а)- отримані результати дослідження для декількох дослідних зразків зразок 1, 2 -визначення сукупної міцності композиційного матеріалу; зразок 3-міцність волокнистих матеріалів та металокорду; 4-міцність матриці (гума). б)-отримані результати дослідження побудовані у вигляді діаграми від початку випробувань до моменту руйнації

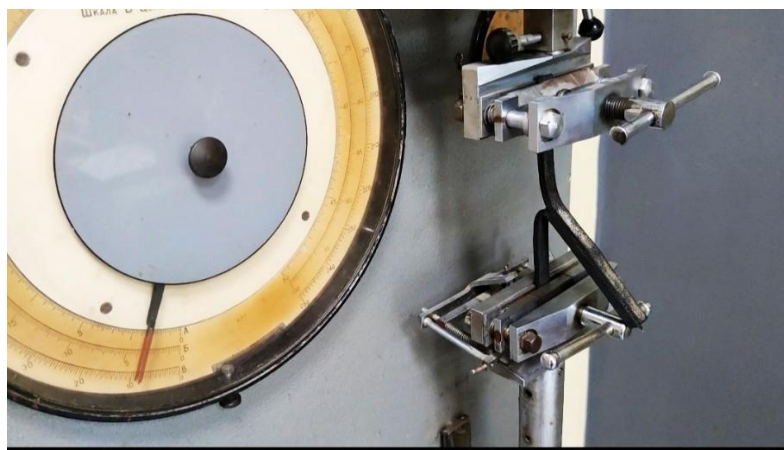
З багатьох способів досліджень пневматичних шин [72], можна відокремити метод визначення зв'язку в елементах камери пневматичних шин,

сутність якого у розшаруванні елементів шини на розривній машині з фіксацією зростання зусилля до моменту руйнування (рис. 1, а). По аналогії з даним методом проведено дослідження щодо зусиль та розрахунку елементів шини R15 на границях з'єднання «гума-металеві волокна корду», «металеві волокна корда» (поміж волокон), «гума-тканина».

Використовувалась машина розривна РТ-250М (рис. 3.17, б). Визначалось зусилля розшарування на різних ділянках автомобільної шини (рис. 3.17, а).



а)



б)

Рис. 3.17. Методика визначення міцності зв'язку згідно [72] (а), загальний вигляд проведення випробувань на машині РТ-250М (б)

Загальний вигляд поверхні після розшарування наведено на рис.3.17. Числові значення вимірних розривних зусиль та навантажень міцності зв'язку матриці із металевими волокнами наведено в таблиці 3.4.

Розглянуто механічні властивості на межі розподілу гумової матриці та металевих і тканевих волокнистих матеріалів, як окремої області в механізмі гальмування тріщин і її вплив на довговічність пневматичних шин при накопиченні пошкоджень в процесі експлуатації.

Проведено експериментальні дослідження на розшарування елементів композиції матеріалу шин в зразках, виготовлених з різних місць автомобільної покритишки.

Таблиця 3.4.

Виміряне зусилля розшарування на границі різних компонент матеріалу
шини

№	тип зразка	Зусилля розшарування, кг	Ширина розшарування матеріалу, мм
1	«гума»	4	15
2	«металеві волокна»	6	
3	«гума-металеві волокна»	9	
4	«гума-тканина»	8	

Визначено міцність на межі контакту «гумова матриця-волокна металевих кордунів», та між волокнами кордунів, що надає можливість оцінки сукупної міцності матеріалу шини як композиції армуючих елементів і матриці при накопиченні пошкоджень, створених як в процесі експлуатації штучно, використану методику експериментальних досліджень обґрунтовано сталим характером та поведінкою розриву зразків під час випробувань, оцінено морфологію руйнування на поверхні взаємодії армуючих волокон дроту із гумовою матрицею.



Рис. 3.18. Розшарування зразків і поверхня руйнування на межі «гума-волокна металевих кордунів» (а), поміж волокон кордунів (б)

3.5 Фрактографічні дослідження контрольованого руйнування композиції волокнистих і металевих матеріалів, у автомобільних шинах.

Механічні пошкодження шин в процесі експлуатації мають впливати не на матрицю, а на армуючі волокна, які призначено використовувати як зсувний механізм гальмування тріщин самими волокнами на поверхні зчеплення матриці, з армуючими наповнювачами для зміцнення тому поверхні розподілу у волокнистих композиційних матеріалах розглядають, як самостійний елемент структури [72]. В перехідному шарі формуються зв'язки між зміцнювальними волокнами і матрицями крізь, яку передаються механічні напруження. Від будови даних зв'язків залежать умови гальмування тріщин викликаних механічними пошкодженнями при експлуатації автомобільних шин. Проведено експериментальні дослідження на розшарування елементів композиції матеріалу шин в зразках, виготовлених з різних місць автомобільної покришки. (рис. 3.19).

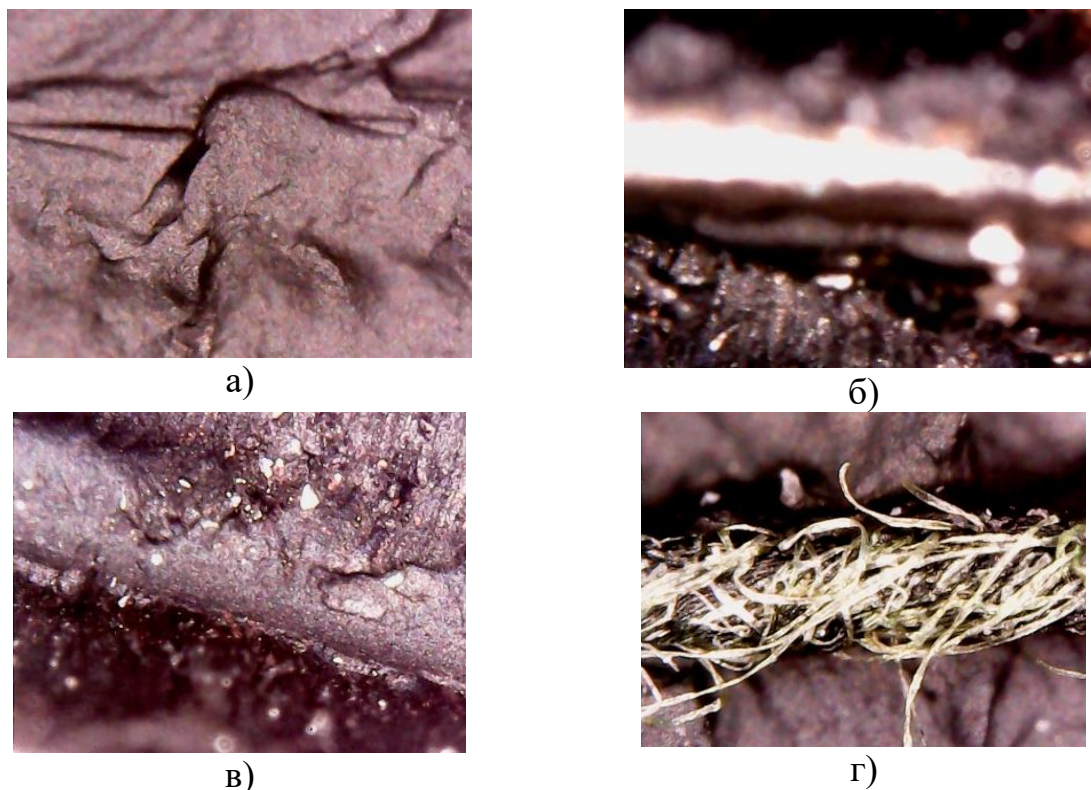
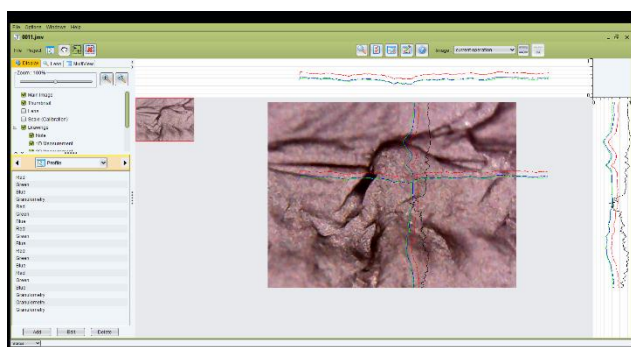


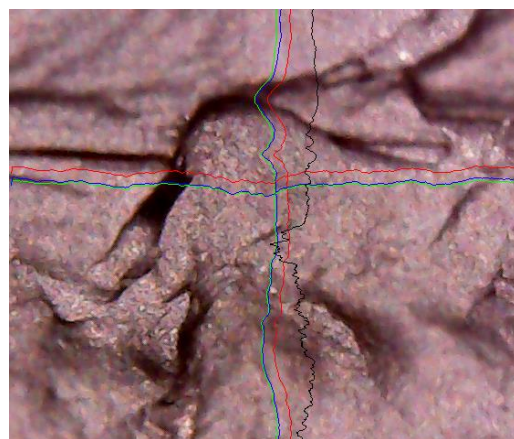
Рис. 3.19. Зразки для випробувань: а), б), в), г) - фрактограми місць розшарування «гума», «металеві волокна», «гума-металеві волокна», «гума-тканина», відповідно

Для вивчення механізму і кінематики руйнування композицій волокнистих і металевих матеріалів досліджено механічні властивості на межі розподілу гумової матриці та металевих і тканинних волокнистих матеріалів, як окремої області в механізмі гальмування тріщин і її вплив на довговічність пневматичних шин при накопиченні пошкоджень в процесі експлуатації.

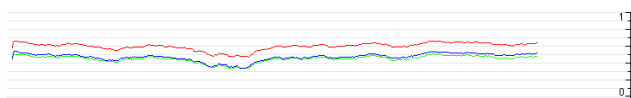
Інша картина спостерігається при тривалій експлуатації автомобільних шин та накопиченні дрібних пошкоджень при повторно статичному і динамічному навантаженні, тому фрактографічний аналіз може бути корисним при вивченні неоднорідної будови дефектів що виникають в результаті втомних і інших причин виходу з ладу автомобільних шин. [61]



а)



б)



в)



г)

Рис. 3.20. Злам рельєфу ; а)– Загальний вигляд середовища: JMvision, б) фрактограма дослідного зразка шини у середовищі JMvision; в), г) -вертикальний та горизонтальні графіки зламів гумової матриці

Визначено міцність на межі контакту «гумова матриця-волокна металевих корд», та між волокнами корду, що надає можливість оцінки сукупної міцності матеріалу шини як композиції армуючих елементів і

матриці при накопиченні пошкоджень, створених як в процесі експлуатації штучно, використану методику експериментальних досліджень обґрунтовано сталим характером та поведінкою розриву зразків під час випробувань, оцінено морфологію руйнування на поверхні взаємодії армуючих волокон дроту із гумовою матрицею.

Висновки до третього розділу.

Третій розділ присвячено результатам досліджень щодо прогнозування залишкового ресурсу матеріалів пневматичних шин від накопичення і виду експлуатаційних пошкоджень:

В результаті вимірювання та аналітичної оцінки експериментально отриманих і віброграми за заданим коефіцієнтом демпфування μ складають 400, 800, 1500, отримано віброграми зняті при одиничному ударі в різних місцях стенду з навантаженою шиною до бігового барабану: а) - удар по цапфі приводного валу колеса; б) - удар по поверхні шини; в) - удар по поверхні бігового барабану, розраховано коефіцієнти демпфування згідно залежностей (2.1-2.3) у відповідності до критерію пошкодження шин, що були в експлуатації. Отриманий масив даних коефіцієнтів демпфування μ який характеризує за дисипативними властивостями матеріалів пошкоджуваності.

Визначення сукупної міцності для композиційних матеріалів складає 686,465 Н та 784,532 Н, міцність волокнистих матеріалів та металокорду 294,199 Н, міцність матриці гума складає 98,066 Н.

Розглянуто механічні властивості на межі розподілу гумової матриці та металевих і тканинних волокнистих матеріалів, як окремої області в механізмі гальмування тріщин і її вплив на довговічність пневматичних шин при накопиченні пошкоджень в процесі експлуатації. Виміряне зусилля розшарування на границі різних компонент матеріалу шини складає : «гума»- 4 кг, «металеві волокна – 6 кг, «гума-металеві волокна» - 9 «гума-тканина» -8 кг, при ширині розшаруванні матеріалу 15 мм.

РОЗДІЛ IV

ПРОЦЕСИ ДЕГРАДАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПОРУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

4.1 Вплив кінетики накопичення пошкоджень на деградацію механічних властивостей гумо-кордного композиту

Найбільш опрацьований підхід для аналізу втомної міцності базується на оцінці чутливості, до градієнта щільності енергії руйнування (рис. 4.1) [11].



Рис. 4.1. Метод оцінки втоми радіальної пневматичної шини на основі градієнта густини енергії деформації [11]

П'ять шин 11.00R20, вісім 12.00R20 і дві шини 255/70R22/5 випробовувались на втомну витривалість, спостереження за формами

руйнування кожної шини, виявлено конкретні частини руйнування та напрямок поширення тріщин, однак тип руйнування складався з тріщини борта шини та плеча [11].

Залишковий ресурс на пряму залежить від контактних напруг спричинених умовами експлуатації [88-97]. Використовуючи числову модель, створено базу даних прогнозованих контактних напружень. База даних містить розподіл нерівномірних тривимірних контактних напруг за різних умов прикладеного навантаження, тиску в шинах, швидкості автомобіля, умов кочення та коефіцієнта ковзання. (рис. 4.2.) Контактні напруги зведені в таблиці таким чином, що їх можна використовувати як граничні умови навантаження для будь-якої моделі дорожнього покриття скінченних елементів [32].

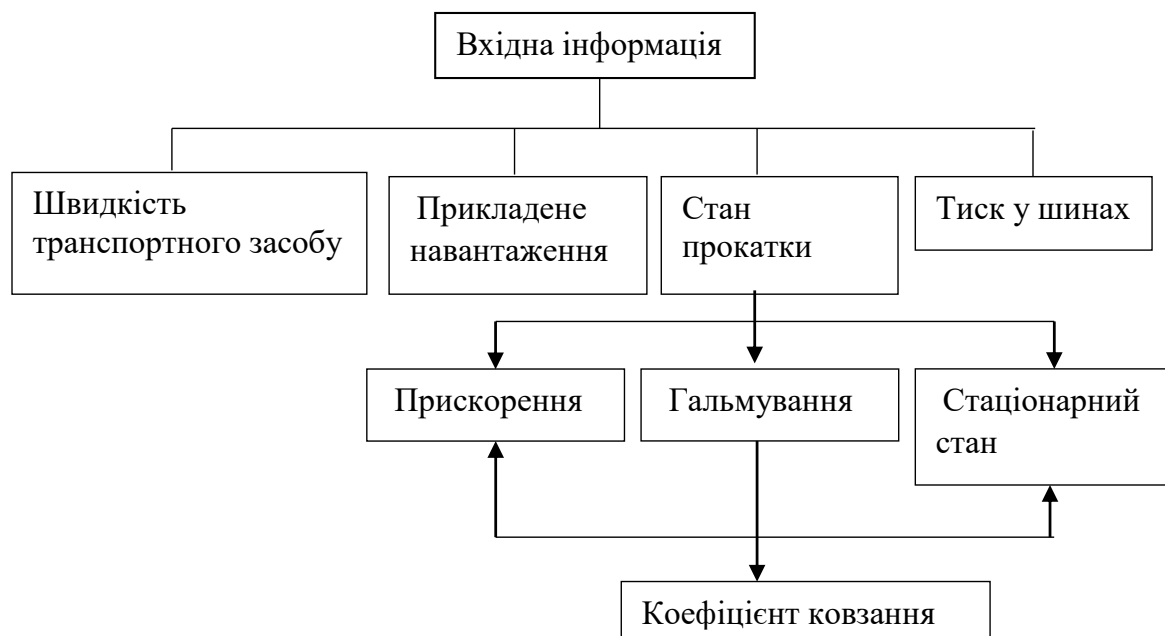


Рис. 4.2. Матриця проведеного моделювання скінчених елментів для створення контактних напруг, викликаних шинами, на дорожньому покритті за різних умов [32]

В даній роботі пропонується та використано підхід щодо втомної міцності як циклових стендових навантажень, що відтворюють подолання перешкод різної геометрії та їх комбінацій з визначенням морфології пружних

деформацій гумо-корних конструкцій матеріалів шин узгоджених з дискретними значеннями механічних характеристик шин та співставленням із структурою матеріалу відповідного ступеню накопичення пошкоджуваності.

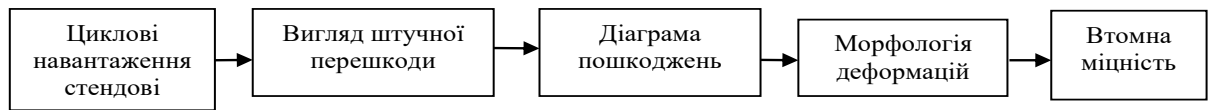


Рис. 4.3. Залежність циклових стендових навантажень від втомної міцності

Детальне визначення змін властивостей матеріалу і структури гумо-кордних композицій передбачає використання комплексу циклічних навантажень у вигляді типових маневрів, які представлені у вигляді чотирьох основних навантажень вертикальні, обертальні горизонтальні, комбіновані.

Дані навантаження задаються програмно із штучними перешкодами, вигляду виступ яма, виступ-виступ, яма-виступ. Наступним кроком є детальна оцінка виду пошкоджень матеріалу у вигляді:

- пластичне, центральне розривне, крихке руйнування корду, металевого дроту;
 - руйнування на межі контакту «гумова матриця-волокна металевого корду», та між волокнами корду;
 - -наявність розколювання матеріалів у вигляді чашок і конусів;
 - -точкові злами;
 - -порушення цілості і щільності тканин;
 - -порожнини, розшарування і руйнування швів;
- розрізи порожнин тріщин.

Різні типи руйнування матеріалу детально описуються як механізм фізичного і морфологічного явища.



Рис.4.4. Блок схема послідовності визначення змін втомної міцності при стендових випробуваннях радіальної пневматичної шини

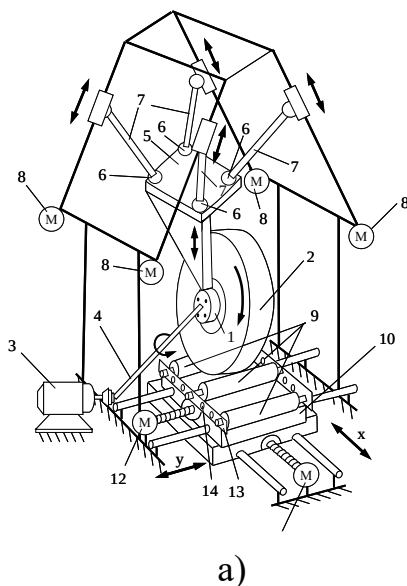


Рис. 4.5. Експериментальний стенд: а)-кінематична схема; б) - загальний вигляд експериментального стенду

В наслідок заданих деформацій пневматичної шини морфологія буде змінюватись. Показники втомної міцності аналізуються та моделюються математично як показники деформованої пружної оболонки. На межі розподілу металевого дроту із гумовою матрицею спостерігається порушення рівної поверхні з наявністю хвиляподібних нерегулярних порожнин глибиною від 10 до 50 мкм (рис.4.6).

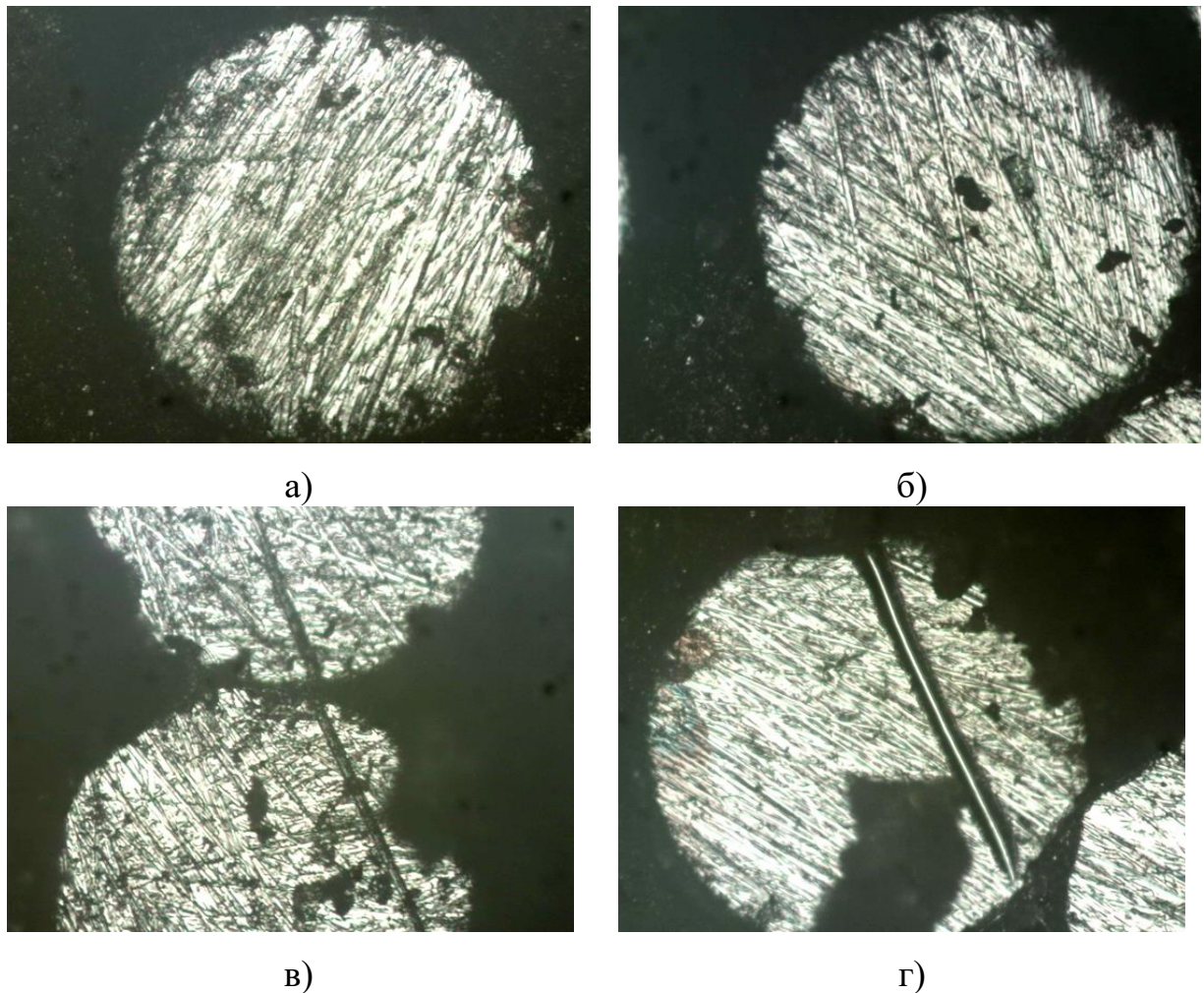


Рис.4.6. Мікрофотографії пошкодженого металокорду в макроструктурі пневматичної шини від комплексу стендових навантажень: а) - циклові вертикальні навантаження $N=1500$; б) - циклові обертальні цикловий рух колеса $N=4500$; в) - циклові горизонтальні в двох координатах $N= 3000$; г) - комбіновані обертальні та лінійні в 5-ти координатах $N=7500$

Розмір і форма порожнин збільшується для циклових навантажень забезпечених у трьох напрямках x , y , z які задаються на стенді.

Спостерігаються найбільші порушення периметру в перетині дроту з зростаючим бічним навантаженням (рис. 4.6 в, г).

На етапі дослідження металокорди А, В і С в дослідженнях [89] розрізали на відрізки довжиною 800 мм і підбирали до них відповідні навантаження (табл. 4.1). Для шнура А прикладено навантаження 0,40 КН; для шнура Б — навантаження 0,30 КН; тоді як для шнура С навантаження 0,20 КН. Після встановлення відповідного навантаження металокорд поміщали в універсальну машину для випробувань на втомну міцність, яка дозволяла проводити процеси однонаправленого та двонаправленого згинання [89].

Попередні випробування, довели що основна різниця між односпрямованим і двонаправленим процесами згинання проводяться в кількості циклів, що призводять до розриву шнура.

Таблиця 4.1

Параметри випробувань на втому шнурів [89]

Конструкція корда	Кількість циклів	Довжина зразка, мм	Навантаження, кН
3+6	675	800	0,40
	1350	800	0,40
	2700	800	0,40
	5400	800	0,40
2+2x0,25	675	800	0,30
	1350	800	0,30
	2700	800	0,30
	5400	800	0,30
2x0,30	675	800	0,20
	1350	800	0,20
	2700	800	0,20
	5400	800	0,20

Вихідним матеріалом для випробувань були металокорди конструкції: $3 \times 0,25 + 6 \times 0,35$ (корд А); $2 \times 0,25 + 2 \times 0,25$ (корд В) і $2 \times 0,30$ (корд С) всі виготовлені зі сталі D76, хімічний склад якої наведено на рис 4.7 [89].

Представлено чотири види корду з вмістом масової частки вуглецю від 0,73% до 0,87% .Основними легуючими елементами є Mn, Si, Cr, Ni, Cu. Переважна доля належить марганцю і досягає 0,66%, інші легуючі елементи мають приблизно однакові межі значень масової частки близько 0,05-0,04%. Елементи у складі металевих кордів присутні як шкідливі домішки і складають не більше 0,005% [90].

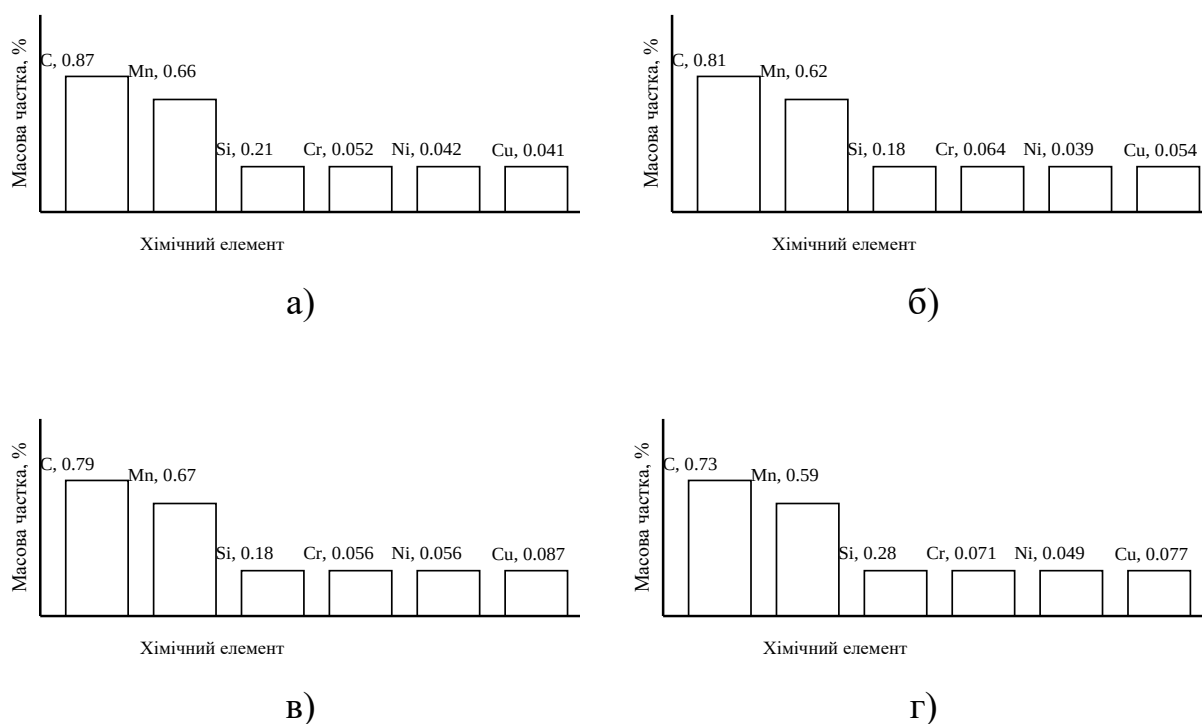


Рис. 4.7. Хімічний поелементний склад матеріалу: а) - модель корду C86D2 (тип D); б) - модель корду C82D2 (тип E); в) - модель корду C80K (тип F); г) - модель корду C72DP (тип G) [89]

В проведених експериментальних випробуваннях представлених на рис. 4.8 спостерігається зміна макроструктури в поперечному перерізі як деградація складових елементів гумо-кордної композиції та меж елементів,

відбувається деформація лінії розташування текстильного корду та викривлення протекторної зони. Імворна механічна, термічна та поверхнева деструкція гумоеластомерної матриці. Досліджено матеріал шини автомобіля а) - пробіг 50000км, б) - пробіг 20000км. Спостереження зношування по критерію шорсткості контакуючою із штучними перешкодами показали падіння параметру R_a за період 24 год випробувань на 40% з послідуочим викрошуванням зовнішньої поверхні і утворенням відносно великих дефектів до 50-100 мКм. На рис. 4.8, а зафіксовано руйнування зовнішньої поверхні внаслідок трибологічних взаємодій зі штучною перешкодою та окрихченням поверхневого шару, що має світло-сірий колір на глибину до 1 мм в протекторі.

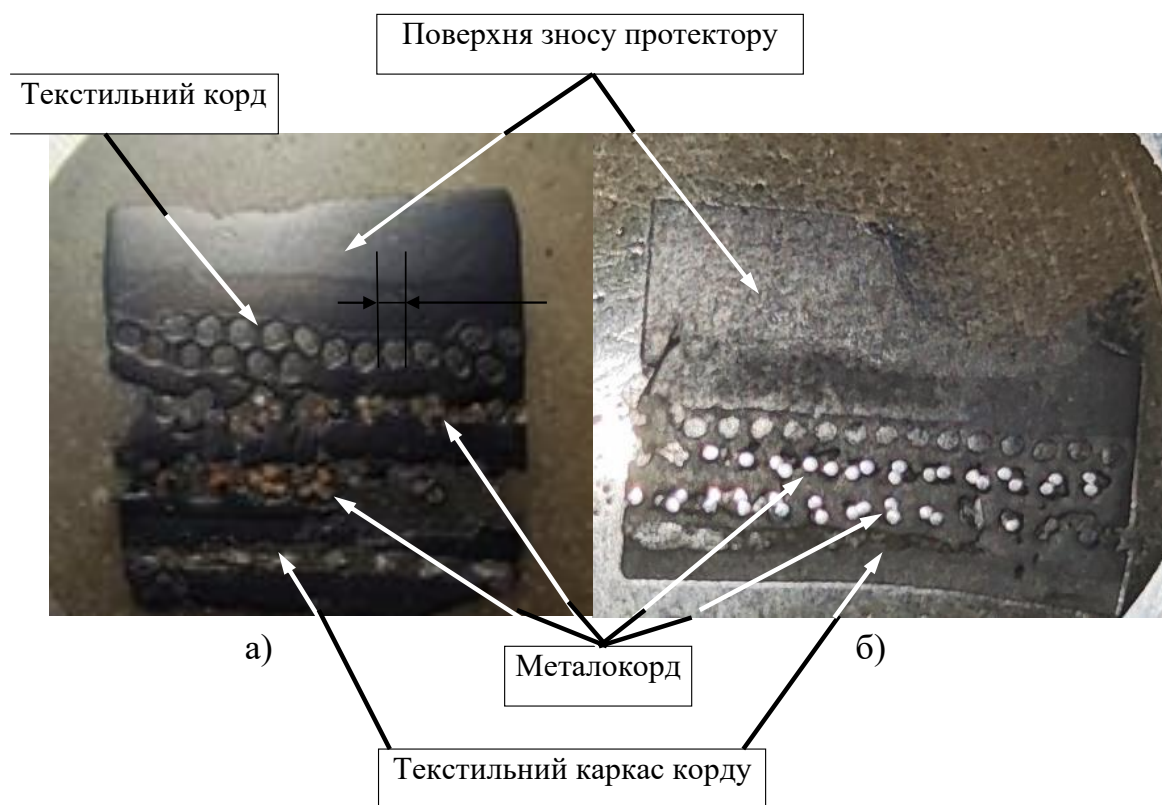


Рис. 4.8. Поперечний переріз експериментальних зразків з деформаціями в макроструктурі

Відомо, що процес старіння суттєво зменшує максимальні можливі деформації в матеріалах. Так, граничні деформації на розрив внаслідок

старіння зменшуються на (20-30)% за перший рік та на (40-55)% за другий [28]. Крім того, спостерігається набуття гумовим матеріалом більшої жорсткості підвищення початкових модулів пружності у 1.5 рази. Результати експериментальних досліджень щодо впливу процесів штучного старіння. (рис. 4.9). наведено криві втоми для матеріалів, що досліджувались до та після старіння. Порівняльний аналіз показує суттєве зменшення кількості циклів до відмови на тих самих рівнях амплітуд деформацій зразків. Так, для 1-го матеріалу базове число циклів до відмови на фіксованому рівні амплітуд деформацій у 50 % зменшилось у 80 разів.

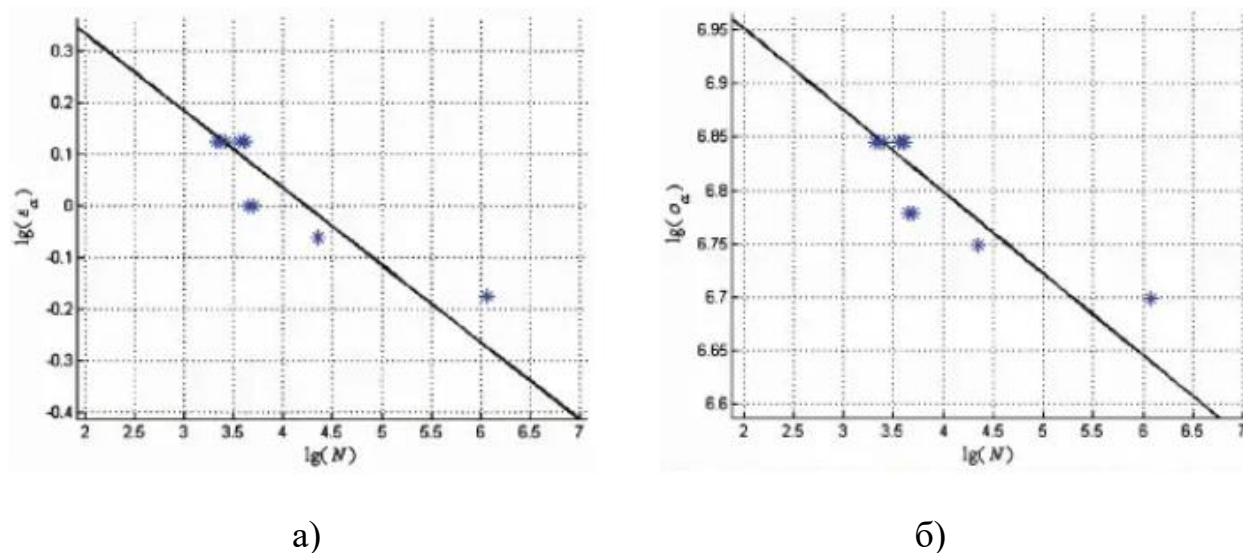


Рис. 4.9. Криві втоми гумових зразків для двох матеріалів, що досліджуються (верхні криві та сині точки) та після штучного старіння (6 діб в термо-камері на температурі 80 C⁰) [28]

«Втома» пов'язана з повторюваними або циклічними навантаженнями, яких зазнає будь-який продукт у його експлуатації. Стійкість до втоми з точки зору виникнення дефектів/тріщин і подальшого поширення є однією з важливих характеристик матеріалу або продукту під час його експлуатації. Втомна довговічність визначається як сума циклів, необхідних для виникнення тріщини, і кількості циклів, необхідних тріщині, щоб поширитися до руйнування. Шина зазнає мільйонів циклічних навантажень протягом свого

терміну служби, тому руйнування/руйнування, пов'язані з втомою, мають велике значення. Втоме руйнування можна визначити за унікальністю поверхні зламу. На рис. 4.10 зображено зламаний кінець нитки металокорду через втому. Тріщина зазвичай виникає перпендикулярно до напрямку головної осі навантаження у випадку сталі. Зламана поверхня — це гладка поверхня в точці виникнення тріщини, яка виникає внаслідок тертя або будь-якого поверхневого дефекту. Літературні дослідження свідчать про наявність кілець у момент зародження втомної тріщини [43, 88, 90].

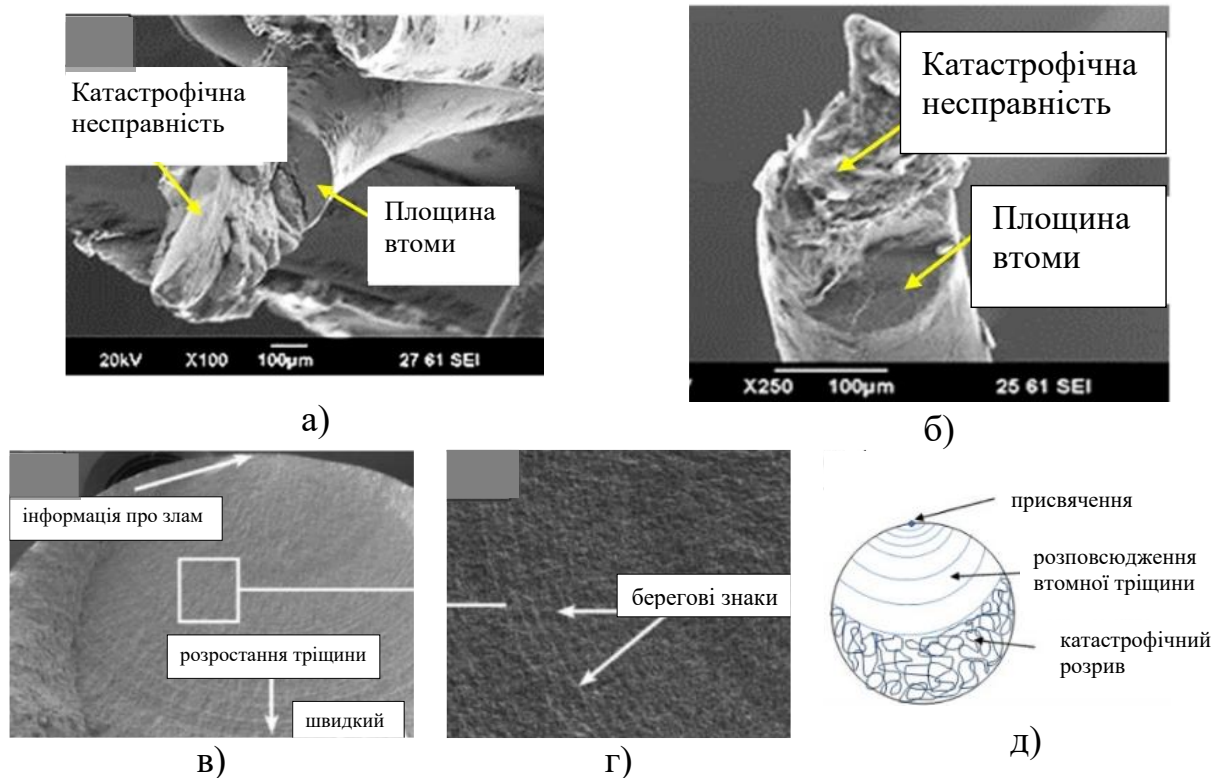


Рис. 4.10. Втоме руйнування матеріалів сталевих кордів та бортового дроту, які використовуються для армування шин: а) і б) - втоме руйнування нитки металокорду, витягнутої з шин, що вийшли з ладу; в) і г) - мітки берега в точці зародження втомної тріщини; д) - схематична діаграма поверхні втомного руйнування [43]

Ці кільця також відомі як сліди розповсюдження тріщини, як показано на рис. 4.10 в, г. Це схематично показано на рис. 4.10 д. Нерівна ділянка, що примикає до початку зони утворення тріщин, є результатом катастрофічного

руйнування, коли частина поперечного перерізу, що залишилася, більше не здатна нести навантаження під час циклічної напруги [43].

Узагальнено [88] дослідження втоми гуми з трьох аспектів: методи дослідження втоми гуми, фактори, що впливають на довговічність втоми та перетин тріщини. Детально викладено вплив механічних умов, складу гуми та факторів зовнішнього середовища на втому гуми. Розділ втомного розтріскування гуми викладено з макроскопічної та мікроскопічної точок зору. Існує декілька методів дослідження довговічності гумових матеріалів у втомі, а саме метод зародження тріщини та метод поширення тріщини. Відомі [89] результати випробувань сталевих кордів на міцність, що використовується в шинах будівельної техніки. Вплив факторів які пов'язані конструкцією, якістю виготовлення, а також способом згинання під час кожного робочого циклу наведено в роботі [90]. Під час лабораторних випробувань порівнювали довговічність металокордів в умовах односпрямованого та двонаправленого згинання на спеціально сконструйованій інноваційній машині для випробування металокордів на втому, під час випробування на втомний ресурс помітна фундаментальна різниця в кількості циклів, що призводять до руйнування. Результати наведено в роботі [94].

4.2 Експериментальна оцінка метало-кордної компоненти з отриманим пошкодженням при окремих термінах та видах експлуатаційних пошкоджень

Метод прогнозування втомленого ресурсу матеріалів пневматичних шин скорочує цикл розробки та знижує вартість пневматичних шин, шляхом підвищення ресурсних показників, що є важливим для зменшення використання сировинних матеріалів і зменшення забруднення навколишнього середовища. Моделювання надає суттєве значення для вдосконалення параметрів конструкції шини та зменшення дефектів під час виробництва шин. Механічні властивості еластичних матеріалів з різних

компонентів шини досліджуються за допомогою експериментів із циклічним навантаженням і розвантаженням при різних швидкостях та деформації. Деформацію та напругу гумових компонентів і посилення корду під час етапу виробництва можна отримати за допомогою моделювання, що надає дані для оцінки раціональності конструкції шини, так зокрема, зразками для випробування є відрізки дроту.

Методи відбору зразків вказуються в нормативно-технічній документації на дріт. Робоча довжина зразка дроту повинна бути не менше $(l_0 + 50)$ мм. Повна довжина зразка повинна включати ділянки для закріплення його в затискачах розривної машини.

Початкова розрахункова довжина зразка l_0 дроту діаметром менше 4 мм, а також дріт не круглого перетину товщиною менше 3 мм повинна бути 100 або 200 мм в залежності від вимог, передбачених у нормативно-технічній документації на металопродукцію. Для зразків діаметром не менше 4 мм, а також для зразків дроту не круглого перетину товщиною не менше 3,0 мм, початкова розрахункова довжина повинна бути $l_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ або $l_0 = 11,3 \sqrt{S_0}$, але не менше 25 мм. Допускається застосування зразків з початкової розрахунковою довжиною 100 або 200 мм.

Випробувальне обладнання та засоби вимірювань - за ДСТУ ISO 6892-1:2019 [68].

Перед випробуванням допускається проводити правку зразків, яка не повинна впливати на стан поверхні і форму перетину дроту. Початкову розрахункову довжину з похибкою до 1% обмежують на робочій довжині зразка кернами, рисками або іншими позначками. Початкову розрахункову довжину вимірюють з похибкою $\pm 0,1$ мм.

Початкову площа поперечного перерізу обчислюють за розмірами зразка. Круглий дріт діаметром не менше 3 мм або плоский дріт товщиною не менше 3 мм вимірюють з похибкою не більше $\pm 0,5\%$. При вимірі круглого дроту діаметром менше 3 мм і плоскою дроту товщиною менше 3 мм похибка вимірювання повинна бути не більше 1,0%. Дріт круглого перетину

вимірюють в двох взаємно перпендикулярних напрямках, за діаметр приймають середнє арифметичне цих вимірів. Допускається обчислення площі поперечного перерізу за номінальними розмірами, якщо це передбачено в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

Зразок слід закріплювати в затискачах випробувальної машини так, щоб крайні позначки, що обмежують розрахункову довжину, відходили від затискачів машини на відстані не менше двох діаметрів випробуваного зразка. Затискачі повинні забезпечувати відсутність прослизання зразка під час випробування.

Випробування дроту на розтягнення з визначенням меж пропорційності, пружності, плинності і тимчасового опору проводиться за методиками ДСТУ ISO 6892-1:2019 [68] з наступними доповненнями.

При визначенні меж пропорційності, пружності і плинності мала ступінь навантажування приймається 20 - 40 Н/мм² (2 - 4 кгс/мм²). При визначенні межі текучості дозволяється ставити не навантаження за шкалою вимірювача сили, а залишкову деформацію - за шкалою тензометра, відповідно визначеної характеристики.

Відносне подовження дроту після розриву визначають відповідно до ДСТУ ISO 6892-1:2019 [68] . Кінцеву розрахункову довжину зразка вимірюють з похибкою $\pm 0,1$ мм. Для вказівки початкової розрахункової довжини, на якій визначалося подовження, до позначення відносного подовження додають цифровий індекс. Наприклад: d_{100} або d_{200} .

Для дроту діаметром 1,0 мм і менше, залежно від вимог нормативно-технічної документації, допускаються наступні методи визначення подовження. По відстані між захватами розривної машини. Приміром необхідно докласти початкове навантаження $P_0 = 10$ % від середнього розривного зусилля. Вимірюють з похибкою $\pm 1,0$ мм. Без руйнування зразка при навантаженні, що становить 97% і 98% від розривного зусилля - для визначення залишкового подовження.

Порядок визначення подовження: попередньо за двома - трьома зразками визначають середнє розривне зусилля дроту. До випробуваному зразку прикладають початкове навантаження ($P_0 = 10\%$) від середнього розривного зусилля і навішують тензор або лінійку.

Зразок навантажують до 97% від середнього розривного зусилля і відзначають загальне подовження. Потім зразок розвантажують до початкової навантаження P_0 і знімають показання залишкового подовження. Операції навантаження і розвантаження повторюють для навантаження, що становить 98% від середнього розривного зусилля, після чого зразок доводять до руйнування і відзначають розривне зусилля даного зразка. Якщо виявиться, що подовження визначено при навантаженні нижче 97% отриманого розривного зусилля, випробування повторюють. Визначення відносного звуження після розриву круглої дроту проводиться відповідно до ДСТУ ISO 6892-1:2019 [68]. Відносне звуження визначається тільки на дроті, що має діаметр 2 мм і більше, якщо немає інших вказівок у відповідній нормативно-технічній документації на дріт.

Для визначення розриву з вузлом зразок зав'язують простим вузлом і злегка зтягують. Остаточне зтягування проводиться додаванням навантаження.

Було запропоновано проводити випробування на розривній машині Р-5 (рис. 4.11). Складність використання цієї машини полягає в тому, що при затисканні в рифлених губах машини може змінитися площа поперечного перерізу проволочи. Як наслідок, існує висока ймовірність утворення шийки саме в місці затиску і отримання неточних даних, зокрема величини тимчасового опору розриву.

Для того щоб мінімізувати деформацію сталевих дроту в затискачах розривної машини використовувалися пластини з алюмінієвого сплаву товщиною 2 мм. Так як твердість сталевих дроту перевищує твердість дюралюмінієвих пластин, деформація при кріпленні дроту відбувається

головним чином в пластинах. Це дозволяє отримувати при розтягуванні шийку в межах розрахункової довжини дроту.



Рис. 4.11 Закріплення дроту в затискачах розривної машини. Альтернативна пропозиція для визначення відносного подовження дроту.

Згідно з методикою випробування на розтягнення по ДСТУ ISO 6892-1:2019 [68] відносне подовження зразка вимірюється при навантаженні 97-98% від розривного навантаження, тобто до того моменту, як почала утворюватися шийка.

Так як у багатьох зразків розбіг межі міцності може перевищувати 5% то далеко не у всіх випадках заміряти подовження вийде до початку утворення шийки. Тому було запропоновано розрахувати подовження зразка з вирахуванням подовження шийки при з'єднанні двох частин зразка після його розриву. Поправку довжини можна приблизно вирахувати через об'єм шийки, яку в самому простому наближенні можна розглядати як фігуру, що складається з двох рівних усічених конусів. Таким чином поправку довжини можна розрахувати порівнюючи об'єм шийки і об'єм дроту в місці шийки до розтягування:

Об'єм двох усічених конусів

$$V = \frac{(r - r_{\text{ш}})^2 \pi l_{\text{ш}}}{3}. \quad (4.1)$$

Об'єм циліндричної частини дроту до утворення шийки

$$V = \pi (l_{\text{ш}} - \Delta l) r^2, \quad (4.2)$$

$$\pi (l_{\text{ш}} - \Delta l) r^2 = \frac{(r - r_{\text{ш}})^2 \pi l_{\text{ш}}}{3}, \quad (4.3)$$

$$\Delta l = \pi l_{\text{ш}} \frac{r^2 - \frac{(r - r_{\text{ш}})^2}{3}}{\pi r^2}. \quad (4.4)$$

Для більш повного дослідження зразків дроту було запропоновано крім випробувань на перегин провести випробування на розрив з вузлом. Результати випробувань занесені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Результати випробувань

№ зразка	діаметр, мм	межа міцності при розтягуванні σ_B МПа		Відносне подовження, %		Розривне зусилля, кН
		нормативне значення ГОСТ3282-74	вимірне значення	нормативне значення по ГОСТ3282-74	вимірне значення	
1	2	590-1180	223	15	24	0,7
2			216		26	0,68
3			220		24	0,69
4	3	540-1080	297	20	25	2,1
5			340		23	2,4
6			340		24	2,4
Розрив з вузлом						
7	2	0,5 *(590-1180)	137	Не менш 50%	-	0,43
8	3	0,5 *(540-1080)	269	Не менш 50%	-	1,9

Суть методу випробування на навивання полягає в навиванні декількох витків дроту у вигляді щільно навитої спіралі навколо оправлення діаметром, встановленим в нормативно-технічній документації на дріт. При необхідності випробування включає певну послідовність навивання, розвивання, повторного навивання.

Якщо в нормативно-технічній документації на дріт не обмовляється діаметр оправки, то навивання має проводитися:

- для дроту діаметром менше 4,0 мм - на оправлення діаметром, рівним діаметру випробуваного зразка;
- для дроту діаметром від 4,0 мм до 6,0 мм - на оправлення діаметром, рівним подвійному діаметру випробуваного зразка;
- для дроту діаметром понад 6,0 мм - на оправлення діаметром, рівним потрібного діаметру випробуваного зразка.

Таким чином, для навивання дроту діаметром 2 і 3 мм будуть використовуватися сталеві стрижні того ж діаметру.

Обладнання повинно забезпечувати навивання дроту навколо оправлення з щільним приляганням витків один до одного. Як оправлення може застосовуватися відрізок випробуваної дроту за умови, що її діаметр відповідає необхідному діаметру оправлення і має достатню жорсткість. Випробування повинні проводитися при температурі навколишнього середовища від 10° до 35° С. Випробування проводяться при температурі $(23 \pm 5)^\circ \text{C}$.

Метод відбору зразків для випробування встановлюється нормативно-технічною документацією на дріт. Довжина зразка встановлюється в залежності від діаметра оправки і числа витків. Перед випробуванням допускається правка зразків за допомогою правильних машин, молотка, а також вручну, при цьому поверхня зразків не повинна бути пошкоджена, поперечний переріз не повинно бути змінено. Дріт повинен навиватися без перекручування щільною спіраллю навколо оправлення, що обертається з постійною швидкістю не більше 1 c^{-1} так, щоб сусідні витки стикалися. Швидкість навивання, при необхідності, може бути змінена, щоб що виділяється при випробуванні тепло не впливало на результати випробування. Число витків зразка при проведенні випробування вказують в нормативно-технічній документації на дріт, при відсутності такої вказівки число витків повинно бути не менше 5. Для більш щільної навивки допускається до зразка

дроту прикладати розтяжне напруження, величина якого не повинна перевищувати 5% від номінального значення тимчасового опору.

Там, де необхідно розвивання або розвивання з подальшим навиванням, швидкість випробування повинна бути досить низькою, але не більше 1 с., щоб підвищення температури не впливало на результати випробування. В кінці випробування на розвивання не менше ніж один виток повинен залишатися на оправці.

Вимоги до оцінки результатів випробування на навивання вказуються у відповідних стандартах і іншій нормативно-технічній документації на дріт. Якщо ці вимоги не наведено, то відсутність на поверхні тріщин, видимих без застосування збільшувальних приладів, вважається достатньою підставою для того, щоб вважати зразок витримав випробування. Дріт товщиною або діаметром менше 0,5 мм повинна контролюватися з застосуванням збільшення до 10, якщо це обумовлено в нормативно-технічній документації на дріт.

Було запропоновано використовувати для навивки токарний верстат ТВ-320. Для цього в верстаті закріплюється спеціально виточений стрижень заданого діаметра з отвором для кріплення поволоки (рис. 4.12). Через отвір в супорті подається дріт і навивається із заданою частотою але не більшою ніж 1 с⁻¹, згідно вимог відповідного стандарту.



Рис. 4.12 Пристосування для навивання дроту

Випробування показали, що при навиванні дроту на стрижень рівного їй діаметра поверхневі дефекти не утворюються. Відсутність нових тріщин на поверхні дроту при навиванні свідчить про те, що дріт в достатній мірі здатен піддаватися пластичній деформації.

Висновки з випробувань:

1. Дріт володіє достатньою в'язкістю, щоб навиватися на стрижень рівного їй перетину. Це ймовірно є наслідком низького вмісту вуглецю або термічної обробки дроту.

2. Дріт перетином 2 мм в стані поставки має більше поверхневих дефектів.

Метод випробування на перегин визначає здатність дроту з металів і сплавів різної форми поперечного перерізу діаметром або характерним розміром від 0,3 до 10,0 мм включно піддаватися пластичній деформації при перегибах.

Випробування полягає в багаторазовому перегині на 90° від початкового положення в одну і іншу сторону зразка, закріпленого з одного кінця в затискачах приладу, через циліндричний валик заданого радіуса.

Позначення параметрів показані на рис. 4.13, позначення розмірів і визначення наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Отримані експериментальні дані випробувань дроту

Позначення розмірів	Визначення	Одиниці виміру
d	Діаметр круглого дроту	мм
δ	Мінімальна товщина (характерний розмір) дроту фасонного перетину, яка може бути закріплена між паралельними затискачами (рис. 6)	мм
r	Радіус циліндричного валка	мм

Продовження Табл. 4.3

a	Відстань від верхньої частини циліндричного валка до нижньої поверхні поводка	мм
d_q	Діаметр поводка	мм
b	Відстань від лінії, що з'єднує центри валків, до найближчої точки контакту губок з досліджуванним зразком	мм
N_b	Число перегинів	-

Випробувальна машина повинна бути сконструйована таким чином, щоб були дотримані параметри, зазначені на рис. 4.11, і розміри, наведені в таблиці 4.4. Циліндричні валики і затискні губки повинні мати твердість, достатню для забезпечення жорсткості і стійкості до абразивного зносу (не менше 62 HRC₃). Параметр шорсткості робочої поверхні валиків і губок R_a повинен бути не більше 1,25 мкм згідно ГОСТ 9378-93 (ІСО 2632-1-85, ІСО 2632-2-85) [93].

Радіус циліндричного валика r і граничні відхилення його дійсного значення від номінального повинні відповідати наведеним в таблиці 4.4 .

Таблиця 4.4

Отримані результати експериментальних вимірювань

Номінальний діаметр дроту $d(\delta)$	Радіус циліндричного валка r		Відстань між верхньою частиною валків і нижньою поверхнею отвору поводка a	Діаметр отвору поводка d_q
	Номінальний	Допустимі відхилення		
От 0,3 до 0,5 включ.	1,25	$\pm 0,05$	15	1,0; 2,0
Св. 0,5 « 0,7 «	1,75	$\pm 0,05$	15	1,0; 2,0
« 0,7 « 1,0 «	2,5	$\pm 0,1$	15	1,5; 2,0

Продовження Таб. 4.4

Номінальний діаметр дроту $d(\delta)$	Радіус циліндричного валка r		Відстань між верхньою частиною валків і нижньою поверхнею отвору поводка a	Діаметр отвору поводка d_q
	Номінальний	Допустимі відхилення		
« 1,0 « 1,5 «	3,75	$\pm 0,1$	20	2,0
« 1,5 « 2,0 «	5	$\pm 0,1$	20	2,0; 2,5
« 2,0 « 3,0 «	7,5	$\pm 0,1$	25	2,5; 3,0; 3,5
« 3,0 « 4,0 «	10	$\pm 0,1$	35	3,5; 4,5
« 4,0 « 6,0 «	15	$\pm 0,1$	50	4,5; 6,0; 7,0
« 6,0 « 8,0 «	20	$\pm 0,1$	75	7,0; 8,0; 9,0
« 8,0 « 10,0 «	25	$\pm 0,1$	100	9,0; 10,0; 11,0

1. Отвори ободу меншого діаметра можуть бути використані для дроту меншого номінального діаметра d і отвори ободу більшого діаметра - для дроту великих номінальних діаметрів. Для діаметрів d повинен бути обраний відповідний розмір отвору ободу з тим, щоб забезпечити вільний рух дроту.

2. При випробуванні на перегин фасонного дроту діаметр отвору ободу визначають по діаметру описаного кола поперечного перерізу фасонної дроту.

3. Застосування валиків іншого діаметра повинно бути обумовлено в нормативно-технічній документації на дріт, при цьому розміри a і d_q встановлюють залежно від діаметра дроту відповідно до наведених в таблиці 4.4.

Циліндричні валики і затискні губки встановлюють так, щоб вісь зразка знаходилася в одній площині з віссю обертання згинального важеля. Осі циліндричних валиків повинні бути перпендикулярні площині перегину, паралельні один одному і повинні знаходитися в одній площині. Затискні губки лещат повинні злегка видаватися за поверхні циліндричних валиків на відстань не більше 0,1 мм, виміряне як зазор між випробуваним зразком і

кожним з циліндричних валиків на лінії, що з'єднує центри їх кіл. Верхній край затискних губок повинен бути нижче центрів циліндричних валиків на 1,5 мм для валиків радіусом до 2,5 мм включно і на 3,0 мм для валиків, що мають великий радіус (якщо $r < 2,5$ мм; $b = 1,5$ мм; $r > 2,5$ мм; $b = 3,0$ мм). Допускається відстань від верхнього краю затискних губок до центрів циліндричних валиків: 1,5 мм для валиків радіусом до 1,75 мм включно і 0,5 мм для валиків, що мають великий радіус. Відстань від верхньої твірної циліндричної поверхні валиків до осі обертання важеля повинно бути $(1,0 \pm 0,2)$ мм. Кут відхилення важеля від початкового положення вправо і вліво повинен складати $(90 \pm 3)^\circ$.

Відрізок дроту, який використовується в якості випробуваного зразка, повинен бути досить прямим, при цьому допускаються невеликі викривлення в площині, в якій будуть здійснені згини при випробуванні.. Дріт з окремими гострими вигинами не слід піддавати виправленню й використовувати в якості випробуваного зразка.

Випробування слід проводити при температурі навколишнього середовища від 10° до 35° С. Арбітражні випробування проводять при температурі $(23 \pm 5)^\circ$ С. Радіус валика r , відстань a , діаметр отвору повідця d_q вибирають в залежності від діаметра дроту відповідно до вимог таблиці 4.4. Випробуваний зразок вставляють при вертикальному розташуванні згинального важеля в один з отворів повідця, як показано на рис. 4.13. Нижній кінець випробуваного зразка закріплюють між затискними губками так, щоб випробуваний зразок був перпендикулярним до осей циліндричних валиків. Довжина затисненого кінця зразка повинна бути не менше висоти губок. Провертання зразка, а також поздовжнє переміщення його в губах при випробуванні не допускаються. Зразки дроту фасонного перетину (прямокутного, зетообразного, іксообразного, клиновидного, трапецієподібного профілю) повинні бути розташовані так, щоб великий розмір був паралельний або майже паралельний затискним губкам, як показано на рис. 4.13.

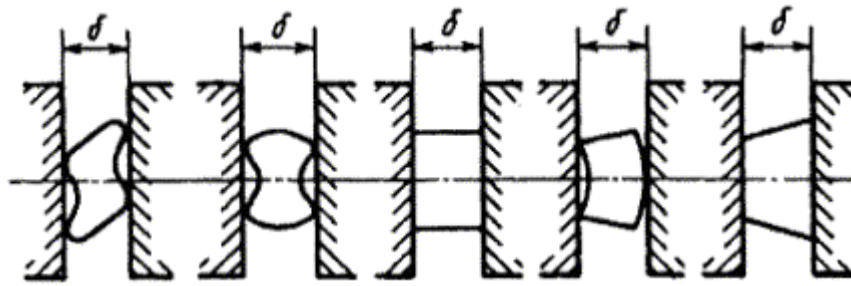


Рис. 4.13 Характерний розмір фасонного дроту

Для інших профілів фасонної дроту спосіб затиску повинен бути зазначений в нормативно-технічній документації на дріт.

Випробуваний зразок перегинають на 90° послідовно в протилежних напрямках. Першим перегином вважається загин вільного кінця випробуваного зразка на 90° і повернення його у вихідне положення. Наступний перегин проводять в протилежному напрямку, як показано на рис. 4.14. Випробування не повинно перериватися між послідовними згинами.

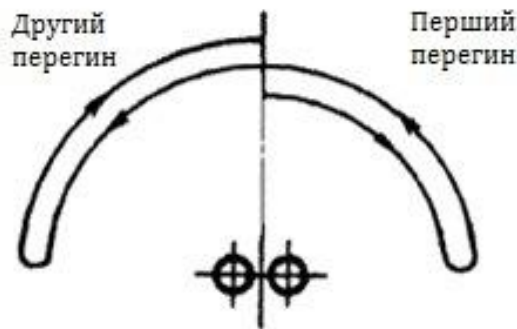


Рис. 4.14 Схема підрахунку перегинів

Згини слід проводити з рівномірною швидкістю, що не перевищує одного згину в секунду. Швидкість перегину при необхідності може бути знижена, щоб тепло що виділяється при випробуванні не впливало на результати випробувань. Для забезпечення протягом випробування постійного контакту між випробуваним зразком і циліндричними валиками до зразка може бути прикладений один з видів попереднього натягу. Це може бути розтяжне зусилля значенням не більше 2% номінального розривного зусилля або іншим значенням, встановленим у відповідних стандартах або

нормативно-технічної документації на дріт. Випробування проводять до заданого числа перегинів або до появи розтріскування, видимого неозброєним оком, або до повного руйнування зразка відповідно до вимог конкретних стандартів або нормативно-технічної документації на дріт. У випробувальних приладах без рахункового пристрою або з рахунковим пристроєм, що фіксує крайні положення важеля, рахунок проводять наступним чином:

першим перегином вважається загин зразка вправо або вліво на 90° ;

другим - загин зразка на 180° в протилежну сторону;

третім - загин на 180° в бік, протилежний попередньому перегину і т.д.

Перегин, під час якого відбувається руйнування випробуваного зразка, не повинен бути зарахований до числа згинів N_b .

Згідно з таблицею 7 для діаметра дроту 2 мм слід вибирати радіус валка 5 мм, для дроту діаметром 3 мм – 7,5 мм.

Для випробувань були вибрані затискачі, що вказані на рис. 4.15.



Рис. 4.15 Затискачі з циліндричними валками для випробувань дроту на перегин

Особливу увагу слід звернути на забезпечення мінімального зазору між валками і дротом при затиску. Це необхідно для того, щоб дріт не перетискався між валками і не деформувався в перерізі. Інакше руйнування відбудеться в місці затиску поволоки валками, і при значно меншій кількості перегинів. З

іншого боку цей зазор не повинен бути занадто великим, щоб не відбувалися вигини дроту між затискними губками і валками.

В роботі було запропоновано для забезпечення точності і швидкості рухів використовувати маніпулятор з паралельною кінематикою трапецієвидної конструкції (рис. 4.16, а), що так само дозволило автоматично підраховувати число згинів і уникнути помилок в підрахунку.

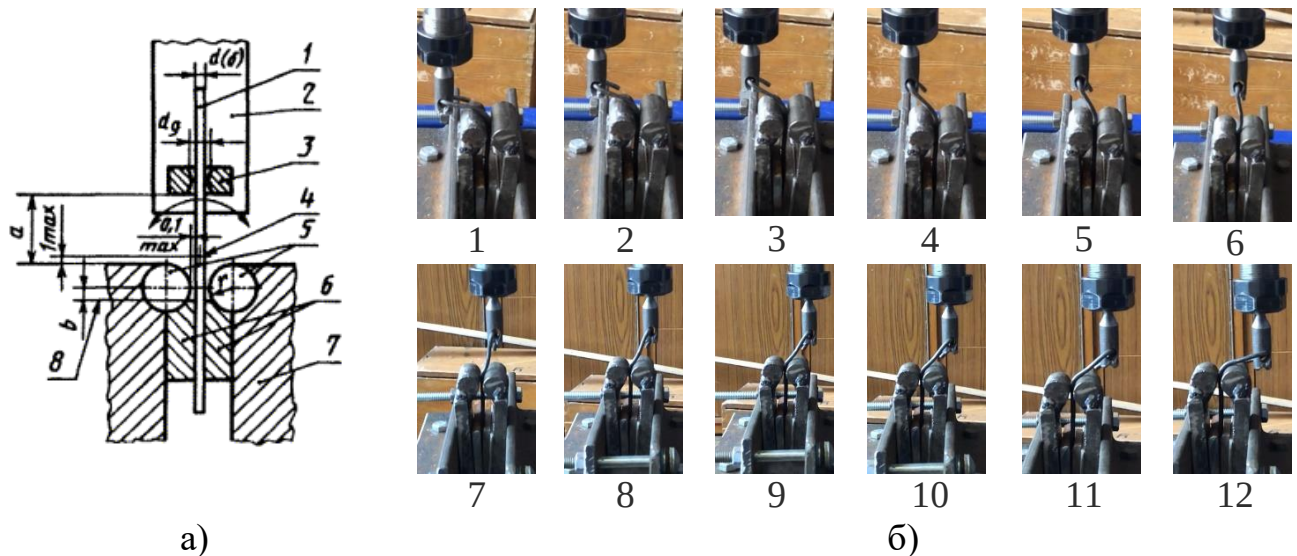


Рис. 4.16 Кріплення дроту для випробування на перегин:

1 – досліджуваний зразок; 2 – важіль перегику; 3 – поводок; 4 – вісь обертання важеля перегику; 5 – циліндричні валки; 6 – затискні губки; 7 – тиски; 8 – найближча точка контакту губок з досліджуваним зразком; б) (1,2,3,4,5,6) – хід захвату за годинниковою стрілкою; (7,8,9,10,11,12) – хід захвату проти годинникової стрілки.

Виконання операцій на багатокоординатному маніпуляторі відбувалися за рахунок програми. Для порівняння результатів також були проведені дослідження перегинів дроту вручну. Оскільки вручну складно досягти перегику з точністю $90 \pm 3^\circ$, то важливою вимогою було здійснювати перегин не менш ніж на 90° . Результати випробувань записані в таблицю 4.5.



Рис 4.17 Зруйновані при перегині зразки

Таблиця 4.5

Результати випробувань

Проволока 2 мм		
$r = 5$	Кількість гибів	
№	На станку	вручну
1	25	27
2	28	25
3	27	29
середнє	26.67	27
Проволока 3 мм		
$r = 7.5$	Кількість гибів	
№	На станку	вручну
1	22	21
2	20	25
3	24	19
середнє	22	21.67

Висновки з випробувань на перегин:

1. Результати випробувань на перегин майже не відрізняються при використанні верстата і при ручному перегині. Отже, можна зробити висновок, що перегин більше 90° на валику згинає дріт далі від області основних деформацій, так як радіус валка значно більше радіуса самого дроту.

2. Результати випробувань на перегин показали, що дріт не відповідає вимогам ГОСТ 1579-93 Дріт. Метод випробування на перегинання (ІСО 7801-84) [98].

Випробування на розтяг показали дуже низьку межу міцності, виникла необхідність проведення додаткових металографічних випробувань.

Мікроаналіз дозволяє визначити величину і форму самих дрібних зерен, якість термічної обробки, а також виявити дрібні дефекти в металі (волосянні тріщини, неметалеві включення). Для мікроаналізу застосовується мікрошліф металу і металографічний мікроскоп.

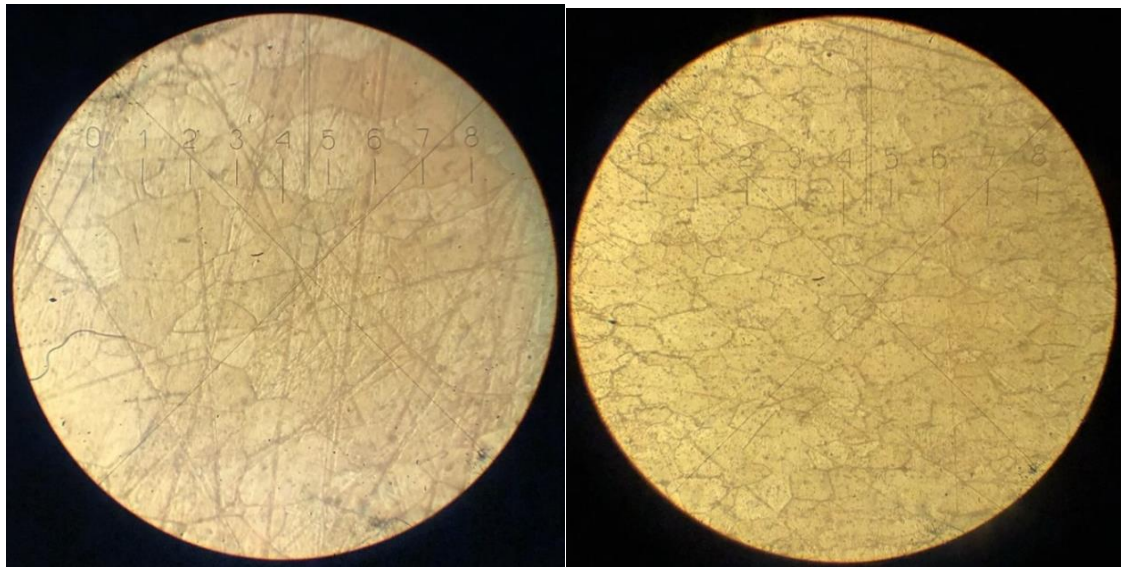
Таким чином, випробування на розтяг показали дуже низьку межу міцності, виникла необхідність проведення додаткових металографічних випробувань.

Мікроаналіз дозволяє визначити величину і форму самих дрібних зерен, якість термічної обробки, а також виявити дрібні дефекти в металі (волосянні тріщини, неметалеві включення). Для мікроаналізу застосовується мікрошліф металу і металографічний мікроскоп.

Для виявлення мікроструктури приготувану поверхню піддають травленню. Для травлення застосовують розчини кислот, лугів, солей. Травлення здійснюють зануренням зразка у реактив або нанесенням реактиву на полірованій поверхні зразка за допомогою ватного тампона. Найбільш поширеними реактивами для травлення вуглецевих, низько- і середньолегованих сталей, чавуну, а також виявлення структури цементованої і азотованої сталі є 2 - 4%-ний спиртовий розчин азотної кислоти або 4% - ний спиртовий розчин пікринової кислоти.

Тривалість травлення залежить від складу сплаву, його структури, але зазвичай достатня витримка в кілька секунд. Після травлення мікрошліф промивають водою, протирають ваткою змоченою в спирті, і просушують фільтрування папером.

Крім розглянутих методів травлення, які застосовуються дуже широко, в деяких випадках використовують інші (наприклад, метод окислення, метод вибіркового випаровування речовини при нагріванні в вакуумі).



а)

б)

Рис 4.18 Мікрошліф не деформованого дроту розрізаного уздовж (а); мікрошліф деформованого дроту в місці утворення шийки при розриві (б)

Висновки з металографічних випробувань:

1. Аналіз мікроструктури дроту показує низький вміст вуглецю, так як основна фаза - ферит.

2. При порівнянні фотографій мікрошліфа очевидно, що форма зерна фериту практично не деформована до розтягування. А в місці шийки видно деформації зерен уздовж прикладеного навантаження. Має місце витяжка зерна при пластичній деформації. Оскільки дріт виготовляється методом пластичної деформації, зокрема волочінням, можна зробити висновок, що сталася рекристалізація, ймовірно в процесі термічної обробки дроту.

Поперечний переріз експериментальних зразків з деформаціями в макроструктурі наведено в Додатку К.

4.3 Термомеханічні впливи та втомна міцність матеріалів в об'ємах матеріалу протектору

В дослідженні [88] механізму втомного пошкодження гумових матеріалів шин пропонується використання експериментальних методів утоми

та створення платформи для візуального аналізу втоми та тестування зі змінною температурою до експериментальних досліджень втоми та теоретичного моделювання. В роботі визначення гумових матеріалів шин прогнозується за допомогою технології чисельного моделювання, утворюючи набір засобів оцінки втоми гуми.

Існують технічні пропозиції на рівні винаходів [89], де запропоновано змінювати хімічний склад із застосуванням втомного старіння і корозії наведено в таблиці 4.6. Спосіб оцінки деградації матеріалу запропоновано автором в роботі [92]. Дані по властивостях гуми наповнювального шнура свідчать про те, що використання підсилючої фенолформальдегідної смоли з вмістом летючих речовин від 0,1 до 1,0 % температурою краплепадиння в межах 90-120⁰С у кількості 1,0-25,0 мас.ч. на 100 мас.ч. каучуку дозволяє досягти високого рівня твердості й втомної витривалості. Ці характеристики є надзвичайно важливими для наповнювального шнура як складової частини борту шини. При цьому в залежності від конструкції шини (нашарування, наявність металокорд-ного брекера або металокордного каркаса і брекера) твердість гуми наповнювального шнура повинна бути в різні в межах 75-95 умовних од. по Шору.

Експериментальні результати випробувань [95] впливу термомеханічних зв'язків, що виникають як у натуральному вулканізованому каучуку, так і в каучуку з самовідновлюваним поліуретаном, піддавалися розтягуванню при різних швидкостях деформації. Механічні характеристики реєструвалися випробувальною машиною наведено на рис.4.19 зміни температури зразка, що супроводжували процес деформації, вимірювалися інфрачервоною камерою. Представлено механічну та термічну реакцію, пов'язану з процесом деформації натурального каучуку та натурального каучуку з 30% вмістом самовідновлюваного поліуретану.

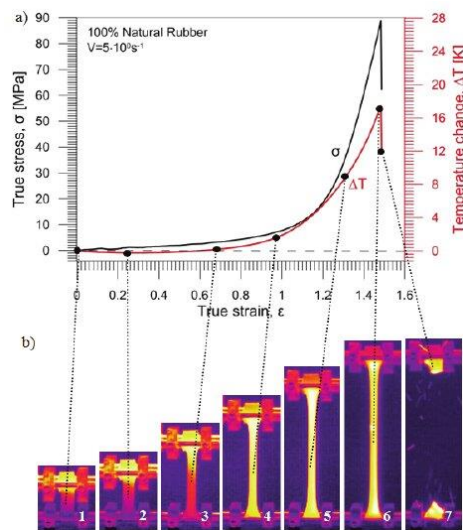


Рис. 4.19. Результати випробувань впливу термомеханічних зв'язків матеріалу натурального вулканізованого каучуку і в каучуку з самовідновлюваним поліуретаном [95]

Дані, отримані в роботі [95], отримані за допомогою цифрової кореляції зображень та інфрачервоної термографії, для вивчення термомеханічної поведінки матеріалів. Описано експериментальну процедуру для визначення джерел механічної енергії та тепла, залучених локально до гетерогенного випробування на розтяг. Застосовано взаємодоповнюючі методи візуалізації, що забезпечує поля зміщення в площині, інфрачервона термографія контролює розподіл температури на поверхні зразка. Методи кількісного зображення використано для характеристики та ідентифікації поведінки матеріалів та інженерних конструкцій. Комбіноване використання дозволило отримати енергетичний баланс, для визначення джерела тепла, яке супроводжує процес деформації, та є критичним.

Застосовано експериментальну методику оцінки характеристики нових термопластичних еластомерів [97], які складаються з поліпропілену та зношеної гуми.

Таблиця 4.6

Основний хімічний склад зразків металокорду [92]

Найменування показника	Комбінація каучуків: СКИ-3, СКСМ-30 АРКМ-15, агенти що вулканізують, антискорчинг, активатор вулканізації, пластифікатори, антиоксидант, інертні наповнювачі, активні І напіваактивні наповнювачі, підсилюючу алкилрезорцине-поксидну смолу АРЕ-1-4 і отверджувач - модифікатор РУ в співвідношеннях 15 мас.ч. І 1,5 мас.ч. відповідно на 100 мас. ч. каучуку.						
	Алкилрезорцин-епоксидна смола АРЕ-1-4	фенолформальдегід на смола СФШ-1 (СФФ-1) у кількості 3,0 мас.ч. на 100 мас.ч. каучуку	фенолформальдегід на смола СФШ-1 (СФФ-1) у кількості 5,0 мас.ч. на 100 мас.ч. каучуку.	фенолформальдегід на смола СФШ-1 (СФФ-1) у кількості 10,0 мас.ч. на 100 мас.ч. каучуку	фенолформальдегід на смола СФШ-1 (СФФ-1) у кількості 15,0 мас.ч. на 100 мас.ч. каучуку.	фенолформальдегід на смола СФШ-1 (СФФ-1) у кількості 20,0 мас.ч. на 100 мас.ч. каучуку	фенолформальдегід на смола СФШ-1 (СФФ-1) у кількості 25,0 мас.ч. на 100 мас.ч. каучуку.
Твердість по Шору, умовних од. після теплового старіння 100°C	90	75	80	89	93	95	95
24 годин	92	76	81	90	94	98	97
48 годин	94	77	82	91	94	97	98
96 годин	96	77	83	91	94	98	99
Втомлювана витривіальність при багаторазовому розтягу 150%, тис. цикл.	22	12	14	30	35	35	34

Проведено випробування динамічного механічного аналізу, а також визначено модуль зберігання та коефіцієнт втрат як функцію температури.

В таблиці 4.7. [28] приведені основні характеристики кривих втоми та після старіння двох матеріалів, після штучного старіння 6 діб в термо-камері з температурою 80 °С. Наведено порівняння двох матеріалів гумо-кордних композицій для яких встановлено криві втоми при фіксованому рівні базових амплітуд еквівалентних напружень.

Таблиця 4.7

Характеристик кривих втоми до та після старіння

матеріал	параметри кривої втоми							
	1й матеріал				2й матеріал			
	m	S_e , Па	N_0	$\lg(N_0)$	m	S_e , Па	N_0	$\lg(N_0)$
у первісному стані	8	$6.4 \cdot 10^3$	$1.1 \cdot 10^8$	8,05	4	$1.16 \cdot 10^4$	$8.5 \cdot 10^5$	5,93
після штучного старіння 6 діб в термо-камері з температурою 80 °С	при фіксованому рівні базових амплітуд деформацій							
	8	$8.5 \cdot 10^3$	$2.0 \cdot 10^6$	6,32	4	$5.88 \cdot 10^4$	240	2,38
	при фіксованому рівні базових амплітуд еквівалентних напружень							
	8	$6.4 \cdot 10^3$	$1.9 \cdot 10^7$	7.28	4	$1.16 \cdot 10^4$	$1.6 \cdot 10^5$	5.2

При термічному старінні гумо-кордної композиції автомобільної пневматичної шини спостерігалася майже лінійна залежність механічних властивостей, за певний проміжок часу твердості за Шором (рис. 4.20). Орієнтовна середня швидкість втрати твердості складає 2,5 HD за годину. Так зразки, що витримувались при 80С⁰ втрачають за 5 годин термічного пошкодження 8 одиниць HD від початкового значення . Подібна тенденція спостерігається і для зразків , що витримувались при 100 °С і 120 °С . Що не суперечить попереднім даним авторів при термічному старінні [28].

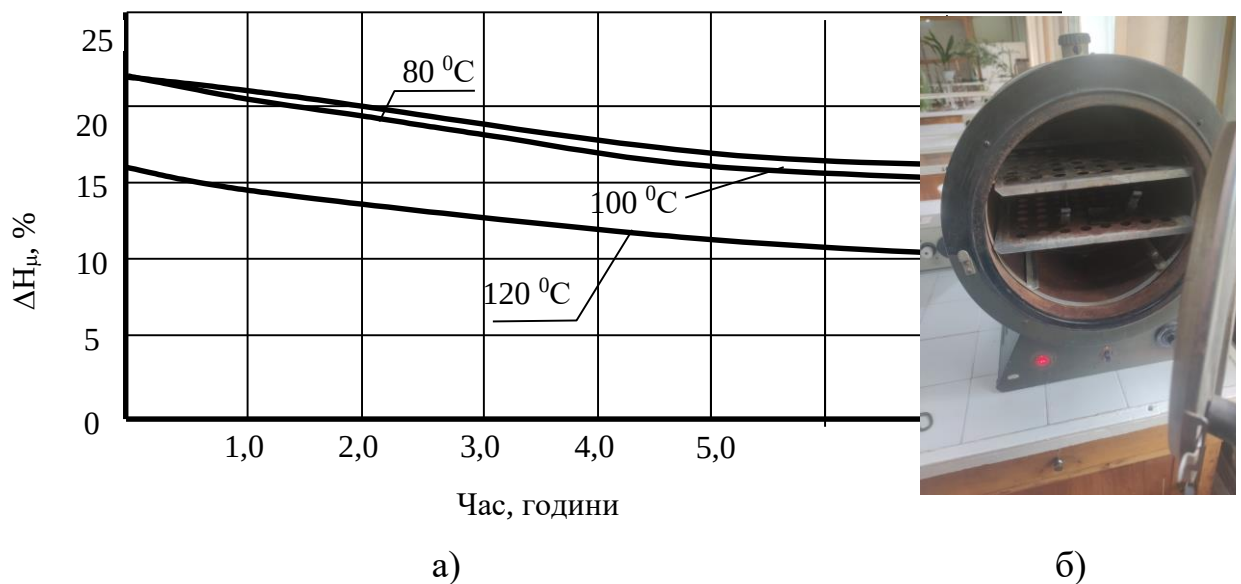


Рис. 4.20. Термоциклічні навантаження матеріалу пневматичної шини в залежності від часу а) - падіння твердості ;
б) – обладнання шафа сушильного ШС-3

Для трьох зразків при різній температурі дана залежність дозволяє встановити, що при термоциклічному навантаженні та зміні температури твердість падає, відбувається деградація механічних властивостей матеріалу, такі умови відповідають експлуатації шини. Це відповідає експериментальним підтвердженням, теоретичним викладкам та гіпотезам в роботах [28, 95].

4.4 Критичні умови експлуатації при отриманні гумо-кордної композиції в корозійно-активних середовищах

Вплив зовнішніх факторів призводить до концентрації напруги в металокорді через зменшення ефективної площі поперечного перерізу, і, отже, він стає слабким місцем для виникнення тріщин. У випадку композиційного продукту зі сталі та каучуку, такого як шина, корозія сталевих кордів є однією з поширених причин несправності в експлуатації [43]. На рис. 4.21. Принципова схема механізму корозії заліза при контакті з водою та киснем [43].

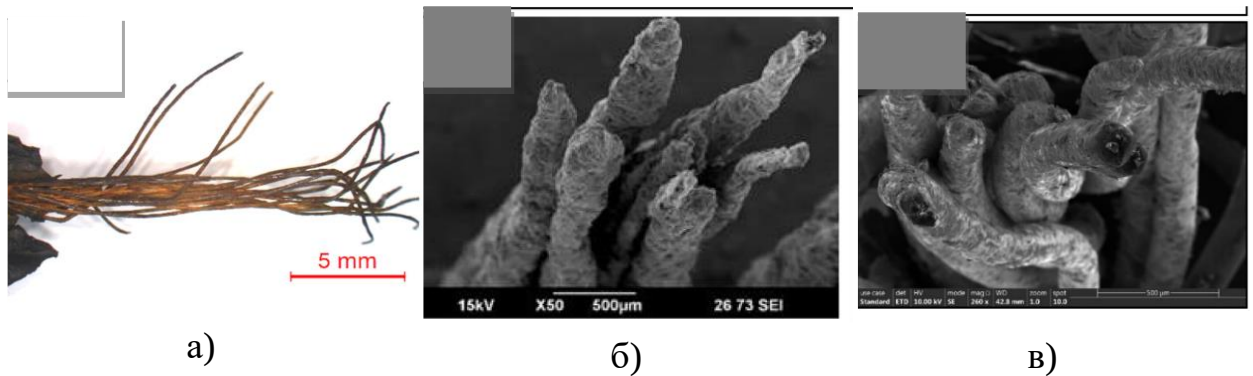


Рис. 4.21. Корозійна втома металокорду; а)принципова схема механізму корозії заліза при контакті з водою та киснем; а) - корозія на нитці металокорду поверненої шини; б) і в) - сталевий корд, витягнутий з шин, що вийшли з ладу, з корозійними тріщинами, ямками на поверхні та втратою матеріалу через корозію [43]

Протягом терміну служби пневматична шини стикається з порізами протектора, проникненням гострих предметів, сприяє просочуванню води через порізи/отвори, що призводить до корозії сталевих дротів в прилеглій зоні. Це стає вразливим місцем для розділення матеріалів. Міжфазна адгезія між металокордом і гумою негативно впливає через вологу та іржавіння. Крім того, це спричиняє корозію сталевих кордів ременя та шару кузова радіальної шини, що негативно впливає на міцність проводів. Ці ямки/місцева корозія різко зменшують термін служби дротів від втоми. Через втрату міцності сталеві троси виходять з ладу під будь-яким ударом. Це робить уражену ділянку ще більш слабкою, На рис 4.21 найбільш поширені типові корозійні руйнування сталевих кордів, витягнутих із шини TBR. Першопричина пов'язана з проникненням цвяха, який розірвав кілька шнурів різних шарів пояса, а також шар тіла. Однак це не призвело до миттєвої поломки шин. Корозія сталевих шнурів на ураженій ділянці виникла під час подальшої роботи до остаточної відмови. Явище корозії металокорду в шині є звичайним; однак основні причини пов'язані з порізами/проникненнями наведено у [43].

Вплив гідротермального середовища на старіння композитів із суцільно-сталевих радіальних шин [94]. Композитні зразки кондиціювали шляхом занурення в деіонізовану воду при 30, 60 і 90 °С. Визначавши водопоглинання, термічні та механічні властивості межа міцності, модуль пружності, подовження при розриві та міцність на міжфазний зсув, морфологічна структура, а також молекулярна реакція зшивання до та після старіння.

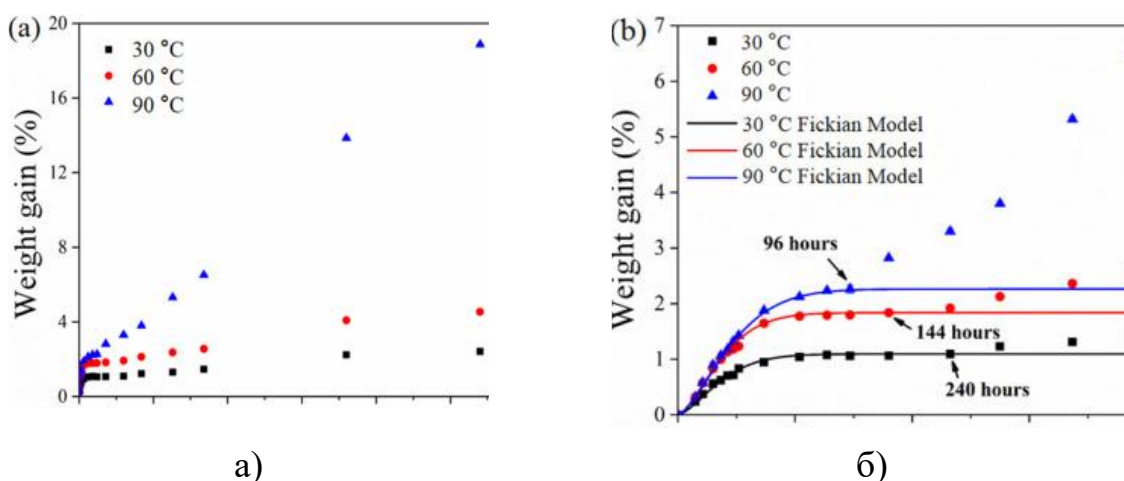


Рис. 4.22. Криві водопоглинання композитів ASRT при різних температурах $M t$ як функція: а) - часу та б) - квадратного кореня з часу занурення, поділеного на товщину [94]

Виявлено, що поведінка композитів відповідає закону Фікі на стадії I (0~10 днів при 30 °С, 0~6 днів при 60 °С, 0~4 днів при 90 °С), за допомогою чого вода дифундує в композити без будь-яких фізичних змін або хімічних реакцій. Підтверджено спостереженнями наведеними на рис. 4.22 а. Спостереження поверхонь водопоглинаючих зразків не показує тенденції до слабкості між сталевим дротом і гумовою матрицею. Однак експериментальні дані відхилилися від закону Фікі після етапу I; це супроводжувалося розвитком поганого інтерфейсу між волокном і матрицею, на що вказувало спостереження електронномікроскопічні з'єднання дефектів міжфазних несправностей (рис. 4.23 б, д, е). Внаслідок взаємного напруження, спричиненого різною здатністю сталевого дроту та гумової матриці до водопоглинання та набухання в композиті ASRT [94].

Мікротріщина в дефектній поверхні розділу призводить до подальшого поглинання води та зниження міцності міжфазного зв'язку. У міру старіння гідроліз каучуку в композиті ASRT призводить до гіршого інтерфейсу та розтріскування гумової матриці (рис. 4.23, а, б, в), що призводить до збільшення водопоглинання.

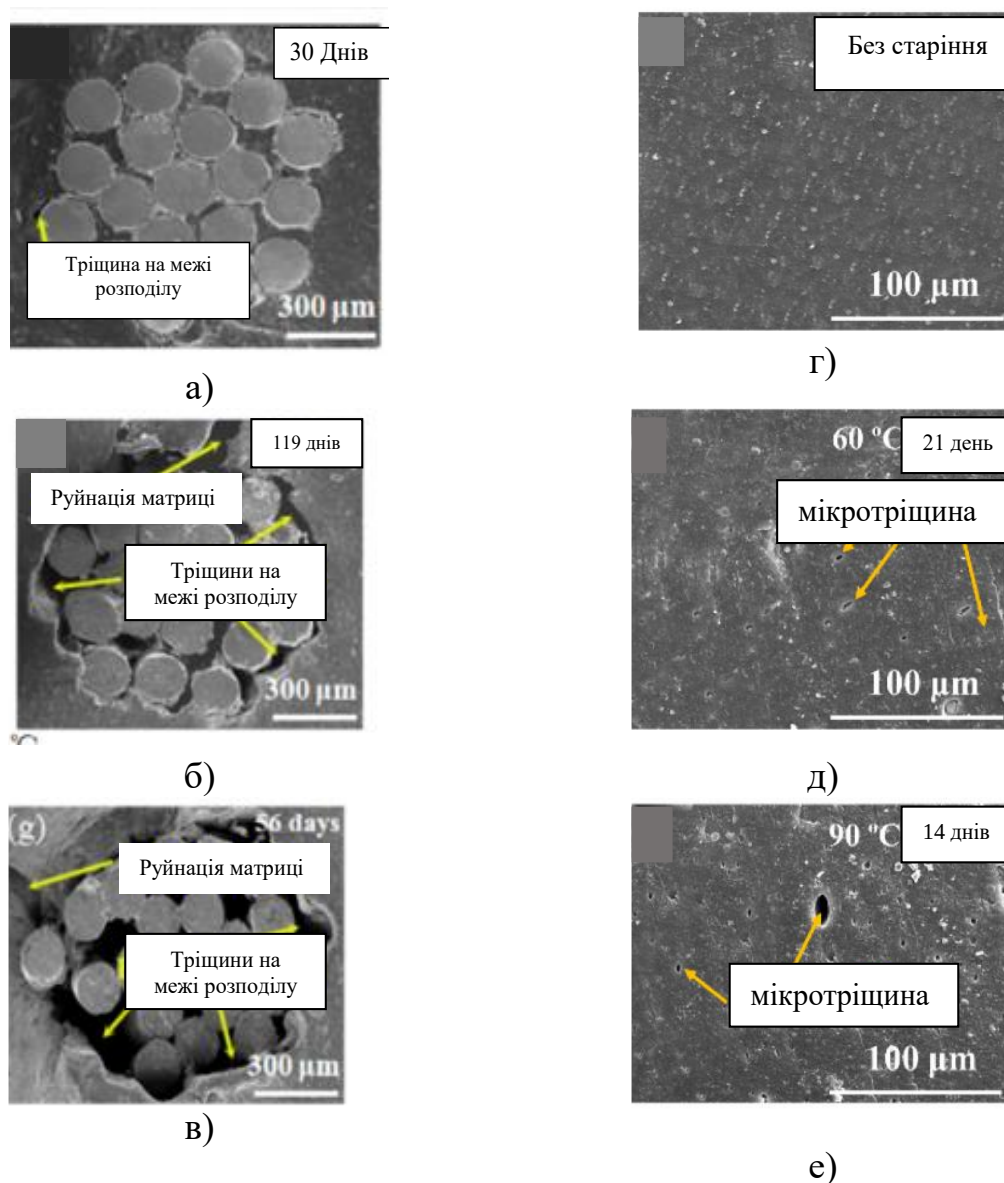


Рис. 4.23. Електронно мікроскопічні зображення композитних з'єднань сталь/гума після старіння; витримка а) – 30 днів при 30 °C; б) – витримка 119 днів при 60 °C; в) – витримка 56 днів при 90 °C; г, д, е)-зображення поверхонь зламу гумових композитів за різного часу старіння; г)– 60 °C без старіння; д) витримка 21 день при 60 °C; е) – (і) витримка 14 днів при 90 °C [94]

Проникненість рідин, газів та розповсюдження тріщин в середині новоутворених пошкоджень наряду залежить від структурної будови армуючих кордної частини та її цілісності. Попередні механічні дефекти повинні посилювати кинетику деградації механічних та структурно-фізичних властивостей композитів і каучуків з армуючими волокнами. Саме здатність утримати розповсюдження комплексу негативних зовнішніх факторів є основне призначення та критерій якості матеріалів шин та зокрема протектора, що знаходиться в надзвичайно важких динамічно навантажених умовах в контакт з дорогою.

Проводився експеримент для встановлення зв'язку втрати твердості за Шором протектора з варіацією температури і дії олійних сумішей різного складу як поверхнево активних речовин, що контактують з поверхнею протектора в дорожніх умов та при знаходженні автотранспорту на транспортних підприємствах. Зразки вирізані з протектора та різної частин бокової частини пневматичної шини піддавали термічному навантаженню 80-100-120⁰С. В якості агресивних середовищ використовувалось мастило різного походження, таких як суміш відпрацьованого моторного, трансмісійного мастила та морська сіль. Початкове значення твердості для усіх трьох зразків виготовлених з однієї пневматичної шини складала 12,5 HD. Отримані дані наведено в таблиці 4.8 та таблиці 4.9.

Таблиця 4.8

Попередня витримка зразка в відпрацьованому мастилі при кімнатній температурі

Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD
6	12	30	12	54	12
12	12	36	12	60	12
18	12	42	12	66	12
24	12	48	12	72	12

В результаті проведених випробувань, а саме витримка зразку в агресивному середовищі Вторинне (відпрацьоване) мастило 72 год, яке наведено в таблиці 4.8 зміна складала 0,5 від початкового показника 12,5 HD. Відсутність суттєвих змін можна пояснити тим, що дослідний зразок протягом часу випробування насичувався вказаним агресивним матеріалом. Просоченість мастилом (рис. 4.24) гумо-кордної конструкції.



Рис. 4.24. Вплив мастильних речовин на пошкодження гумо-кордної конструкції (поперечний переріз)

Таблиця 4.9

Вплив мастила на зміну показників твердості за Шором від часу витримки зразка гумо-кордних матеріалів в гарячій камері

Характеристика	Час витримки при 100 °C	Час витримки при 200 °C		
	1 год	6 год	9 год	12 год
Твердість за Шором, HD	12	11	10,1	9,5

В результаті проведених випробувань, а саме витримка зразку в ПАР 72 год, суттєвих змін твердості не встановлено, дані наведено в таблиці 4.10 зміна складала 0,5 від початкового показника 12,5 HD. Відсутність суттєвих змін можна пояснити тим, що дослідний зразок протягом часу випробування насичувався вказаним агресивним матеріалом, видимих змін зафіксовано не було. Результати випробувань наведено в таблиці 4.11

Таблиця 4.10

Попередня витримка зразка в ПАР при кімнатній температурі

Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD
6	12	30	12	54	12
12	12	36	12	60	12
18	12	42	12	66	12
24	12	48	12	72	12



Рис. 4.25. Вплив поверхнево активних речовин на корозійну руйнацію пневматичної шини (поперечний переріз)

Таблиця 4.11

Витримка сухого зразка в гарячій камері ПАР

Характеристика	Час витримки при 100 °C	Час витримки при 200 °C		
	1 год	6 год	9 год	12 год
Твердість за Шором, HD	12	11,5	10,5	10

Таблиця 4.12

Попередня витримка зразка в розчині при кімнатній температурі

Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD	Час витримки, години	Твердість за Шором, HD
6	12	30	12	54	12
12	12	36	12	60	12
18	12	42	12	66	12
24	12	48	12	72	12

В результаті проведених випробувань, а саме витримка зразку в агресивному середовищі засоби технічного очищення дорожнього покриття 72 год суттєвих змін твердості не встановлено, яке наведено в таблиці 4.12 зміна склала 0,5 від початкового показника 12,5 HD. Відсутність суттєвих змін можна пояснити тим, що дослідний зразок протягом часу випробування насичувався вказаним агресивним матеріалом. Під час випробувань змінювався колір металокорду від сірого до помаранчевого через зародження, утворення та виникнення явища корозії, це можна пояснити тим що зразок перебував в найбільш сприятливих для цього умовах.



Рис. 4.26. Корозійне пошкодження пневматичної шини під дією засобів технічного очищення дорожнього покриття (поперечний переріз)

Таблиця 4.13

Засоби технічні очищення дорожнього покриття витримкою сухого зразка в гарячій камері

Характеристика	Час витримки при 100 °С	Час витримки при 200 °С		
	1 год	6 год	9 год	12 год
Твердість за Шором, HD	12	11,2	9,5	8,5

Загальні результати випробувань проведених у сушильній камері для трьох вказаних зразків, а саме витримка 72 год у комплексі олійний та ПАР, а також розчин технічні засоби очищення наведено в таблиці 4.14.

Експеримент проводився реально імітуючи реальні умови експлуатації шин та спираючись на досвід і результати досліджень і публікацій по темі [6].

Таблиця 4.14

Загальні результати вимірювань

	HD		
Години	Зразок 1 в розчині комплексу олійно-мастильних сумішей	Зразок 2 в комплексі мильно-миючих емульсій ПАР	Зразок розчин 3 засоби технічні очищення дорожнього покриття
1	12	12	12
6	11	11,5	11,2
9	10,1	10,5	9,5
12	9,5	10	8,5

Зразки витримувались в розчині №1 послідовно через інтервал часу 6 годин. після чого висушувались при кімнатній температурі на протязі 2 годин з наступним вимірюванням твердості (рис. 4.25). Низка зразків піддавалася

градуїзованому нагріванню в розчині з агресивним середовищем відповідному хімічному складі. Наступним етапом було проведення зразків безпосередньо нагріваючи.

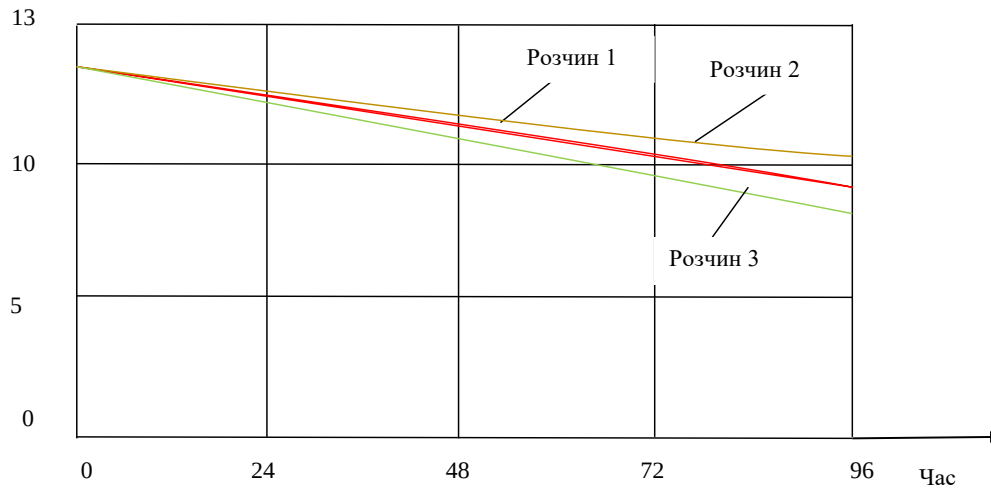


Рис. 4.27 Падіння твердості в залежності від часу витримки

При термічному старінні гумо-кордної композиції автомобільної шини спостерігалася майже лінійна залежність механічних властивостей, за певний проміжок часу твердості за Шором (рис. 4.18) орієнтовна середня швидкість втрати твердості складає 2,5 HD за год. Так зразки що витримувались при 80 °C втрачають за 5 годин термічного пошкодження втратили 8 одиниць HD від початкового значення . Подібна тенденція спостерігається і для зразків , що витримувались при 100 °C і 120 °C. Що не суперечить даним авторів при термічному старінні [28].

Висновки до четвертого розділу.

У четвертому розділі визначено процеси деградації матеріалів пневматичних шин та забезпечення опору механічних властивостей.

Експериментальне визначення кінетики накопичення пошкоджень на деградацію механічних властивостей гумо-кордного композиту, в даній роботі пропонується, як підхід щодо втомної міцності циклових стендових

навантажень, що відтворюють подолання перешкод різної геометрії та їх комбінацій з визначенням морфології пружних деформацій гумокордних конструкцій матеріалів шин узгоджених з дискретними значеннями механічних характеристик шин та співставленням із структурою матеріалу відповідного ступеню накопичення пошкоджуваності.

При термічному старінні гумо-кордної композиції автомобільної пневматичної шини спостерігалася майже лінійна залежність механічних властивостей, за певний проміжок часу твердості за Шором.

Орієнтовна середня швидкість втрати твердості складає 2,5 HD за годину. Так зразки, що витримувались при 80 °C втрачають за 5 годин термічного пошкодження 8 одиниць HD від початкового значення . Подібна тенденція спостерігається і для зразків , що витримувались при 100 °C і 120 °C.

Для трьох зразків при різній температурі дана залежність дозволяє встановити, що при термоциклічному навантаженні та зміні температури твердість падає, відбуваються деградація механічних властивостей матеріалу, такі умови відповідають експлуатації шини. Це відповідає експериментальним підтвердженням, теоретичним викладкам та гіпотезам

Експериментальна оцінка метало-кордної компоненти з отриманим пошкодженням при окремих термічних впливах та видах експлуатаційних пошкоджень запропонована як метод прогнозування втомленого ресурсу матеріалів пневматичних шин скорочує цикл розробки та знижує вартість пневматичних шин, шляхом підвищення ресурсних показників, що є важливим для зменшення використання сировинних матеріалів і зменшення забруднення навколишнього середовища.

Критичні умови експлуатації при отриманні гумо-кордної композиції в корозійно-активних середовищах досліджено через вплив зовнішніх факторів які призводить до концентрації напруги в металокорді через зменшення ефективної площі поперечного перерізу, тому, стає слабким місцем і є місцем виникнення тріщин.

Дослідження механізму втомного пошкодження гумових матеріалів шин пропонується використання експериментальних методів втоми та створення платформи для візуального аналізу втоми та тестування зі змінною температурою до експериментальних досліджень втоми та теоретичного моделювання. В роботі визначення гумових матеріалів шин прогнозується за допомогою технології чисельного моделювання, утворюючи набір засобів оцінки втоми гуми.

ВИСНОВКИ

1. В результаті визначених процесів розвитку пошкоджень автомобільних шин в залежності від різних факторів та перешкод встановлено зміну механічних характеристик, а саме, розподіл коефіцієнту демпфування у конструктивному полі еластичної оболонки в межах від 800 Н·с/м до 1500 Н·с/м. Зміну граничних значень міцності σ_b , які складають від 50 МПа до 70 МПа та відповідних коефіцієнтів пружності при подоланні штучних перешкод стендовими методами.

2. Запропоновано, змонтовано і проведено тестові випробування (силові і вібраційні) на багатокоординатному стенді з просторовим розташуванням приводів для відтворення орієнтації колеса в найбільш наближених до дорожніх умов.

3. Визначено коефіцієнти демпфування автомобільних шин в цілому від тиску повітря 1 Атм, 2 Атм, 2,5 Атм і зміни жорсткості пружної оболонки 272,8 Н/мм, 382 Н/мм, 477 Н/мм відповідно і умов деформативності від образу отриманих пошкоджень матеріалів.

4. В результаті фрактографічних досліджень кінетики руйнування композицій волокнистих і металевих матеріалів встановлено відповідність між рельєфом поверхні руйнування і видом силового впливу, а також умовами навантаження для 1500 вертикальних циклів, 4500 двокоординатних вертикально-обертових циклів та від 3000 до 7500 чотири координатних комбінованих циклів.

5. Шляхом випробування окремих макрофаз і границь розподілу на розшарування визначено конкретні числові значення руйнівних зсувних і осьових навантажень в діапазоні 15 МПа - 55 МПа, що накопичують матеріали при подоланні комбінацій перешкод і гальмуванні.

6. Виготовлено вимірювально-випробувальний комплекс зі здатністю визначення деформацій шин в точках змін її форми при подоланні перешкод різної геометрії з передачею даних в реальному часі на комп'ютерну модель і візуалізацію (записом) усіх станів деформації навантажених ділянок колеса.

7. В наслідок заданих деформацій пневматичної шини морфологія матеріалу змінюється на рівні 20 - 60 мм в плямі контакту з перешкодою. Показники втомної міцності матеріалів пневматичних шин проаналізовано як показники деформованої пружної оболонки, за формою, і розміром порожнин, що збільшуються від 0,2 мм до 1,5 мм для циклових навантажень забезпечених у трьох напрямках 80 мм (координата X), 100 мм (координата Y), 60 мм (координата Z).

8. Швидкість втрати твердості фіксується на рівні 2,5 та 3,5 одиниць HD/год із застосуванням агресивних середовищ, у вигляді мастильномиючих сумішей. Термоциклічний випробування у комплексі із зануренням зразків протектора пневматичної шини в середовищі мастильні суміші виявили деградацію міцнісних характеристик на 24% від початкових даних твердості 12,5 HD, для мастильно-миючих сумішей показник склав 20 - 32%. Встановлено, що окремий термоциклічний вплив на матеріал протектора без змін армуючих волокон спостерігається при температурі 200 °C.

9. Створено теоретичні і експериментально-технічні засоби контролю механічних, динамічних і експлуатаційних характеристик матеріалів колеса і їх можливий вплив на керованість і прохідність. Запропоновано удосконалені методи випробування і надано пропозиції щодо вимог експлуатації матеріалів пневматичних шин.

Список використаних джерел

1. Gent A. N., Walter J. D. Pneumatic Tire / Mechanical Engineering Faculty Research. 2006. URL: https://ideaexchange.uakron.edu/mechanical_ideas/854. (Last accessed: 05.09.2023).
2. Перегон В.А. Механіка шини: монографія / В. А. Перегон, В. А. Карпенко, Л. П. Гречко, Ю. П. Макєєв. - Харків: Вид-во ХНАДУ, 2011. - 404 с.
3. Біліченко, В. В. Ключові аспекти взаємодії шини з опорною поверхнею : монографія / В. В. Біліченко, О. Л. Добровольський, В. М. Ребедайло. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 128 с.
4. Ларін О.О. Комп'ютерне та математичне моделювання в задачах прогнозування надійності при поступових відмовах: монографія/ Ларін О.О., Водка О.О., Потопальська К.Є. – Харків : НТУ «ХПІ», Юрайт 2020.– 232с. DOI: 10.20998/978-617-7450-20-6.
[URL:https://www.researchgate.net/publication/347885723_Komp'uterne_ta_matematicne_modeluvanna_v_zadacah_prognozuvanna_nadijnosti_pri_postupovih_vidmovah](https://www.researchgate.net/publication/347885723_Komp'uterne_ta_matematicne_modeluvanna_v_zadacah_prognozuvanna_nadijnosti_pri_postupovih_vidmovah)
5. Pajeca H. B. Tyre and Vehicle Dynamics : монографія. Oxford OX2 8DP 30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803 : Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier Linacre House, 2006. 642 p.
6. Characteristics and investigation of selected manufacturing defects of passenger car tires / A. Weyssenhoff et al. Transportation Research Procedia. 2019. Vol. 40. P. 119–126. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.020>.
7. Sadjiep Tchuigwa B. S., Krmela J., Pokorny J. LITERATURE REVIEW ON TIRE COMPONENT REQUIREMENTS. Perner's Contacts. 2021. Vol. 16, no. 2. URL: <https://doi.org/10.46585/pc.2021.2.1740>.
8. Yang X., Olatunbosun O., Bolarinwa E. Materials Testing for Finite Element Tire Model. SAE International Journal of Materials and Manufacturing. 2010. Vol. 3, no. 1. P. 211–220. URL: <https://doi.org/10.4271/2010-01-0418>.

9. Krmela J., Krmelová V. Dynamic Experiment of Parts of Car Tyres. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 187. P. 763–768. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.435>.
10. Tian L., Wang D., Wei Q. Study on dynamic mechanical properties of a nylon-like polyester tire cord. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2019. Vol. 14. P. 155892501986880. URL: <https://doi.org/10.1177/1558925019868807>.
11. Koutný, F. Geometry and mechanics of pneumatic tires / F. Koutný. — Zlín, 2007. — 139 p.
URL: <http://wanderlodgegurus.com/database/Theory/TireGeometry.pdf>
12. Xiong Y., Tuononen A. A laser-based sensor system for tire tread deformation measurement. *Measurement Science and Technology*. 2014. Vol. 25, no. 11. P. 115103. URL: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/25/11/115103>.
13. A Versatile Flat Track Tire Testing Machine / J. A. Cabrera et al. *Vehicle System Dynamics*. 2003. Vol. 40, no. 4. P. 271–284. URL: <https://doi.org/10.1076/vesd.40.2.271.16542>.
14. Xiong Y., Tuononen A. A multi-laser sensor system to measure rolling deformation for truck tyres. *International Journal of Vehicle Performance*. 2017. Vol. 3, no. 2. P. 115. URL: <https://doi.org/10.1504/ijvp.2017.083344>.
15. A Fatigue Evaluation Method for Radial Tire Based on Strain Energy Density Gradient / C. Liang et al. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 2021. P. 1–12. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/8534954>.
16. Particles formation due to the wear of tires and measures for the wear reduction: A review / N. Stojanovic et al. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2021. P. 095440702110678. URL: <https://doi.org/10.1177/09544070211067879>.
17. Ly A., El-Sayegh Z. Tire Wear and Pollutants: An Overview of Research. *Archives of Advanced Engineering Science*. 2023. URL: <https://doi.org/10.47852/bonviewaaes32021329>.

18. Static modelling of the material flows of micro- and nanoplastic particles caused by the use of vehicle tyres / S. Prenner et al. Environmental Pollution. 2021. Vol. 290. P. 118102. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118102>.
19. Mennekes D., Nowack B. Tire wear particle emissions: Measurement data where are you?. Science of The Total Environment. 2022. Vol. 830. P. 154655. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154655>.
20. Experimental investigation of tread wear and particle emission from tyres with different treadwear marking / T. Grigoratos et al. Atmospheric Environment. 2018. Vol. 182. P. 200–212. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.049>.
21. Control of Tire Wear Particulate Matter through Tire Tread Prescription / J. U. Ha et al. Polymers. 2023. Vol. 15, no. 13. P. 2795. URL: <https://doi.org/10.3390/polym15132795>.
22. Войтович О.А., Ткач В.О. Вплив тиску в шинах на безпеку руху автотранспорту. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2017. №4(63). С. 33-38.
23. Система контролю тиску у шинах: як забезпечується безпека на дорозі? [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://auto.today/bok/1956-sistema-kontrolya-davleniya-v-shinah-ili-kak-obespechivaetsya-bezopasnost-na-doroge.html>
24. Динаміка колеса автомобіля. Монографія / А.У. Абдулґазіс, Д.В. Абрамов, М.П., Артёмов, В.І. Гацько, З.Е. Забелишенский, Д.М. Клец, О.О. Назарько, М.А. Подригало, О.С. Полянский, М.М. Потапов, В.Л. Файст; под ред. М.А. Подригало та Полянськ. ргр – Х.:ХНАДУ, 2019. -199 с.
25. Waluś K. J., Warguła Ł. Experimental Research on Kinematic Features of Agricultural Tractor Movement on Asphalt Pavement. MATEC Web of Conferences. 2022. Vol. 357. P. 05005. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202235705005>.

26. Elnour, Mohamed & Laz, Hala. (2014). Tire Inflation Rate Modeling
[URL:https://www.researchgate.net/publication/235951826_A_Versatile_Flat_Track_Tire_Testing_Machine_A_Versatile_Flat_Track_Tire_Testing_Machine](https://www.researchgate.net/publication/235951826_A_Versatile_Flat_Track_Tire_Testing_Machine_A_Versatile_Flat_Track_Tire_Testing_Machine).
27. Influence of tire inflation pressure on the estimation of rating cone index using wheel sinkage. / J. Oh et al. *Journal of Terramechanics*. 2019. Vol. 84. P. 13–20.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2019.04.002>.
28. Ларін О. О. Теоретичні основи прогнозування надійності елементів машин з гумо-кордними композитами при відмовах, що викликані втомою [Електронний ресурс] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.02.09 / Олексій Олександрович Ларін ; [наук. керівник Львов Г. І.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків, 2016. – 40 с. – Бібліогр.: с. 30-37. – укр.
URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/24585>.
29. Ларін О. О. Розробка багатошарової 3D комп'ютерної моделі пневматичної шини з урахуванням ортотропії її механічних властивостей / Ю. В. Арефін, О. М. Ларін, О. О. Ларін, О. І. Субочев // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь: Севастопольський національний технічний університет. – 2011. – №. 121. – С. 102–105.
30. Ларін О. О. Моделювання контактної взаємодії пневматичних шин з дорогою з урахуванням геометричної та фізичної нелінійності їх деформування/ А. А. Кондикова, О. О. Ларін // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – №. 52. –С. 94 – 101.
31. Ларін О. О. Визначення напружено–деформованого стану пневматичної шини на основі тривимірної нелінійної моделі / Ю.В. Арефін, О. М. Ларін, О. О. Ларін, О.І. Субочев // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – Горлівка: Автомобільно-дорожній інститут ДонНТУ. – 2011. – №. 1(12). – С. 71–77.
32. NUMERICAL PREDICTION OF THREE-DIMENSIONAL TIREPAVEMENT CONTACT STRESSES Jaime A. Hernandez, Angeli Gamez

Maryam Shakiba, Imad L. Al-Qadi (University of Illinois at Urbana-Champaign)
A report of the findings of ICT PROJECT ICT-17-004 NUMERICAL
PREDICTION OF THREE-DIMENSIONAL TIRE-PAVEMENT CONTACT
STRESSES Illinois Center for Transportation April 2015.

33. Analysis of the Tire-Pavement Contact Stress Characteristics during Vehicle
Maneuvering / H. He et al. KSCE Journal of Civil Engineering. 2021. Vol. 25, no.
7. P. 2451–2463. URL: <https://doi.org/10.1007/s12205-021-1306-0>.

34. Guo M., Zhou X. Tire-Pavement Contact Stress Characteristics and Critical
Slip Ratio at Multiple Working Conditions. Advances in Materials Science and
Engineering. 2019. Vol. 2019. P. 1–11. URL:
<https://doi.org/10.1155/2019/5178516>.

35 Minrui G. Tire-Pavement System Modelling and Triaxial Contact Stress
Analysis. Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1267. P. 012074.
URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1267/1/012074>.

36. Modelling the Interaction between a Laterally Deflected Car Tyre and a Road
Surface / A. Maknickas et al. Applied Sciences. 2022. Vol. 12, no. 22. P. 11332.
URL: <https://doi.org/10.3390/app122211332>.

37. Numerical Simulations of the Driving Process of a Wheeled Machine Tire on
a Snow-Covered Road / D. Wang et al. Machines. 2023. Vol. 11, no. 6. P. 657.
URL: <https://doi.org/10.3390/machines11060657>.

38. Lu Y., Yang S., Li S. Heavy vehicle dynamics with balanced suspension based
on enveloping tire model. Frontiers of Mechanical Engineering in China. 2010.
Vol. 5, no. 4. P. 476–482. URL: <https://doi.org/10.1007/s11465-010-0120-z>.

39. Predictions of three-dimensional contact stresses of a radial truck tire under
different driving modes / X. Tang et al. Advances in Mechanical Engineering.
2022. Vol. 14, no. 4. P. 168781322210923. URL:
<https://doi.org/10.1177/16878132221092346>.

40. An Advancement in Truck-Tire–Road Interaction Using the Finite Element
Analysis / H. Fathi et al. Mathematics. 2023. Vol. 11, no. 11. P. 2462. URL:
<https://doi.org/10.3390/math11112462>.

41. Casey D. B., Airey G. D., Grenfell J. R. A Comparison of Uniform and 3-D Tyre Contact Pressure Representations Using a Finite Element Method. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 2402–2410. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.280>.
42. An investigation towards intelligent tyres using finite element analysis / P. Behroozinia et al. *International Journal of Pavement Engineering*. 2018. Vol. 21, no. 3. P. 311–321. URL: <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1475664>.
43. A critical review on fractographic studies of steel cord and bead wire used in tyre reinforcement / R. Shilavant et al. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1177/14777606231201866>.
44. Assessment of mechanical properties of offroad vehicle tire: Coupons testing and FE model development / P. Baranowski et al. *Acta Mechanica et Automatica*. 2012. Vol. 6, no. 2. P. 17–22. URL: https://www.researchgate.net/publication/268293803_Assessment_of_mechanical_properties_of_offroad_vehicle_tire_Coupons_testing_and_FE_model_development.
45. Tire-Pavement Friction Characteristics with Elastic Properties of Asphalt Pavements / M. Yu et al. *Applied Sciences*. 2017. Vol. 7, no. 11. P. 1123. URL: <https://doi.org/10.3390/app7111123>.
46. Numerical modeling of fiber reinforced polymer textile composites for characterizing the mechanical behavior – a review / V. Kaushik et al. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. 2022. Vol. 53, no. 10. P. 1263–1289. URL: <https://doi.org/10.1002/mawe.202200032>.
47. Performance evaluation of cord material models applied to structural analysis of tires / N. Korunović et al. *Composite Structures*. 2019. Vol. 224. P. 111006. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111006>.
48. Krmela, Jan. (2017). KRMELA, Jan. Tire Casings and Their Material Characteristics for Computational Modeling. Scientific monograph. Czestochowa, Poland, 2017. ISBN 978-83-63978-62-4. 110 pages,.

49. Pelc J. Material modelling in cord-rubber structures. KGK rubberpoint:.. 2000. Vol. 53, no. (10). P. 561–565.
URL:https://www.researchgate.net/publication/236983980_Material_modelling_in_cord-rubber_structures .
50. Song, Jaehoon. (2004). Fatigue of cord-rubber composites for tires.
51. Hardness assessment of novel waste tire rubber-polypropylene composite / K. Zahir Ahmed et al. Materials Today: Proceedings. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.445>.
52. Behroozinia P., Mirzaeifar R., Taheri S. A review of fatigue and fracture mechanics with a focus on rubber-based materials. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications. 2017. Vol. 233, no. 5. P. 1005–1019. URL: <https://doi.org/10.1177/1464420717719739>.
53. ДСТУ 7175:2010 Метали і сплави. Методи металографічного контролювання. Терміни та визначення понять.
54. ДСТУ 8975:2019 Сталь. Методи випробування та оцінювання макроструктури (на заміну ГОСТ 10243-75).
55. ДСТУ 8972:2019 Сталі та сплави. Методи виявлення та визначення величини зерна (на заміну ГОСТ 5639-82).
56. ДСТУ EN 10218-1 Дріт сталевий та дротяні вироби. Загальні вимоги. Частина 1. Методи випробування.
57. ДСТУ EN 10218-2-2001 Дріт сталевий та дротяні вироби. Загальні вимоги. Частина 2. Розміри дроту та допуски (EN 10218-2:1996, IDT).
58. ДСТУ ISO 16650:2009 Дріт бортовий для шин. Технічні умови.
59. Чурсов С.О. (2021). Міцність зв'язку в елементах пневматичних шин як композитного матеріалу. Матеріали науково-технічної конференції "Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта", (XXII). <https://doi.org/10.20535/2409-7160.2021.XXII.240406>.
60. Чурсов С.О. Прогнозування залишкового ресурсу матеріалів пневматичних шин від накопичення і виду експлуатаційних пошкоджень. /

Дмитрієв Д.О., Панасенко В.М., Русанов С.А //Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню космонавтики. ХНТУ:Херсон. – 2021.- С.94-95.

61.Поліщук В.М., Чурсов С.О. Фрактографічні дослідження контрольованого руйнування композиції волокнистих і металевих матеріалів, у автомобільних шинах МАТЕРІАЛИ VII-ої Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології промислового комплексу – 2021", Вересень 7, 2021 – Вересень 10, 2021 м. Херсон, Україна (с. 123-126).

62. URL: <https://microtech-ua.com/index.php>.

63. URL: <https://jmicrovision.github.io/>

64. Мазур В.А., Лутай А.М., Романов Б.С. Металографічний фазовий склад аналіз сплавов методом комп'ютерної обробки цифрових зображень мікроструктури // Матеріали загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція «Машинобудування», підсекція «Лазерної техніки та фізико-технічних технологій» /Київ: НТУУ «КП», 2015-с. 24-25.

65. Салій С.С., Лутай М.М., Романов Б.С. Комп'ютерна обробка цифрових зображень мікроструктури однофазних сплавів // Матеріали загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція «Машинобудування», підсекція «Лазерної техніки та фізико-технічних технологій» /Київ: НТУУ «КП», 2015-с. 24-25.

66. Вислоцький О.В., Лутай А.М., Романов Б.С., Визначення кількості вуглецю у чавунах методом металографічної USB металографії // Матеріали загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція «Машинобудування», підсекція «Лазерної техніки та фізико-технічних технологій» /Київ: НТУУ «КП», 2015-с. 35-37.

67. ДСТУ ГОСТ 8.335:2009 Метрологія. Міри твердості еталонні. Методика повірки (ГОСТ 8.335-2004, IDT).
68. ДСТУ EN ISO 868:2017 Пластмаси та ебоніт. Визначення твердості вдавнення за допомогою твердоміра (твердість за Шором) (EN ISO 868:2003, IDT; ISO 868:2003, IDT).
69. ГОСТ 21318-75 Измерение микротвердости царапанием алмазными наконечниками
70. ДСТУ ISO 5893:2019 Обладнання для випробування гуми та пластмаси на розтяг, згин і стискання за постійної швидкості переміщення. Технічні умови (ISO 5893:2019, IDT).
71. ДСТУ ISO 6892-1:2019 Металеві матеріали. Випробування на розтяг. Частина 1. Метод випробування за кімнатної температури (ISO 6892-1:2016, IDT).
72. ГОСТ 6768-75 Гума і прогумована тканина. Метод визначення міцності зв'язку між шарами при розшаруванні.
73. ДСТУ ISO 37:2019 Каучук вулканізований або термопластичний. Метод визначення характеристик залежності деформації від напруження під час розтягування.
74. ДСТУ 3715-98 Метали. Види поверхонь руйнування (зломів). Терміни та визначення.
75. ДСТУ 7305:2013 Метали. Метод випробування на розтяг металів і сплавів за низьких та криогенних температур.
76. ISO 10191:2021. Passenger car tyres. Verifying tyre capabilities. Laboratory test methods. Official edition. URL: <https://www.iso.org/standard/78727.html>.
77. Дмитрієв Д.О., Русанов С.А., Чурсов С.О. Бергер Є.Е. Моделювання та експериментальне визначення характеристик пневматичних шин при накопиченні пошкоджень від дорожніх перешкод різної геометрії Вісник ХНТУ. 2021. №4(79). С. 23-30.
78. Чурсов С.О. Моделювання механічних характеристик матеріалів пневматичних шин в процесі подолання перешкод. / Дмитрієв Д.О., Русанов

- С.А //Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню космонавтики. ХНТУ:Херсон. – 2021.- с.89-90.
79. ДСТУ 8816:2018 Шини пневматичні для легкових автомобілів та причепів до них. Загальні технічні умови
80. ДСТУ 4406:2005 Шини пневматичні. Загальні технічні вимоги безпеки.
81. ДСТУ 2219:2015 Шини пневматичні. Конструкція. Терміни та визначення понять.
82. ДСТУ 3680-98 Сумісність технічних засобів електромагнітна. Стійкість до дії грозових розрядів. Методи захисту.
83. ДСТУ 8815:2018 Шини пневматичні для вантажних колісних транспортних засобів та причепів до них. Загальні технічні умови.
84. ДСТУ 7496:2014 Шини пневматичні. Метод визначання основних розмірів.
85. Чурсов С.О. Дмитрієв Д.О. Войтович О.А. Баль О.Д. Застосування багатокоординатних механізмів в якості випробувальних стендів шин автотранспорту// Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» - Чернігів:ЧНТУ,2018. - С.147-149.
86. Дмитрієв Д.О., Войтович О.А., Русанов С.А., Чурсов С.О. Стендові методи випробування шин автотранспорту. Вісник ХНТУ. 2019. №2. С. 39-47.
87. Програма Віброслой. Авторське свідоцтво про твір №25051 від 24.07.2008, автор Русанов С.А.
88. Qiu X., Yin H., Xing Q. Research Progress on Fatigue Life of Rubber Materials. *Polymers*. 2022. Vol. 14, no. 21. P. 4592. URL: <https://doi.org/10.3390/polym14214592>.
89. Kruzel R., Ulewicz M. Analysis of fatigue life of the steel cord used in tires in unidirectional and bidirectional bending. *Procedia Structural Integrity*. 2018. Vol. 13. P. 1626–1631. URL: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.342>.

90. Development of Fatigue Life Model for Rubber Materials Based on Fracture Mechanics / X. Qiu et al. *Polymers*. 2023. Vol. 15, no. 12. P. 2746. URL: <https://doi.org/10.3390/polym15122746>.
91. Металокордна радіальна шина: пат. 308 Україна: В60С15/04; №98010288; 20.01.1998; опубл. 26.02.1999, Бюл.№ 1/1999 2ст.
92. Спосіб оцінки деградації матеріалу: 4406 Україна : G01N 3/00. № 20040503393 заявл. 09.07.2002 ; опубл. 17. 01. 2005, Бюл. № 1/2005 с..
93. ГОСТ 9378-93 Зразки шорсткості поверхні (порівняння). Загальні технічні умови (ІСО 2632-1-85, ІСО 2632-2-85).
94. Hydrothermal Aging Mechanisms of All-Steel Radial Tire Composites / N. Jiang et al. *Polymers*. 2022. Vol. 14, no. 15. P. 3098. URL: <https://doi.org/10.3390/polym14153098>.
95. Thermomechanical Properties of Vulcanized Rubber Investigated by Testing Machine and Infrared Camera / M. Staszczak et al. *Measurement Automation Monitoring*. 2015. Vol. 61, no. 6. P. 206–209. URL: https://www.researchgate.net/publication/290324630_Thermomechanical_Properties_of_Vulcanized_Rubber_investigated_by_Testing_Machine_and_Infrared_Camera/citations.
96. Use of Full-Field Digital Image Correlation and Infrared Thermography Measurements for the Thermomechanical Analysis of Material Behaviour / A. Chrysochoos et al. *Strain*. 2010. Vol. 46, no. 1. P. 117–130. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1305.2009.00635.x>.
97. Thermomechanical analysis and optimization of thermoplastic elastomer made of polypropylene and waste tire rubber / J. Olhagaray et al. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2012. Vol. 27, no. 7. P. 958–976. URL: <https://doi.org/10.1177/0892705712461515>.
98. ГОСТ 1579-93 Дріт. Метод випробування на перегинання (ІСО 7801-84).
- .

ДОДАТКИ

154

[illegible]

		ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ / TECHNICAL CHARACTERISTICS <table><tr><th>Назва моделі (Type model)</th><th>Розмір шини (Tyre size)</th><th>Розмір колеса (Wheel size)</th><th>Макс. навантаження, кг (Max load, kg)</th><th>Макс. швидкість, км/год (Max speed, km/h)</th><th>Макс. тяговий момент, кгс·м (Max torque, kgf·m)</th><th>Середнє топливо (Avg fuel)</th><th>Тип мотора (Engine type)</th><th>Макс. потужність (Max power)</th><th>Макс. об'єм цистерми (Max tank capacity)</th><th>Макс. об'єм бака (Max fuel tank capacity)</th><th>Макс. об'єм бака (Max oil tank capacity)</th><th>Макс. об'єм бака (Max water tank capacity)</th><th>Макс. об'єм бака (Max battery capacity)</th></tr><tr><td>ВВ-242 (VF-242)</td><td>18"</td><td>4.50-18</td><td>300</td><td>250</td><td>88</td><td>4.50-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>3,000 (2)</td><td>4,000</td><td>480</td><td>124/124</td><td>227</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-250 (F-250)</td><td>18"</td><td>5.00-18</td><td>185</td><td>180</td><td>51</td><td>4.50-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>4,000</td><td>-</td><td>500</td><td>135</td><td>220</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-274 (F-274)</td><td>15.3"</td><td>10.0/75-15.3</td><td>1300</td><td>120</td><td>118</td><td>10.0/75-15.3</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>8,000</td><td>-</td><td>760</td><td>284</td><td>343</td><td>40 (180)</td></tr><tr><td>ВВ-321</td><td>15.3"</td><td>10.0/75-15.3</td><td>1800</td><td>540</td><td>110</td><td>10.0/75-15.3</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>8,000</td><td>-</td><td>760</td><td>284</td><td>343</td><td>40 (180)</td></tr><tr><td>В-308 (F-308)</td><td>18"</td><td>5.50-18</td><td>850</td><td>490</td><td>102</td><td>5.50-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>4,000</td><td>4,500</td><td>680</td><td>154/165</td><td>225</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-122 (F-122)</td><td>18"</td><td>5.50-18</td><td>340</td><td>180</td><td>71</td><td>5.50-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>4,000</td><td>4,500</td><td>730</td><td>154/165</td><td>225</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>С-4 (F-1)</td><td>18"</td><td>8.50/80-18</td><td>830</td><td>330</td><td>80</td><td>5.50-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>5,500</td><td>4,500</td><td>730</td><td>180</td><td>325</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>ТН-121</td><td>18"</td><td>8.50-18</td><td>770</td><td>370</td><td>89</td><td>5.50-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>4,500</td><td>5,500</td><td>740</td><td>180</td><td>345</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-248 (F-248)</td><td>18"</td><td>7.50-18</td><td>730</td><td>140</td><td>87</td><td>7.50-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>6,000</td><td>-</td><td>770</td><td>214</td><td>310</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-315 (F-315)</td><td>18"</td><td>8.50/80-18</td><td>710</td><td>380</td><td>88</td><td>8.50-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>5,500</td><td>6,000; W7; W7; W7; W7</td><td>734</td><td>235</td><td>341</td><td>40 (180)</td></tr><tr><td>В-276 (F-276)</td><td>18"</td><td>12.0/75-18</td><td>1800</td><td>240</td><td>110</td><td>12-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W11</td><td>W11; W11; W11; W11</td><td>800</td><td>330</td><td>400</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-277 (F-277)</td><td>18"</td><td>8.00-18</td><td>1850</td><td>350</td><td>125</td><td>8.00-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>6,000</td><td>6,000</td><td>860</td><td>254</td><td>380</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-284 (F-284)</td><td>18"</td><td>8.00-18</td><td>2040</td><td>580</td><td>136</td><td>8.00-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>6,000</td><td>6,000; W11; W11; W11; W11</td><td>870</td><td>360</td><td>380</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-284 (F-284)</td><td>18"</td><td>8.00-18</td><td>1550</td><td>350</td><td>123</td><td>8.00-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>6,000</td><td>6,000</td><td>880</td><td>255</td><td>414</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-284 (F-284)</td><td>18"</td><td>12-18</td><td>1800</td><td>250</td><td>110</td><td>12-18</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W10</td><td>-</td><td>830</td><td>325</td><td>418</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-123 (V-123)</td><td>20"</td><td>7.50-20</td><td>875</td><td>380</td><td>101</td><td>7.50-20</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>5,500</td><td>5,000</td><td>860</td><td>225</td><td>407</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-125 (V-125)</td><td>20"</td><td>8.3-20</td><td>850</td><td>250</td><td>100</td><td>8.3-20</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W7</td><td>-</td><td>850</td><td>221</td><td>408</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-125 (V-125)</td><td>20"</td><td>8.00-20</td><td>1130</td><td>380</td><td>112</td><td>8.00-20</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W7</td><td>5,500</td><td>830</td><td>234</td><td>415</td><td>40 (180)</td></tr><tr><td>В-125 (V-125)</td><td>20"</td><td>12.0-20</td><td>1265</td><td>330</td><td>117</td><td>12.0-20</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W10</td><td>W10; W10; W10; W10</td><td>885</td><td>274</td><td>414</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-125 (V-125)</td><td>20"</td><td>12.00-20</td><td>1400</td><td>380</td><td>120</td><td>12.0-20</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W10</td><td>-</td><td>1080</td><td>345</td><td>460</td><td>40 (180)</td></tr><tr><td>В-148 (F-148)</td><td>24"</td><td>18.4-24</td><td>2040</td><td>140</td><td>136</td><td>18.4-24; 21.3-24</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W10</td><td>-</td><td>1400</td><td>487</td><td>623</td><td>30 (180)</td></tr><tr><td>В-148 (F-148)</td><td>24"</td><td>21.3-24</td><td>2500</td><td>250</td><td>140</td><td>21.3-24; 21.3-24</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W10</td><td>-</td><td>1400</td><td>540</td><td>660</td><td>40 (180)</td></tr><tr><td>В-148 (F-148)</td><td>24"</td><td>21.3-24</td><td>2500</td><td>250</td><td>140</td><td>21.3-24</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W10</td><td>-</td><td>1400</td><td>540</td><td>660</td><td>40 (180)</td></tr><tr><td>В-148 (F-148)</td><td>24"</td><td>21.3-24</td><td>2500</td><td>250</td><td>140</td><td>21.3-24</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W10</td><td>-</td><td>1400</td><td>540</td><td>660</td><td>40 (180)</td></tr><tr><td>В-148 (F-148)</td><td>24"</td><td>21.3-24</td><td>2500</td><td>250</td><td>140</td><td>21.3-24</td><td>ТН (ЛР) -05-08.5</td><td>W10</td><td>-</td><td>1400</td><td>540</td><td>660</td><td>40 (180)</td></tr></table> * основні технічні дані — зазначені в таблиці * Mainly technical data — as indicated in the table	Назва моделі (Type model)	Розмір шини (Tyre size)	Розмір колеса (Wheel size)	Макс. навантаження, кг (Max load, kg)	Макс. швидкість, км/год (Max speed, km/h)	Макс. тяговий момент, кгс·м (Max torque, kgf·m)	Середнє топливо (Avg fuel)	Тип мотора (Engine type)	Макс. потужність (Max power)	Макс. об'єм цистерми (Max tank capacity)	Макс. об'єм бака (Max fuel tank capacity)	Макс. об'єм бака (Max oil tank capacity)	Макс. об'єм бака (Max water tank capacity)	Макс. об'єм бака (Max battery capacity)	ВВ-242 (VF-242)	18"	4.50-18	300	250	88	4.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	3,000 (2)	4,000	480	124/124	227	30 (180)	В-250 (F-250)	18"	5.00-18	185	180	51	4.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	4,000	-	500	135	220	30 (180)	В-274 (F-274)	15.3"	10.0/75-15.3	1300	120	118	10.0/75-15.3	ТН (ЛР) -05-08.5	8,000	-	760	284	343	40 (180)	ВВ-321	15.3"	10.0/75-15.3	1800	540	110	10.0/75-15.3	ТН (ЛР) -05-08.5	8,000	-	760	284	343	40 (180)	В-308 (F-308)	18"	5.50-18	850	490	102	5.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	4,000	4,500	680	154/165	225	30 (180)	В-122 (F-122)	18"	5.50-18	340	180	71	5.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	4,000	4,500	730	154/165	225	30 (180)	С-4 (F-1)	18"	8.50/80-18	830	330	80	5.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	5,500	4,500	730	180	325	30 (180)	ТН-121	18"	8.50-18	770	370	89	5.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	4,500	5,500	740	180	345	30 (180)	В-248 (F-248)	18"	7.50-18	730	140	87	7.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	6,000	-	770	214	310	30 (180)	В-315 (F-315)	18"	8.50/80-18	710	380	88	8.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	5,500	6,000; W7; W7; W7; W7	734	235	341	40 (180)	В-276 (F-276)	18"	12.0/75-18	1800	240	110	12-18	ТН (ЛР) -05-08.5	W11	W11; W11; W11; W11	800	330	400	30 (180)	В-277 (F-277)	18"	8.00-18	1850	350	125	8.00-18	ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5	6,000	6,000	860	254	380	30 (180)	В-284 (F-284)	18"	8.00-18	2040	580	136	8.00-18	ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5	6,000	6,000; W11; W11; W11; W11	870	360	380	30 (180)	В-284 (F-284)	18"	8.00-18	1550	350	123	8.00-18	ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5	6,000	6,000	880	255	414	30 (180)	В-284 (F-284)	18"	12-18	1800	250	110	12-18	ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	830	325	418	30 (180)	В-123 (V-123)	20"	7.50-20	875	380	101	7.50-20	ТН (ЛР) -05-08.5	5,500	5,000	860	225	407	30 (180)	В-125 (V-125)	20"	8.3-20	850	250	100	8.3-20	ТН (ЛР) -05-08.5	W7	-	850	221	408	30 (180)	В-125 (V-125)	20"	8.00-20	1130	380	112	8.00-20	ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5	W7	5,500	830	234	415	40 (180)	В-125 (V-125)	20"	12.0-20	1265	330	117	12.0-20	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	W10; W10; W10; W10	885	274	414	30 (180)	В-125 (V-125)	20"	12.00-20	1400	380	120	12.0-20	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1080	345	460	40 (180)	В-148 (F-148)	24"	18.4-24	2040	140	136	18.4-24; 21.3-24	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1400	487	623	30 (180)	В-148 (F-148)	24"	21.3-24	2500	250	140	21.3-24; 21.3-24	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1400	540	660	40 (180)	В-148 (F-148)	24"	21.3-24	2500	250	140	21.3-24	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1400	540	660	40 (180)	В-148 (F-148)	24"	21.3-24	2500	250	140	21.3-24	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1400	540	660	40 (180)	В-148 (F-148)	24"	21.3-24	2500	250	140	21.3-24	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1400	540	660	40 (180)
Назва моделі (Type model)	Розмір шини (Tyre size)	Розмір колеса (Wheel size)	Макс. навантаження, кг (Max load, kg)	Макс. швидкість, км/год (Max speed, km/h)	Макс. тяговий момент, кгс·м (Max torque, kgf·m)	Середнє топливо (Avg fuel)	Тип мотора (Engine type)	Макс. потужність (Max power)	Макс. об'єм цистерми (Max tank capacity)	Макс. об'єм бака (Max fuel tank capacity)	Макс. об'єм бака (Max oil tank capacity)	Макс. об'єм бака (Max water tank capacity)	Макс. об'єм бака (Max battery capacity)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ВВ-242 (VF-242)	18"	4.50-18	300	250	88	4.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	3,000 (2)	4,000	480	124/124	227	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-250 (F-250)	18"	5.00-18	185	180	51	4.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	4,000	-	500	135	220	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-274 (F-274)	15.3"	10.0/75-15.3	1300	120	118	10.0/75-15.3	ТН (ЛР) -05-08.5	8,000	-	760	284	343	40 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ВВ-321	15.3"	10.0/75-15.3	1800	540	110	10.0/75-15.3	ТН (ЛР) -05-08.5	8,000	-	760	284	343	40 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-308 (F-308)	18"	5.50-18	850	490	102	5.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	4,000	4,500	680	154/165	225	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-122 (F-122)	18"	5.50-18	340	180	71	5.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	4,000	4,500	730	154/165	225	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
С-4 (F-1)	18"	8.50/80-18	830	330	80	5.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	5,500	4,500	730	180	325	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ТН-121	18"	8.50-18	770	370	89	5.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	4,500	5,500	740	180	345	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-248 (F-248)	18"	7.50-18	730	140	87	7.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	6,000	-	770	214	310	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-315 (F-315)	18"	8.50/80-18	710	380	88	8.50-18	ТН (ЛР) -05-08.5	5,500	6,000; W7; W7; W7; W7	734	235	341	40 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-276 (F-276)	18"	12.0/75-18	1800	240	110	12-18	ТН (ЛР) -05-08.5	W11	W11; W11; W11; W11	800	330	400	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-277 (F-277)	18"	8.00-18	1850	350	125	8.00-18	ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5	6,000	6,000	860	254	380	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-284 (F-284)	18"	8.00-18	2040	580	136	8.00-18	ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5	6,000	6,000; W11; W11; W11; W11	870	360	380	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-284 (F-284)	18"	8.00-18	1550	350	123	8.00-18	ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5	6,000	6,000	880	255	414	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-284 (F-284)	18"	12-18	1800	250	110	12-18	ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	830	325	418	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-123 (V-123)	20"	7.50-20	875	380	101	7.50-20	ТН (ЛР) -05-08.5	5,500	5,000	860	225	407	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-125 (V-125)	20"	8.3-20	850	250	100	8.3-20	ТН (ЛР) -05-08.5	W7	-	850	221	408	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-125 (V-125)	20"	8.00-20	1130	380	112	8.00-20	ТН (ЛР) -05-08.5; ТН (ЛР) -05-08.5	W7	5,500	830	234	415	40 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-125 (V-125)	20"	12.0-20	1265	330	117	12.0-20	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	W10; W10; W10; W10	885	274	414	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-125 (V-125)	20"	12.00-20	1400	380	120	12.0-20	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1080	345	460	40 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-148 (F-148)	24"	18.4-24	2040	140	136	18.4-24; 21.3-24	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1400	487	623	30 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-148 (F-148)	24"	21.3-24	2500	250	140	21.3-24; 21.3-24	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1400	540	660	40 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-148 (F-148)	24"	21.3-24	2500	250	140	21.3-24	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1400	540	660	40 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-148 (F-148)	24"	21.3-24	2500	250	140	21.3-24	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1400	540	660	40 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
В-148 (F-148)	24"	21.3-24	2500	250	140	21.3-24	ТН (ЛР) -05-08.5	W10	-	1400	540	660	40 (180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
2.	ТОВ «Дніпрошина», ПрАТ «ІнтерМікро Дельта, Інк» - розробка,	Продукція: - шини для сільгосп машин, комбайнів, тракторів, причіпної техніки, для додаткового обладнання, для міжрядів, із зменшим тиском на ґрунт; - шини для будівельних (ПТ-4 14.00-24, ПТ-7 18.00-25, Ф-154 18.00-25), дорожніх, кар'єрних та рудничних машин; -шини для навантажувачів (Ф-65 18x7x8, Ф-36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

виробництво, продаж шин та гумотехнічних виробів з високими експлуатаційними характеристиками, м.Дніпро Україна https://web.archive.org/web/20190327032551/http://dneproshina.ua/product/siny-dlja-pogruzchik-ov	6.00-9, В-97А 6,25-10(160-254), Ф-42 7.00-12, Д-45 23х5, Д-64 28х9-15(8.15-15), Л-187, 8.25-15, ДТ-49 8.25-15); - шини для вантажних автомобілів з регульованим тиском моделей ОИ-25 145G, ОИ-25 149G, О-47АМ, ВИ-3, ВИД-201, 1300х600-533 TL, ИД-370; - шини для вантажної техніки моделей ДТ-100, МИ-173-1, Д-50; - шини для легкових та легковантажних шин SPRINT 175/70R13, 175/65R14, 185/60R14, 185/65R14, 195/65R15 Гарантия  7.50-16 Petlas TD-16 TT 8PR 103A6 3 120 ₴ В наявності Код: 23316 Купити Гарантия  7.50-16 Petlas TA-60 TT 8PR 103A6 3 220 ₴ В наявності Код: 23317 Купити Гарантия  7.50-20 Petlas TA-60 TT 8PR 108A6 4 330 ₴ В наявності Код: 23382 Купити Гарантия  7.50-20 Petlas TD-16 TT 10PR 115A6 4 330 ₴ В наявності Код: 23318 Купити  13.6-38 Petlas (340/85-38) TA-60 TT 8PR 131A6 Гарантия -2%  15.5-38 Petlas TA-60 TT 10PR 138A6 Гарантия -2%  16.9-38 Petlas (420/85-38) TA-60 TT 10PR 144A6 Гарантия  14.9-24 Petlas (380/85-24) TA-60 TT 8PR 128A6 Гарантия -3%  23.1-26 Petlas (620/75-26) BD65 TT 12PR 153A6 29 070 ₴ 29 000 ₴ В наявності Код: 21260 Купити Гарантия  700/50R26.5 168D (178A8) Dneproshina DN-111 TL Flotation 39 600 ₴ В наявності Код: 10112 Купити Гарантия  600/70R30 Petlas TA-130 TL 158D (161A8) 40 690 ₴ В наявності Код: 21015 Купити Гарантия -3%  710/70R42 Petlas TA-130 TL 173D (176A8) 79 400 ₴ 77 000 ₴ В наявності Код: 20444 Купити
---	---

3. Michelin Group, Франція Один із найбільших виробників в сучасних пневматичних шин-розробка, виробництво, продаж шин та гумотехнічних виробів з високими експлуатаційними характеристиками.

Суббренди : BFGoodrich, Kleber, Kormoran (Poland),

LINE HAUL										
Size	Load Range	Tread Name	Smartway® Verified	Catalog Number	Tread Depth 32nd	Wheel Position			Directional	RV Use
						AWP	Drive	Trailer		
245/70R17.5	J	XTA2 ENERGY		78370				■		
265/70R19.5	H	X Line Energy T 19.5		40936				■		
11R22.5	G	X Line Energy D	■	35887			■			
	G	X Line Energy T	■	92005	12			■		
	G	X Line Energy T2	■	49668	11			■		
	G	X Line Energy Z	■	03363	19	■			■	■
	G	XDA5+		14003	30		■			
	G	XDN2		72805	27		■			
	H	X Line Energy Z	■	06697	19	■			■	■
	H	XDN2		64321	27		■			
12R22.5	H	XD62		05359	26				■	
	H	XDN2		51753			■			
235/80R22.5	G	XRV		87511		■				■
255/80R22.5	G	XRV		59634		■				■
275/70R22.5	J	X Multi Z - 275		31513		■				
275/80R22.5	G	X Line Energy D	■	36859			■			
	G	X Line Energy D+	■	10873	20		■			
	G	X Line Energy T	■	92052	12			■		
	G	X Line Energy Z	■	03885	19	■			■	■
	G	XDA5+		61310	30		■			
	G	XDN2		63465	27		■			
295/60R22.5	J	X Line Energy Z - 295		66205	19	■			■	■
295/75R22.5	G	X Line Energy T2	■	24179				■		
295/80R22.5	H	XZA2 ENERGY	■	76807		■				■
305/70R22.5	L	XRV		93499		■				■
315/80R22.5	L	X Line Energy Z Coach		09807		■				■
365/70R22.5	L	XDN2 GRIP		04355	28		■		■	
445/50R22.5	L	XZA		52215		■				■
	L	X One Line Energy D	■	24306			■		■	
	L	X One Line Energy T2	■	75029	12			■	■	
455/55R22.5	L	X One Line Grip D	■	55210	27		■			
	L	X One Line Grip D	■	41721			■			
11R24.5	H	X Line Energy T	■	92448				■		
	H	X Line Energy T2	■	45557	11			■		
	H	X Line Energy Z	■	18748	19	■			■	■
	H	XDA5+		97973	30		■			
	H	XDN2		87129	27		■			
	H	XD62		06613	26		■		■	
275/80R24.5	G	X Line Energy D	■	36992			■			
	G	X Line Energy T	■	92981	12			■		
	G	XDA5+		01376	30		■			
	G	XDN2		75684	27		■			
285/75R24.5	H	X Line Energy Z	■	81281	19	■			■	■
285/75R24.5	G	X Line Energy T2	■	31132				■		

REGIONAL										
Size	Load Range	Tread Name	Smartway® Verified	Catalog Number	Tread Depth 32nd	Wheel Position			Directional	RV Use
						AWP	Drive	Trailer		
10R17.5	G	XZA 17.5		05008		■				
215/75R17.5	G	X Multi Z - 17.5		25151		■			■	
	H	XTE 2+		48593	15			■		
	J	X Multi T2 - 17.5		37607	15			■		
245/70R17.5	H	X Multi T 17.5		18537				■		
	J	X Multi T2 - 17.5		38670	16			■		
225/70R19.5	G	XD62 19.5		24975			■			
	G	XZE		91043	17	■				■
245/70R19.5	H	XD62 19.5		23134			■			
	H	XZE		75997	18	■				■
	J	XTE2		67113	16			■		
265/70R19.5	G	X Multi Z - 19.5	■	75319		■			■	■
	G	XD62+		95319	20		■		■	
285/70R19.5	H	X Multi D 19.5	■	09733			■		■	
	H	X Multi Z - 19.5	■	31459	16	■			■	■
10R22.5	J	XTE2		51278	18			■		
	G	X Multi D		74441			■			
11R22.5	G	XZE		99141	21	■				■
	G	X Multi D		33502			■			
	G	X Multi Energy D	■	58300	24		■			
	G	XTE		21307	16			■		
	G	XZE 2		76390	22	■				■
	H	X Multi D		80276	28		■			
12R22.5	H	X Multi Energy Z2	■	22514	20	■			■	
	H	XZE 2		67042	22	■				■
13R22.5	H	XZE *		85335		■				■
255/70R22.5	H	X Multi D		76760			■			
	H	XZE *		61737	18	■				■
275/80R22.5	G	X Multi D		76710			■			
	G	X Multi Energy D	■	63049	24		■			
	G	XTE		17706	16			■		
	G	XZE 2		55895	22	■				■
295/60R22.5	H	X Multi D - 295		01637	22	■				■
295/75R22.5	J	X Multi D - 295		20735			■		■	
295/55R22.5	H	X Multi Energy Z2	■	08630		■			■	
385/55R22.5	L	X Multi T2		28644				■		
445/50R22.5	L	X One Multi Energy T	■	33836				■	■	
	L	X One Multi T	■	40459	18			■	■	
455/55R22.5	L	X One Multi Energy T	■	47798				■	■	
	L	X One Multi Energy T	■	07025				■		
11R24.5	G	XTE		07025				■		
	G	XZE 2		91867	22	■				■
	H	X Multi D		27287	28		■			
	H	X Multi Energy D	■	61739	24		■			
275/80R24.5	H	XZE 2		88507	22	■				■
	G	XZE 2		75519		■				■

★ With chip and cut resistant tread compound.

Michelin,
Orium,
Riken,
Taurus
(Hungary),
Uniroyal
(North
America),
Tigar
Tyres,
Strial,
Sebring,
Stomil
Olsztyn
(Poland),
Camso,
Solideal,
Achilles,
Corsa

X° TWEEL®			
	TREAD DESIGN	MSPN	TD 32NDS
10N16.5	X° TWEEL® SSL 2 ALL TERRAIN	93405	31/32NDS
	X° TWEEL® SSL 2 HARD SURFACE TRACTION	69607	48/32NDS
12N16.5	X° TWEEL® SSL 2 ALL TERRAIN	07013	31/32NDS
	X° TWEEL® SSL 2 HARD SURFACE TRACTION	45604	48/32NDS
	X° TWEEL® SSL 2 HARD SURFACE TRACTION/2 PIECE HUB	76642	12/32NDS
	X° TWEEL® SSL 2 HARD SURFACE TRACTION/2 PIECE HUB*	56289	48/32NDS
13x6.5N6	X° TWEEL® CASTER	73818	
13x6.5N6	X° TWEEL® CASTER	52441	
13x6.5N6	X° TWEEL® CASTER	41011	
13x6.5N6	X° TWEEL® CASTER	05768	
15x6.0N6	X° TWEEL® CASTER	49136	
15x6.0N6	X° TWEEL® CASTER	31716	
18x8.5N10	X° TWEEL® TURF	01133	
	X° TWEEL® TURF FOR GOLF CARTS	01133	
	X° TWEEL® TURF FOR UTILITY VEHICLES	78245	
22x11N12	X° TWEEL® TURF	37968	
22x11N12 XL	X° TWEEL® TURF	47260	
24x12N12	X° TWEEL® TURF	50357	
24x12N12	X° TWEEL® TURF	77185	
24x12N12	X° TWEEL® TURF	54411	
24x12N12	X° TWEEL® TURF	14365	
24x12N12	X° TWEEL® TURF	80949	
26x12N12	X° TWEEL® TURF	08189	
26x12N12	X° TWEEL® TURF	25913	
26x12N12	X° TWEEL® TURF	25926	

INDUSTRIAL AND PORT				
	TREAD DESIGN	TRA CODE	TD 32NDS	TD MM
5.00R8	X° ZM™	—	29	23
150/75R8	X° ZM™	—	20	16
180/70R8	X° ZM™	—	24	19
6.00R9	X° ZM™	—	30	24
	XZR	—	13	10
200/75R9	X° ZM™	—	28	22
6.50R10	X° ZM™	—	34	27
	XZR	—	14	11
225/75R10	X° ZM™	—	30	24
7.00R12	X° ZM™	—	35	28
	XZR	—	14	11
250/60R12	X° ZM™	—	33	26
250/75R12	X° ZM™	—	35	28
7.00R15	X° ZM™	—	35	28
	X° ZM™	—	38	30
7.50R15	X° LISSE COMPACTEUR™	C1	11	9
8.25R15	X° ZM™	—	41	33
225/75R15	X° ZM™	—	31	25
250/70R15	X° ZM™	—	35	28
315/70R15	X° ZM™	—	44	35
355/65R15	X° ZM™	—	44	35
13/80R20	X° LISSE COMPACTEUR™	C1	15	12
9.00R20	X° ZM™	—	41	33
10.00R20	X° ZM™	—	44	35
11.00R20	X° ZM™	—	48	38
12.00R20	X° ZM™	—	50	40
280/75R22.5	X TERMINAL-T	—	39	31
310/80R22.5	X TERMINAL-T	—	38	30
12.00R24	X° ZM™	—	50	40
14.00R24	X° ZM™	—	79	63
15.00R24	X° LC	C1	27	21
450/95R25	X-STRADDLE® 2	E3	63	50
16.00R25	X° ZM™	—	89	71
480/95R25	X-STRADDLE® 2	E3	63	50
18.00R25	XZM® 2+	—	98	78
	X STACKER® 2	—	91	72
18.00R33	XZM® 2+	—	98	78

		<table><tr><th colspan="2"></th><th colspan="3">MICHELIN® AIRSTOP® TUBES*</th><th colspan="2">FLAPS</th></tr><tr><th>RIM DIAMETER</th><th>SIZE</th><th>TUBE CODE</th><th>VALVE REFERENCE</th><th>MSPN</th><th>FLAP CODE</th><th>MSPN</th></tr><tr><td rowspan="2">15"</td><td>7.50R15</td><td>15/16 J</td><td>570</td><td>17542</td><td>15 x 6.00 E MI</td><td>38045</td></tr><tr><td>8.25R15</td><td>15 K</td><td>1221</td><td>38850</td><td>15 x 6.00 E MI</td><td>38045</td></tr><tr><td rowspan="5">20"</td><td>9.00R20</td><td>20 M</td><td>1157</td><td>25980</td><td>20 x 7.50</td><td>43689</td></tr><tr><td>10.00R20</td><td>20 N</td><td>1158</td><td>17078</td><td>20 x 7.50</td><td>43689</td></tr><tr><td>11.00R20</td><td>20 P</td><td>1158</td><td>06934</td><td>20 x 8.50 E MI</td><td>35472</td></tr><tr><td>12.00R20</td><td>20 Q</td><td>1158</td><td>39144</td><td>20 x 8.50 E MI</td><td>35472</td></tr><tr><td>14.00R20</td><td>20 Q</td><td>1158</td><td>39144</td><td>20 x 10.00 E MI</td><td>45030</td></tr><tr><td rowspan="4">24"</td><td>12.00R24</td><td>24 Q</td><td>582</td><td>11708</td><td>24/25 x 8.50 E</td><td>63382</td></tr><tr><td>13.00R24</td><td rowspan="3">24 TD</td><td rowspan="3">577</td><td rowspan="3">10168</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td></tr><tr><td>14.00R24</td></tr><tr><td>14.9R24</td></tr><tr><td rowspan="13">24/25"</td><td>14.00R24</td><td rowspan="4">24/25 T</td><td rowspan="4">752</td><td rowspan="4">49015</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="4"></td></tr><tr><td>15.00R24</td></tr><tr><td>13.00R25</td></tr><tr><td>14.00R25</td></tr><tr><td>14.00R24</td><td rowspan="4">24/25 T AM</td><td rowspan="4">1837 (TRJ650)</td><td rowspan="4">01072</td><td rowspan="4"></td><td rowspan="4"></td></tr><tr><td>15.00R24</td></tr><tr><td>14.00R25</td></tr><tr><td>17.5R25</td></tr><tr><td>16.00R24</td><td rowspan="3">24/25 V AM</td><td rowspan="3">1837 (TRJ650)</td><td rowspan="3">33216</td><td rowspan="3"></td><td rowspan="3"></td></tr><tr><td>16.00R25</td></tr><tr><td>20.5R25</td></tr><tr><td rowspan="7">25"</td><td>15.5R25</td><td>25 S AM</td><td>1837 (TRJ650)</td><td>11562</td><td></td><td></td></tr><tr><td>395/80R25</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>18.00R25</td><td rowspan="2">25 W AM</td><td rowspan="2">1837 (TRJ650)</td><td rowspan="2">36098</td><td></td><td></td></tr><tr><td>23.5R25</td></tr><tr><td>21.00R25</td><td rowspan="3">25 YB AM</td><td rowspan="3">1837 (TRJ650)</td><td rowspan="3">09744</td><td></td><td></td></tr><tr><td>26.5R25</td></tr><tr><td>29.5R25</td></tr><tr><td>33"</td><td>33.5R33</td><td>33/35 YE AM</td><td>1837 (TRJ650)</td><td>58257</td><td>20-33</td><td>15578</td></tr><tr><td>35"</td><td>33.25R35</td><td>33/35 YE AM</td><td>1837 (TRJ650)</td><td>58257</td><td></td><td></td></tr></table>			MICHELIN® AIRSTOP® TUBES*			FLAPS		RIM DIAMETER	SIZE	TUBE CODE	VALVE REFERENCE	MSPN	FLAP CODE	MSPN	15"	7.50R15	15/16 J	570	17542	15 x 6.00 E MI	38045	8.25R15	15 K	1221	38850	15 x 6.00 E MI	38045	20"	9.00R20	20 M	1157	25980	20 x 7.50	43689	10.00R20	20 N	1158	17078	20 x 7.50	43689	11.00R20	20 P	1158	06934	20 x 8.50 E MI	35472	12.00R20	20 Q	1158	39144	20 x 8.50 E MI	35472	14.00R20	20 Q	1158	39144	20 x 10.00 E MI	45030	24"	12.00R24	24 Q	582	11708	24/25 x 8.50 E	63382	13.00R24	24 TD	577	10168			14.00R24	14.9R24	24/25"	14.00R24	24/25 T	752	49015			15.00R24	13.00R25	14.00R25	14.00R24	24/25 T AM	1837 (TRJ650)	01072			15.00R24	14.00R25	17.5R25	16.00R24	24/25 V AM	1837 (TRJ650)	33216			16.00R25	20.5R25	25"	15.5R25	25 S AM	1837 (TRJ650)	11562			395/80R25						18.00R25	25 W AM	1837 (TRJ650)	36098			23.5R25	21.00R25	25 YB AM	1837 (TRJ650)	09744			26.5R25	29.5R25	33"	33.5R33	33/35 YE AM	1837 (TRJ650)	58257	20-33	15578	35"	33.25R35	33/35 YE AM	1837 (TRJ650)	58257		
		MICHELIN® AIRSTOP® TUBES*			FLAPS																																																																																																																																											
RIM DIAMETER	SIZE	TUBE CODE	VALVE REFERENCE	MSPN	FLAP CODE	MSPN																																																																																																																																										
15"	7.50R15	15/16 J	570	17542	15 x 6.00 E MI	38045																																																																																																																																										
	8.25R15	15 K	1221	38850	15 x 6.00 E MI	38045																																																																																																																																										
20"	9.00R20	20 M	1157	25980	20 x 7.50	43689																																																																																																																																										
	10.00R20	20 N	1158	17078	20 x 7.50	43689																																																																																																																																										
	11.00R20	20 P	1158	06934	20 x 8.50 E MI	35472																																																																																																																																										
	12.00R20	20 Q	1158	39144	20 x 8.50 E MI	35472																																																																																																																																										
	14.00R20	20 Q	1158	39144	20 x 10.00 E MI	45030																																																																																																																																										
24"	12.00R24	24 Q	582	11708	24/25 x 8.50 E	63382																																																																																																																																										
	13.00R24	24 TD	577	10168																																																																																																																																												
	14.00R24																																																																																																																																															
	14.9R24																																																																																																																																															
24/25"	14.00R24	24/25 T	752	49015																																																																																																																																												
	15.00R24																																																																																																																																															
	13.00R25																																																																																																																																															
	14.00R25																																																																																																																																															
	14.00R24	24/25 T AM	1837 (TRJ650)	01072																																																																																																																																												
	15.00R24																																																																																																																																															
	14.00R25																																																																																																																																															
	17.5R25																																																																																																																																															
	16.00R24	24/25 V AM	1837 (TRJ650)	33216																																																																																																																																												
	16.00R25																																																																																																																																															
	20.5R25																																																																																																																																															
	25"	15.5R25	25 S AM	1837 (TRJ650)	11562																																																																																																																																											
		395/80R25																																																																																																																																														
18.00R25		25 W AM	1837 (TRJ650)	36098																																																																																																																																												
23.5R25																																																																																																																																																
21.00R25		25 YB AM	1837 (TRJ650)	09744																																																																																																																																												
26.5R25																																																																																																																																																
29.5R25																																																																																																																																																
33"	33.5R33	33/35 YE AM	1837 (TRJ650)	58257	20-33	15578																																																																																																																																										
35"	33.25R35	33/35 YE AM	1837 (TRJ650)	58257																																																																																																																																												
4.	Nokian Tyres, Фінляндія Nordman	TIRE SIZES AND SPECIFICATIONS NOKIAN TYRES ONE • ALL-SEASON TIRES P-METRIC • ARAMID STRONG SIDEWALLS • UTQG: 720 A/A • 80,000 MILE LIMITED TREADWEAR WARRANTY <table><tr><th rowspan="2">Rim</th><th rowspan="2">Size/Speed Rating</th><th rowspan="2">Product Code</th><th rowspan="2">Weight (lbs)</th><th colspan="2">Rim Width</th><th rowspan="2">Overall Diameter</th><th rowspan="2">Overall Depth</th><th rowspan="2">Tread Depth (32nd)</th><th colspan="2">Revolutions Per</th></tr><tr><th>Approved</th><th>Measuring</th><th>Mile</th><th>Km</th></tr><tr><td rowspan="4">14</td><td>185/65 R 14 86H</td><td>T431337</td><td>16.5</td><td>5-6.5</td><td>5.5</td><td>23.5</td><td>7.4</td><td>11.5</td><td>885</td><td>550</td></tr><tr><td>205/70 R 15 96T</td><td>T431338</td><td>20.9</td><td>5-7</td><td>6.0</td><td>26.3</td><td>8.2</td><td>11.5</td><td>788</td><td>490</td></tr><tr><td>215/70 R 15 98T</td><td>T431339</td><td>25.4</td><td>5.5-7</td><td>6.5</td><td>26.9</td><td>8.7</td><td>11.5</td><td>776</td><td>482</td></tr><tr><td>185/65 R 15 88H</td><td>T431340</td><td>16.5</td><td>5-6.5</td><td>5.5</td><td>24.5</td><td>7.4</td><td>11.5</td><td>847</td><td>526</td></tr><tr><td rowspan="5">15</td><td>195/65 R 15 91H</td><td>T431341</td><td>17.6</td><td>5.5-7</td><td>6.0</td><td>25.0</td><td>7.9</td><td>11.5</td><td>834</td><td>518</td></tr><tr><td>205/65 R 15 94H</td><td>T431342</td><td>19.8</td><td>5.5-7.5</td><td>6.0</td><td>25.5</td><td>8.2</td><td>11.5</td><td>813</td><td>505</td></tr><tr><td>185/60 R 15 84H</td><td>T431343</td><td>16.5</td><td>5-6.5</td><td>5.5</td><td>23.7</td><td>7.4</td><td>11.5</td><td>876</td><td>545</td></tr><tr><td>195/60 R 15 88H</td><td>T431344</td><td>17.6</td><td>5.5-7</td><td>6.0</td><td>24.2</td><td>7.9</td><td>11.5</td><td>862</td><td>536</td></tr></table>	Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per		Approved	Measuring	Mile	Km	14	185/65 R 14 86H	T431337	16.5	5-6.5	5.5	23.5	7.4	11.5	885	550	205/70 R 15 96T	T431338	20.9	5-7	6.0	26.3	8.2	11.5	788	490	215/70 R 15 98T	T431339	25.4	5.5-7	6.5	26.9	8.7	11.5	776	482	185/65 R 15 88H	T431340	16.5	5-6.5	5.5	24.5	7.4	11.5	847	526	15	195/65 R 15 91H	T431341	17.6	5.5-7	6.0	25.0	7.9	11.5	834	518	205/65 R 15 94H	T431342	19.8	5.5-7.5	6.0	25.5	8.2	11.5	813	505	185/60 R 15 84H	T431343	16.5	5-6.5	5.5	23.7	7.4	11.5	876	545	195/60 R 15 88H	T431344	17.6	5.5-7	6.0	24.2	7.9	11.5	862	536																																													
Rim	Size/Speed Rating	Product Code					Weight (lbs)	Rim Width				Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per																																																																																																																																	
			Approved	Measuring	Mile	Km																																																																																																																																										
14	185/65 R 14 86H	T431337	16.5	5-6.5	5.5	23.5	7.4	11.5	885	550																																																																																																																																						
	205/70 R 15 96T	T431338	20.9	5-7	6.0	26.3	8.2	11.5	788	490																																																																																																																																						
	215/70 R 15 98T	T431339	25.4	5.5-7	6.5	26.9	8.7	11.5	776	482																																																																																																																																						
	185/65 R 15 88H	T431340	16.5	5-6.5	5.5	24.5	7.4	11.5	847	526																																																																																																																																						
15	195/65 R 15 91H	T431341	17.6	5.5-7	6.0	25.0	7.9	11.5	834	518																																																																																																																																						
	205/65 R 15 94H	T431342	19.8	5.5-7.5	6.0	25.5	8.2	11.5	813	505																																																																																																																																						
	185/60 R 15 84H	T431343	16.5	5-6.5	5.5	23.7	7.4	11.5	876	545																																																																																																																																						
	195/60 R 15 88H	T431344	17.6	5.5-7	6.0	24.2	7.9	11.5	862	536																																																																																																																																						

NOKIAN TYRES ONE • ALL-SEASON TIRES										
Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (kg)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per	
				Approved	Measuring				Mile	Km
16	205/70 R 16 97H	T432133	24.3	5-7	6.0	27.3	8.2	11.5	764	475
	215/70 R 16 100H	T431335	26.5	5.5-7	6.5	27.9	8.7	11.5	747	464
	225/70 R 16 103H	T431345	27.6	6-7.5	6.5	28.4	9.0	11.5	731	454
	235/70 R 16 106T	T431346	27.6	6-8	7.0	29.0	9.4	11.5	715	444
	205/65 R 16 95H	T431347	24.3	5.5-7.5	6.0	26.5	8.2	11.5	781	485
	215/65 R 16 98H	T431336	25.4	6-7.5	6.5	27.0	8.7	11.5	770	478
	225/65 R 16 100H	T431348	26.5	6-8	6.5	27.5	9.0	11.5	758	471
	235/65 R 16 103T	T431349	28.7	6.5-8.5	7.0	28.0	9.4	11.5	742	461
	205/60 R 16 92V	T431350	19.8	5.5-7.5	6.0	25.7	8.2	11.5	807	502
	215/60 R 16 95V	T431351	24.3	6-7.5	6.5	26.1	8.7	11.5	794	493
	225/60 R 16 98V	T431352	26.5	6-8	6.5	26.6	9.0	11.5	781	485
	235/60 R 16 100H	T431353	27.6	6.5-8.5	7.0	27.1	9.4	11.5	770	478
	205/55 R 16 91V	T431354	19.8	5.5-7.5	6.5	24.9	8.4	11.5	834	518
	215/55 R 16 97H XL	T431355	20.9	6-7.5	7.0	25.3	8.9	11.5	820	509
	215/65 R 17 99T	T431330	26.5	6-7.5	6.5	28.0	8.7	11.5	742	461
17	225/65 R 17 102H	T431329	27.6	6-8	6.5	28.5	9.0	11.5	731	454
	235/65 R 17 104H	T431328	30.9	6.5-8.5	7.0	29.1	9.4	11.5	715	444
	245/65 R 17 107H	T431327	30.9	7-8.5	7.0	29.5	9.8	11.5	706	438
	215/60 R 17 96H	T431333	25.4	6-7.5	6.5	27.2	8.7	11.5	764	475
	225/60 R 17 99H	T431332	27.6	6-8	6.5	27.6	9.0	11.5	752	468
	235/60 R 17 102H	T431331	29.8	6.5-8.5	7.0	28.1	9.4	11.5	742	461
	215/55 R 17 94V	T431357	24.3	6-7.5	7.0	26.3	8.9	11.5	788	490
	225/55 R 17 97V	T431358	26.5	6-8	7.0	26.8	9.2	11.5	776	482
	235/55 R 17 99V	T431334	27.6	6.5-8.5	7.5	27.2	9.6	11.5	764	475
	205/50 R 17 93V XL	T431359	20.9	5.5-7.5	6.5	25.1	8.4	11.5	826	513
	215/50 R 17 95V XL	T431360	22.0	6-7.5	7.0	25.5	8.9	11.5	813	505
	225/50 R 17 98V XL	T431361	24.3	6-8	7.0	25.9	9.2	11.5	800	497
	235/50 R 17 96V	T431362	26.5	6.5-8.5	7.5	26.3	9.6	11.5	788	490
	215/45 R 17 91V XL	T431363	22.0	7-8	7.0	24.6	8.4	11.5	847	526
	225/45 R 17 94V XL	T431364	24.3	7-8.5	7.5	25.0	8.9	11.5	834	518
	235/45 R 17 97V XL	T431365	24.3	7.5-9	8.0	25.4	9.3	11.5	820	509
18	235/65 R 18 106V	T431318	32.0	6.5-8.5	7.0	30.0	9.4	11.5	691	429
	255/65 R 18 111T	T431317	35.3	7-9	7.5	31.1	10.2	11.5	668	415
	225/60 R 18 104H XL	T431322	28.7	6-8	6.5	28.6	9.0	11.5	726	451
	235/60 R 18 107V XL	T431321	30.9	6.5-8.5	7.0	29.1	9.4	11.5	715	444
	245/60 R 18 105H	T431320	32.0	7-8.5	7.0	29.6	9.8	11.5	700	435
	265/60 R 18 110V	T431319	35.3	7-9.5	8.0	30.5	10.7	11.5	681	423
	225/55 R 18 98V	T431324	27.6	6-8	7.0	27.8	9.2	11.5	747	464
	235/55 R 18 104V XL	T431323	28.7	6.5-8.5	7.5	28.1	9.6	11.5	742	461
	225/50 R 18 99V XL	T432003	25.4	6-8	7.0	26.9	9.2	11.5	776	482
	235/50 R 18 97V	T431326	27.6	6.5-8.5	7.5	27.3	9.6	11.5	764	475
	225/45 R 18 95V XL	T431366	23.1	7-8.5	7.5	25.9	8.9	11.5	800	497
	235/45 R 18 98V XL	T431367	25.4	7.5-9	8.0	26.3	9.3	11.5	788	490
	245/45 R 18 100V XL	T431368	27.6	7.5-9	8.0	26.6	9.6	11.5	781	485
	225/40 R 18 92V XL	T431369	23.1	7.5-9	8.0	25.1	9.1	11.5	826	513
	245/40 R 18 97V XL	T431370	25.4	8-9.5	8.5	25.7	9.8	11.5	807	502
19	255/60 R 19 113H XL	T431313	35.3	7-9	7.5	31.1	10.2	11.5	668	415
	225/55 R 19 99V	T431316	27.6	6-8	7.0	28.8	9.2	11.5	720	447
	235/55 R 19 105V XL	T431315	30.9	6.5-8.5	7.5	29.2	9.6	11.5	710	441
	245/55 R 19 103H	T431314	33.1	7-8.5	7.5	29.6	10.0	11.5	700	435
	255/50 R 19 107V XL	T432004	33.1	7-9	7.5	29.1	10.4	11.5	715	444
	245/45 R 19 102V XL	T432007	28.7	7.5-9	8.0	27.7	9.6	11.5	752	468
	235/40 R 19 96V XL	T432006	26.5	8-9.5	8.5	26.4	9.5	11.5	788	490
	245/40 R 19 98V XL	T432008	26.5	8-9.5	8.5	26.7	9.8	11.5	781	485
20	235/55 R 20 102V	T431308	33.1	6.5-8.5	7.5	30.2	9.6	11.5	691	429
	255/55 R 20 110V XL	T432005	36.4	7-9	8.0	31.0	10.4	11.5	673	418
	245/50 R 20 102V	T431311	32.0	7-8.5	7.5	29.7	10.0	11.5	700	435
	255/50 R 20 109V XL	T431310	34.2	7-9	8.0	30.1	10.4	11.5	691	429
	265/50 R 20 111V XL	T431309	35.3	7.5-9.5	8.5	30.5	10.9	11.5	681	423
	245/45 R 20 103V XL	T432009	29.8	7.5-9	8.0	28.7	9.6	11.5	726	451
	255/45 R 20 105V XL	T431312	32.0	8-9.5	8.5	29.1	10.0	11.5	715	444
	245/45 R 20 103 V XL	T432009	28.4	7.5-9	8.0	28.7	9.6	11.5	726	451
	255/45 R 20 105V XL	T431312	31.5	8-9.5	8.5	29.1	10.0	11.5	715	444

NOKIAN TYRES OUTPOST APT • ALL-WEATHER • ALL-TERRAIN TIRES

P-METRIC • ARAMID STRONG SIDEWALLS • UTQG RATING: 700(A)A • 65,000 MILE LIMITED TREADWEAR WARRANTY*



Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per	
				Approved	Measuring				Mile	Km
16	205/70 R 16 97H	T432129	25.4	5-7	6.0	27.3	8.2	13.0	764	475
	215/70 R 16 100H	T432111	27.6	5.5-7	6.5	27.9	8.7	13.0	747	464
	225/70 R 16 107T XL	T432929	29.8	6-7.5	6.5	28.4	9.0	13.0	731	454
	235/70 R 16 106T	T432106	30.9	6-8	7.0	29.0	9.4	13.0	715	444
	265/70 R 16 112T	T432109	37.5	7-9	8.0	30.6	10.7	13.0	681	423
17	215/65 R 17 98H	T432105	27.6	6-7.5	6.5	27.0	8.7	13.0	770	478
	215/65 R 17 99H	T432123	27.6	6-7.5	6.5	28.0	8.7	13.0	742	461
	225/65 R 17 102H	T432099	28.7	6-8	6.5	28.5	9.0	13.0	731	454
	235/65 R 17 104H	T432100	32.0	6.5-8.5	7.0	29.1	9.4	13.0	715	444
	245/65 R 17 107H	T432108	33.1	7-8.5	7.0	29.5	9.8	13.0	706	438
	255/65 R 17 110T	T432131	36.4	7-9	7.5	30.1	10.2	13.0	691	429
	265/65 R 17 112H	T432122	37.5	7.5-9.5	8.0	30.5	10.7	13.0	681	423
	215/60 R 17 96H	T432118	27.6	6-7.5	6.5	27.2	8.7	13.0	764	475
	225/60 R 17 99H	T432101	28.7	6-8	6.5	27.6	9.0	13.0	752	468
	235/60 R 17 102H	T432112	30.9	6.5-8.5	7.0	28.1	9.4	13.0	742	461
18	225/55 R 17 97H	T432103	27.6	6-8	7.0	26.8	9.2	13.0	776	482
	235/65 R 18 106H	T432114	33.1	6.5-8.5	7.0	30.0	9.4	13.0	691	429
	255/65 R 18 111H	T432124	37.5	7-9	7.5	31.1	10.2	13.0	668	415
	225/60 R 18 104H XL	T432110	29.8	6-8	6.5	28.6	9.0	13.0	726	451
	235/60 R 18 107H XL	T432102	32.0	6.5-8.5	7.0	29.1	9.4	13.0	715	444
	245/60 R 18 105H	T432107	34.2	7-8.5	7.0	29.6	9.8	13.0	700	435
	265/60 R 18 110H	T432113	37.5	7-9.5	8.0	30.5	10.7	13.0	681	423
	215/55 R 18 95H	T432130	27.6	6-7.5	7.0	27.3	8.9	13.0	764	475
	225/55 R 18 98H	T432120	28.7	6-8	7.0	27.8	9.2	13.0	747	464
	235/55 R 18 100H	T432104	29.8	6.5-8.5	7.5	28.1	9.6	13.0	742	461
19	235/50 R 18 97H	T432117	28.7	6.5-8.5	7.5	27.3	9.6	13.0	764	475
	255/60 R 19 113H XL	T432126	37.5	7-9	7.5	31.1	10.2	13.0	668	415
	225/55 R 19 99H	T432128	29.8	6-8	7.0	28.8	9.2	13.0	720	447
	235/55 R 19 105H XL	T432115	32.0	6.5-8.5	7.5	29.2	9.6	13.0	710	441
	245/55 R 19 103H	T432119	36.4	7-8.5	7.5	29.6	10.0	13.0	700	435
20	235/55 R 20 102H	T432125	33.1	6.5-8.5	7.5	30.2	9.6	13.0	691	429
	255/55 R 20 110H XL	T432127	37.5	7-9	8.0	31.0	10.4	13.0	673	418
	245/50 R 20 102H	T432121	33.1	7-8.5	7.5	29.7	10.0	13.0	700	435
	255/50 R 20 109H XL	T432116	36.4	7-9	8.0	30.1	10.4	13.0	691	429
	265/50 R 20 107T	T432310	37.5	7.5-9.5	8.5	30.5	10.9	13.0	681	423

The Nokian Tyres 30-Day Satisfaction Guarantee and Nokian Tyres Pothole Protection excludes tires used in commercial applications.

The Nokian Tyres 30-Day Satisfaction Guarantee and Nokian Tyres Pothole Protection excludes tires used in commercial applications.

NOKIAN TYRES OUTPOST NAT • ALL-WEATHER • ALL-TERRAIN TIRES

P-METRIC • ARAMID TOUGH SHIELD • UTQG RATING: 700(A)A • 60,000 MILE LIMITED TREADWEAR WARRANTY*



Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per	
				Approved	Measuring				Mile	Km
15	235/75 R 15 109T XL	T432846	30.9	6-8	6.5	28.9	9.3	14	720	447
16	245/75 R 16 111T	T432848	33.1	6.5-8	7.0	30.5	9.8	14	681	423
	265/75 R 16 116T	T432847	43.0	7-9	7.5	31.6	10.5	14	659	410
	235/70 R 16 109T XL	T432892	33.1	6-8	7.0	29.0	9.4	14	715	444
	245/70 R 16 111T XL	T432862	36.4	6.5-8	7.0	29.5	9.8	14	706	438
	255/70 R 16 111T	T432893	33.1	6.5-8.5	7.5	30.1	10.2	14	691	429
	265/70 R 16 112T	T432849	40.8	7-9	8.0	30.6	10.7	14	681	423

NOKIAN TYRES OUTPOST NAT • ALL-WEATHER • ALL-TERRAIN TIRES

Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per	
				Approved	Measuring				Mile	Km
17	235/75 R 17 109S	T432850	37.5	6-8	6.5	30.9	9.3	14	673	418
	255/75 R 17 115S	T432894	34.2	6.5-8.5	7.0	32.0	10.0	14	651	404
	245/70 R 17 110T	T432853	38.6	6.5-8	7.0	30.5	9.8	14	681	423
	255/70 R 17 112T	T432851	34.2	6.5-8.5	7.5	31.1	10.2	14	668	415
	265/70 R 17 115T	T432852	43.0	7-9	8.0	31.6	10.7	14	659	410
	285/70 R 17 116T	T432854	34.2	7.5-9.5	8.5	32.8	11.5	14	634	394
	235/65 R 17 108T XL	T432895	34.2	6.5-8.5	7.0	29.1	9.4	14	715	444
	245/65 R 17 111T XL	T432855	36.4	7-8.5	7.0	29.5	9.8	14	706	438
	255/65 R 17 110T	T432856	34.2	7-9	7.5	30.1	10.2	14	691	429
	265/65 R 17 116T XL	T432857	40.8	7.5-9.5	8.0	30.5	10.7	14	681	423
18	255/70 R 18 116H XL	T432858	37.5	6.5-8.5	7.5	32.1	10.2	14	647	402
	265/70 R 18 116S	T432859	37.5	7-9	8.0	32.6	10.7	14	638	396
	265/65 R 18 114H	T432841	41.9	8.5-9.5	8.0	31.5	10.7	14	659	410
	275/65 R 18 116T	T432842	45.2	7.5-9.5	8.0	32.1	11.0	14	647	402
	255/60 R 18 112H XL	T432896	37.5	7-9	7.5	30.0	10.2	14	691	429
	265/60 R 18 114T XL	T432843	40.8	7-9.5	8.0	30.5	10.7	14	681	423
20	275/60 R 20 115H	T432845	46.3	7.5-9.5	8.0	33.0	11.0	14	630	392
22	275/55 R 20 117T XL	T432844	45.2	7.5-9.5	8.5	31.9	11.2	14	651	404
	285/45 R 22 114H XL	T432840	38.6	9-10.5	9.5	32.1	11.2	14	647	402

P-METRIC • ARAMID TOUGH SHIELD • 60,000 MILE LIMITED TREADWEAR WARRANTY*



LT-METRIC • ARAMID TOUGH SHIELD • 60,000 MILE LIMITED TREADWEAR WARRANTY*



Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per Mile		Load Range / Ply Rating
				Approved	Measuring				Mile	Km	
15	LT235/75 R 15 116/113S	T432867	40.8	6-7	6.5	28.9	9.3	18	720	447	E (10)
	31x10.50 R 15 LT 109S	T432868	40.8	7-9	8.5	30.5	10.5	18	681	423	C (6)
16	LT215/85 R 16 115/112S	T432869	41.9	5.5-7	6.0	30.4	8.5	18.0	686	426	E (10)
	LT235/85 R 16 120/116S	T432870	41.9	6-7.5	6.5	31.7	9.3	18.0	655	407	E (10)
	LT225/75 R 16 115/112S	T432871	41.9	6-7	6.0	29.3	8.8	18.0	710	441	E (10)
	LT245/75 R 16 120/116S	T432863	41.9	6.5-8	7.0	30.5	9.8	18.0	681	423	E (10)
	LT265/75 R 16 123/120S	T432865	41.9	7-8	7.5	31.6	10.5	18.0	659	410	E (10)
	LT285/75 R 16 126/123S	T432866	41.9	7.5-9	8.0	32.8	11.3	18.0	634	394	E (10)
17	LT235/80 R 17 120/117S	T432882	43.0	6-7.5	6.5	31.8	9.3	18.0	655	407	E (10)
	LT245/75 R 17 121/118S	T432864	43.0	6.5-7.5	7.0	31.5	9.8	18.0	659	410	E (10)
	LT285/75 R 17 128/125S	T432861	43.0	7.5-9.5	8.0	33.9	11.3	18.0	615	382	E (10)
	LT245/70 R 17 119/116S	T432877	43.0	6.5-8	7.0	30.5	9.8	18.0	681	423	E (10)
	LT265/70 R 17 123/120S	T432878	43.0	7-8.5	8.0	31.6	10.7	18.0	659	410	E (10)
	LT275/70 R 17 124/121S	T432879	43.0	7-8.5	8.0	32.2	11.0	18.0	647	402	E (10)
	LT285/70 R 17 126/123S	T432875	43.0	7.5-9	8.5	32.8	11.5	18.0	634	394	E (10)
	LT315/70 R 17 128/125S	T432876	43.0	8-11	9.5	34.4	12.7	18.0	604	375	F (12)
	35x12.50 R 17 LT 128R	T432838	43.0	8.5-11	10.0	34.5	12.5	18.0	604	375	F (12)
	LT285/75 R 18 129/126S	T432837	44.1	7.5-9.5	8.0	34.8	11.3	18.0	597	371	E (10)
18	LT265/70 R 18 124/121S	T432872	44.1	7-9	8.0	32.6	10.7	18.0	638	396	E (10)
	LT275/70 R 18 125/122S	T432873	44.1	7-8.5	8.0	33.2	11.0	18.0	626	389	E (10)
	LT295/70 R 18 129/126S	T432874	44.1	7.5-10	8.5	34.3	11.8	18.0	607	377	E (10)
	LT275/65 R 18 123/120S	T432890	44.1	7.5-9	8.0	32.1	11.0	18.0	647	402	E (10)
	LT285/65 R 18 125/122S	T432891	44.1	8-10	8.5	32.6	11.5	18.0	638	396	E (10)
	35x12.50 R 18 LT 128R	T432887	44.1	8.5-11	10.0	34.5	12.5	18.0	604	375	F (12)
20	LT275/65 R 20 126/123S	T432888	45.2	7.5-9.5	8.0	34.1	11.0	18.0	611	380	E (10)
	LT285/65 R 20 127/124S	T432860	45.2	8-10	8.5	34.6	11.5	18.0	600	373	E (10)
	LT265/60 R 20 121/118S	T432889	45.2	7.5-9.5	8.0	32.5	10.7	18.0	638	396	E (10)
	LT275/60 R 20 123/120S	T432880	45.2	7.5-9.5	8.0	33.0	11.0	18.0	630	392	E (10)
	LT285/60 R 20 125/122S	T432881	45.2	8-10	8.5	33.5	11.5	18.0	622	387	E (10)
	LT295/60 R 20 126/123S	T432839	45.2	8-10	8.5	33.9	11.8	18.0	615	382	E (10)
	LT275/55 R 20 120/117S	T432884	45.2	7.5-9.5	8.5	31.9	11.2	18.0	651	404	E (10)
	LT285/55 R 20 122/119S	T432885	45.2	8-10	9.0	32.4	11.7	18.0	643	399	E (10)
	LT305/55 R 20 125/122S	T432886	45.2	8.5-11	9.5	33.2	12.4	18.0	626	389	F (12)
	35x12.50 R 20 LT 125R	T432883	45.2	8.5-11	10.0	34.5	12.5	18.0	604	375	F (12)

The Nokian Tyres WR G4 California tire carries an American Tire Distributors (ATD) certification and is suitable for use in commercial applications.

NOKIAN TYRES WR G4 • ALL-WEATHER TIRES

P-METRIC • UTQG RATING: 500(A) • 60,000 MILE LIMITED TREADWEAR WARRANTY



Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per Mile	
				Approved	Measuring				Mile	Km
15	175/65 R 15 84H	T430434	15.4	5-6	5.0	24.0	7.0	11	869	540
	185/65 R 15 88H	T430431	15.4	5-6.5	5.5	24.5	7.4	11	847	526
	195/65 R 15 91H	T430412	17.6	5.5-7	6.0	25.0	7.9	11	834	518
	205/65 R 15 94H	T430414	18.7	5.5-7.5	6.0	25.5	8.2	11	813	505
	185/60 R 15 84H	T430435	15.4	5-6.5	5.5	23.7	7.4	11	876	545
	195/60 R 15 88H	T430428	16.5	5.5-7	6.0	24.2	7.9	11	862	536
16	205/65 R 16 95H	T430447	24.3	5.5-7.5	6.0	26.5	8.2	11	781	485
	205/60 R 16 92V	T430429	19.8	5.5-7.5	6.0	25.7	8.2	11	807	502
	215/60 R 16 95H	T430413	24.3	6-7.5	6.5	26.1	8.7	11	794	493
	225/60 R 16 98V	T430415	25.4	6-8	6.5	26.6	9.0	11	781	485
	235/60 R 16 100H	T430432	26.5	6.5-8.5	7.0	27.1	9.4	11	770	478
	205/55 R 16 91V	T430411	17.6	5.5-7.5	6.5	24.9	8.4	11	834	518
	215/55 R 16 97H XL	T430417	20.9	6-7.5	7.0	25.3	8.9	11	820	509
	215/65 R 17 103H XL	T430436	26.5	6-7.5	6.5	28.0	8.7	11	742	461
	215/55 R 17 94V	T430416	24.3	6-7.5	7.0	26.3	8.9	11	788	490
	225/55 R 17 101V XL	T430418	25.4	6-8	7.0	26.8	9.2	11	776	482
17	235/55 R 17 99V	T430430	26.5	6.5-8.5	7.5	27.2	9.6	11	764	475
	205/50 R 17 93V XL	T430422	19.8	5.5-7.5	6.5	25.1	8.4	11	826	513
	215/50 R 17 95V XL	T430433	20.9	6-7.5	7.0	25.5	8.9	11	813	505
	225/50 R 17 98V XL	T430419	23.1	6-8	7.0	25.9	9.2	11	800	497
	215/45 R 17 91V XL	T430426	20.9	7-8	7.0	24.6	8.4	11	847	526
	225/45 R 17 94V XL	T430421	23.1	7-8.5	7.5	25.0	8.9	11	834	518
	235/45 R 17 97V XL	T430425	23.1	7.5-9	8.0	25.4	9.3	11	820	509
	245/45 R 17 99V XL	T430441	25.4	7.5-9	8.0	25.7	9.6	11	807	502
	225/60 R 18 100W	T430420	27.6	6-8	6.5	28.6	9.0	11	726	451
	245/55 R 18 103W	T430423	30.9	7-8.5	7.5	28.6	10.0	11	726	451
18	235/50 R 18 101V XL	T430424	26.5	6.5-8.5	7.5	27.3	9.6	11	764	475
	225/45 R 18 95V XL	T430427	22.0	7-8.5	7.5	25.9	8.9	11	800	497
	235/45 R 18 98V XL	T430442	24.3	7.5-9	8.0	26.3	9.3	11	788	490
	245/45 R 18 100V XL	T430438	26.5	7.5-9	8.0	26.6	9.6	11	781	485
	235/40 R 18 92V XL	T430440	20.9	7.5-9	8.0	25.1	9.1	11	826	513
	235/40 R 18 95V XL	T430439	24.3	8-9.5	8.5	25.4	9.5	11	820	509
	245/40 R 18 97V XL	T430437	24.3	8-9.5	8.5	25.7	9.8	11	807	502
	245/45 R 19 102V XL	T430443	27.6	7.5-9	8.0	27.7	9.6	11	752	468
	235/40 R 19 96W XL	T432012	26.5	8-9.5	8.5	26.4	9.5	11	788	490
	245/40 R 19 98W XL	T432011	26.5	8-9.5	8.5	26.7	9.8	11	781	485
19	255/35 R 19 96V XL	T430445	26.5	8.5-10	9.0	26.0	10.2	11	800	497

NOKIAN TYRES WR C3 • ALL-WEATHER TIRES

VAN/CARGO • ARAMID STRONG SIDEWALLS



Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per Mile		Load Range / Ply Rating
				Approved	Measuring				Mile	Km	
15	205/65 R 15 C 102/100 T	T429136	25.4	5.5-6.5	6.0	25.5	8.2	12	813	505	C (6)
	185/60 R 15 C 94/92 T	T429939	17.6	5.5-6	5.5	23.7	7.4	12	877	545	C (6)
16	195/75 R 16 C 107/105 S	T429127	26.5	5-6	5.5	27.5	7.7	12	758	471	D (8)
	225/75 R 16 C 121/120 R	T429130	34.2	6-7	6.0	29.3	8.8	12	710	441	E (10)
	235/65 R 16 C 121/119 R	T429142	34.2	6.5-7.5	7.0	28.0	9.4	12	741	461	F (10)

The Nokian Tyres 30-Day Satisfaction Guarantee and Nokian Tyres Pothole Protection excludes tires used in commercial applications.

NOKIAN TYRES HAKKAPELIITTA® R5 • WINTER TIRES



Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per Mile	
				Approved	Measuring				Mile	Km
14	175/65 R 14 82R	T432135	15.4	5-6	5.0	23.0	7.0	10.5	900	559
15	175/65 R 15 88R XL	T432140	16.5	5-6	5.0	24.0	7.0	10.5	869	540
	185/65 R 15 88R	T432141	16.5	5-6.5	5.5	24.5	7.4	10.5	847	526
	195/65 R 15 95R XL	T432142	18.7	5.5-7	6.0	25.0	7.9	10.5	834	518
	205/65 R 15 94R	T432143	20.9	5.5-7.5	6.0	25.5	8.2	10.5	813	505
	185/60 R 15 88R XL	T432138	16.5	5-6.5	5.5	23.7	7.4	10.5	876	545
	195/60 R 15 88R	T432139	17.6	5.5-7	6.0	24.2	7.9	10.5	862	536
16	205/65 R 16 99R XL	T432153	24.3	5.5-7.5	6.0	26.5	8.2	10.5	781	485
	205/60 R 16 96R XL	T432150	20.9	5.5-7.5	6.0	25.7	8.2	10.5	807	502
	215/60 R 16 99R XL	T432151	24.3	6-7.5	6.5	26.1	8.7	10.5	794	493
	225/60 R 16 102R XL	T432152	25.4	6-8	6.5	26.6	9.0	10.5	781	485
	195/55 R 16 91R XL	T432145	17.6	5.5-7	6.0	24.4	7.9	10.5	855	531
	205/55 R 16 94R XL	T432146	19.8	5.5-7.5	6.5	24.9	8.4	10.5	834	518
	215/55 R 16 97R XL	T432147	20.9	6-7.5	7.0	25.3	8.9	10.5	820	509
	225/55 R 16 99R XL	T432148	23.1	6-8	7.0	25.8	9.2	10.5	807	502
17	205/55 R 17 95R XL	T432161	20.9	5.5-7.5	6.5	25.9	8.4	10.5	800	497
	215/55 R 17 98R XL	T432162	24.3	6-7.5	7.0	26.3	8.9	10.5	788	490
	225/55 R 17 101R XL	T432163	25.4	6-8	7.0	26.8	9.2	10.5	776	482
	235/55 R 17 103R XL	T432164	27.6	6.5-8.5	7.5	27.2	9.6	10.5	764	475
	245/55 R 17 106R XL	T432165	29.8	7-8.5	7.5	27.6	10.0	10.5	752	468
	205/50 R 17 93R XL	T432157	19.8	5.5-7.5	6.5	25.1	8.4	10.5	826	513
	215/50 R 17 95R XL	T432158	20.9	6-7.5	7.0	25.5	8.9	10.5	813	505
	225/50 R 17 98R XL	T432159	24.3	6-8	7.0	25.9	9.2	10.5	800	497
	215/45 R 17 91T XL	T432154	19.8	7-8	7.0	24.6	8.4	10.5	847	526
	225/45 R 17 94T XL	T432155	22.0	7-8.5	7.5	25.0	8.9	10.5	834	518
	235/45 R 17 97T XL	T432156	24.3	7.5-9	8.0	25.4	9.3	10.5	820	509
	245/45 R 17 99T XL	T432156	26.5	7.5-9	8.0	25.7	9.6	10.5	807	502
18	225/50 R 18 99R XL	T432173	25.4	6-8	7.0	26.9	9.2	10.5	776	482
	245/50 R 18 104R XL	T432174	28.7	7-8.5	7.5	27.7	10.0	10.5	752	468
	225/45 R 18 95T XL	T432170	23.1	7-8.5	7.5	25.9	8.9	10.5	800	497
	235/45 R 18 98T XL	T432171	25.4	7.5-9	8.0	26.3	9.3	10.5	788	490
	245/45 R 18 100T XL	T432172	26.5	7.5-9	8.0	26.6	9.6	10.5	781	485
	225/40 R 18 92T XL	T432166	22.0	7.5-9	8.0	25.1	9.1	10.5	826	513
	235/40 R 18 95T XL	T432167	24.3	8-9.5	8.5	25.4	9.5	10.5	820	509
	245/40 R 18 97T XL	T432168	25.4	8-9.5	8.5	25.7	9.8	10.5	807	502
	275/40 R 18 103T XL	T432169	30.9	9-11	9.5	26.6	10.9	10.5	781	485
	155/70 R 19 88Q XL	T432187	17.6	4-5	4.5	27.6	6.2	10.5	752	468
19	225/45 R 19 96T XL	T432182	24.3	7-8.5	7.5	27.0	8.9	10.5	770	478
	235/45 R 19 99T XL	T432183	26.5	7.5-9	8.0	27.4	9.3	10.5	758	471
	245/45 R 19 102T XL	T432184	27.6	7.5-9	8.0	27.7	9.6	10.5	752	468
	255/45 R 19 104T XL	T432185	29.8	8-9.5	8.5	28.1	10.0	10.5	742	461
	225/40 R 19 93T XL	T432177	23.1	7.5-9	8.0	26.1	9.1	10.5	794	493
	235/40 R 19 96T XL	T432178	25.4	8-9.5	8.5	26.4	9.5	10.5	788	490
	245/40 R 19 98T XL	T432179	26.5	8-9.5	8.5	26.7	9.8	10.5	781	485
	255/40 R 19 100T XL	T432180	28.7	8.5-10	9.0	27.0	10.2	10.5	770	478
	255/35 R 19 96T XL	T432175	26.5	8.5-10	9.0	26.0	10.2	10.5	800	497
	275/35 R 19 100T XL	T432176	29.8	9-11	9.5	26.6	10.9	10.5	781	485
20	245/40 R 20 99T XL	T432191	27.6	8-9.5	8.5	27.7	9.8	10.5	752	468

STUDLESS

NOKIAN TYRES HAKKAPOLIITTA® R5 SUV • WINTER TIRES										
Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per	
				Approved	Measuring				Mile	Km
16	215/70 R 16 100R	T432196	27.6	5.5-7	6.5	27.9	8.7	11.5	747	464
	265/70 R 16 112R	T432197	36.4	7-9	8.0	30.6	10.7	11.5	681	423
	215/65 R 16 102R XL	T432195	25.4	6-7.5	6.5	27.0	8.7	11.5	770	478
17	245/70 R 17 110R	T432207	34.2	6.5-8	7.0	30.5	9.8	11.5	681	423
	265/70 R 17 115R	T432208	38.6	7-9	8.0	31.6	10.7	11.5	659	410
	215/65 R 17 103R XL	T432201	26.5	6-7.5	6.5	28.0	8.7	11.5	742	461
	225/65 R 17 106R XL	T432202	27.6	6-8	6.5	28.5	9.0	11.5	731	454
	235/65 R 17 108R XL	T432203	30.9	6.5-8.5	7.0	29.1	9.4	11.5	719	444
	245/65 R 17 111R XL	T432204	32.0	7-8.5	7.0	29.5	9.8	11.5	706	438
	255/65 R 17 114R XL	T432205	35.3	7-9	7.5	30.1	10.2	11.5	691	429
	265/65 R 17 116R XL	T432206	35.3	7.5-9.5	8.0	30.5	10.7	11.5	681	423
	215/60 R 17 100R XL	T432198	26.5	6-7.5	6.5	27.2	8.7	11.5	764	475
	225/60 R 17 103R XL	T432199	27.6	6-8	6.5	27.6	9.0	11.5	752	468
	235/60 R 17 106R XL	T432200	29.8	6.5-8.5	7.0	28.1	9.4	11.5	742	461
	255/70 R 18 116R XL	T432223	37.5	6.5-8.5	7.5	32.1	10.2	11.5	647	402
18	235/65 R 18 110R XL	T432220	32.0	6.5-8.5	7.0	30.0	9.4	11.5	691	429
	265/65 R 18 114R	T432221	37.5	8.5-9.5	8.0	31.5	10.7	11.5	659	410
	275/65 R 18 116R XL	T432222	39.7	7.5-9.5	8.0	32.1	11.0	11.5	647	402
	215/60 R 18 102R XL	T432338	27.6	6-7.5	6.5	28.1	8.7	11.5	742	461
	225/60 R 18 104R XL	T432214	27.6	6-8	6.5	28.6	9.0	11.5	726	451
	235/60 R 18 107R XL	T432215	30.9	6.5-8.5	7.0	29.1	9.4	11.5	715	444
	245/60 R 18 109R XL	T432216	33.1	7-8.5	7.0	29.6	9.8	11.5	700	435
	255/60 R 18 112R XL	T432217	35.3	7-9	7.5	30.0	10.2	11.5	691	429
	265/60 R 18 114R XL	T432218	36.4	7-9.5	8.0	30.5	10.7	11.5	681	423
	215/55 R 18 99R XL	T432210	27.6	6-7.5	7.0	27.3	8.9	11.5	764	475
	225/55 R 18 102R XL	T432211	27.6	6-8	7.0	27.8	9.2	11.5	747	464
	235/55 R 18 104R XL	T432212	28.7	6.5-8.5	7.5	28.1	9.6	11.5	742	461
19	255/55 R 18 109R XL	T432213	33.1	7-9	8.0	29.0	10.4	11.5	715	444
	235/50 R 18 101R XL	T432209	27.6	6.5-8.5	7.5	27.3	9.6	11.5	764	475
	225/55 R 19 103R XL	T432229	28.7	6-8	7.0	28.8	9.2	11.5	720	447
	235/55 R 19 105R XL	T432230	30.9	6.5-8.5	7.5	29.2	9.6	11.5	710	441
	245/55 R 19 107R XL	T432231	34.2	7-8.5	7.5	29.6	10.0	11.5	700	435
	255/55 R 19 111R XL	T432232	34.2	7-9	8.0	30.0	10.4	11.5	691	429
	235/50 R 19 103R XL	T432225	28.7	6.5-8.5	7.5	28.3	9.6	11.5	736	457
	245/50 R 19 105R XL	T432226	30.9	7-8.5	7.5	28.7	10.0	11.5	726	451
	255/50 R 19 107R XL	T432227	34.2	7-9	7.5	29.1	10.4	11.5	715	444
	265/50 R 19 110R XL	T432228	34.2	7.5-9.5	8.5	29.5	10.9	11.5	706	438
	275/60 R 20 115R	T432252	40.8	7.5-9.5	8.0	33.0	11.0	11.5	630	392
	235/55 R 20 102R	T432249	32.0	6.5-8.5	7.5	30.2	9.6	11.5	691	429
20	255/55 R 20 110R XL	T432250	36.4	7-9	8.0	31.0	10.4	11.5	673	418
	275/55 R 20 117R XL	T432251	38.6	7.5-9.5	8.5	31.9	11.2	11.5	651	404
	235/50 R 20 104T XL	T432243	30.9	6.5-8.5	7.5	29.3	9.7	11.5	710	441
	245/50 R 20 105R XL	T432244	32.0	7-8.5	7.5	29.7	10.0	11.5	700	435
	255/50 R 20 109R XL	T432245	34.2	7-9	8.0	30.1	10.4	11.5	691	429
	265/50 R 20 111R XL	T432246	36.4	7.5-9.5	8.5	30.5	10.9	11.5	681	423
	275/50 R 20 113R XL	T432247	37.5	7.5-9.5	8.5	30.9	11.2	11.5	673	418
	245/45 R 20 103T XL	T432238	30.9	7.5-9	8.0	28.7	9.6	11.5	726	451
	255/45 R 20 105T XL	T432239	32.0	8-9.5	8.5	29.1	10.0	11.5	715	444
	265/45 R 20 108T XL	T432240	34.2	8.5-10	9.0	29.4	10.5	11.5	706	438
	275/45 R 20 110T XL	T432241	35.3	8.5-10.5	9.0	29.8	10.8	11.5	695	432
	275/40 R 20 106T XL	T432236	33.1	9-11	9.5	28.7	10.9	11.5	726	451
	285/40 R 20 108T XL	T432508	35.3	9.5-11	10.0	29.0	11.4	11.5	715	444
STUDLESS ARAMID STRONG SIDEWALLS										

NOKIAN TYRES HAKKAPOLIITTA® R5 SUV • WINTER TIRES										
Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per	
				Approved	Measuring				Mile	Km
21	275/45 R 21 110T XL	T432263	37.5	8.5-10.5	9.0	30.7	10.7	11.5	677	421
	285/45 R 21 113T XL	T432264	39.7	9-10.5	9.5	31.1	11.2	11.5	668	415
	265/40 R 21 105T XL	T432257	34.2	9-10.5	9.5	29.3	10.7	11.5	710	441
	275/40 R 21 107T XL	T432258	34.2	9-11	9.5	29.6	10.9	11.5	700	435
	285/40 R 21 109T XL	T432259	35.3	9.5-11	10.0	30.0	11.4	11.5	691	429
	315/40 R 21 115T XL	T432261	41.9	10.5-12.5	11.0	30.9	12.6	11.5	673	418
22	315/35 R 21 111T XL	T432256	39.7	10.5-12.5	11.0	29.6	12.6	11.5	700	435
	275/50 R 22 115R XL	T432402	39.7	7.5-9.5	8.5	32.9	11.2	11.5	630	392
	285/45 R 22 114T XL	T432267	39.7	9-10.5	9.5	32.1	11.2	11.5	647	402
	275/40 R 22 107T XL	T432760	36.4	9-11	9.5	30.7	10.9	11.5	677	421
	285/40 R 22 110T XL	T432266	37.5	9.5-11	10.0	31.0	11.4	11.5	673	418
	315/35 R 22 111T XL	T432761	40.8	10.5-12.5	11.0	30.7	12.6	11.5	677	421
STUDLESS ARAMID STRONG SIDEWALLS										

NOKIAN TYRES HAKKAPELIITTA® R5 EV • WINTER TIRES										
Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per	
				Approved	Measuring				Mile	Km
18	215/55 R 18 99R XL	TF000028	26.5	6-7.5	7.0	27.3	8.9	11.5	764	475
	235/45 R 18 98T XL	TF000005	26.5	7.5-9	8.0	26.3	9.3	10.5	788	490
	225/55 R 19 103R XL	TF000007	26.5	6-8	7.0	28.8	9.2	11.5	720	447
19	235/55 R 19 105R XL	TF000029	29.8	6.5-8.5	7.5	29.2	9.6	11.5	710	441
	215/50 R 19 97R XL	TF000015	20.9	6-7.5	7.0	27.5	8.9	10.5	758	471
	235/50 R 19 103T XL	TF000008	27.6	6.5-8.5	7.5	28.3	9.6	10.5	736	457
	245/50 R 19 105R XL	TF000009	29.8	7-8.5	7.5	28.7	10.0	11.5	726	451
	255/50 R 19 107R XL	TF000030	32.0	7-9	7.5	29.1	10.4	11.5	715	444
	245/45 R 19 102T XL	TF000006	28.7	7.5-9	8.0	27.7	9.6	10.5	752	468
	255/45 R 19 104T XL	TF000002	29.8	8-9.5	8.5	28.1	10.0	10.5	742	461
	285/40 R 19 107T XL	TF000001	35.3	9.5-11	10.0	28.0	11.4	10.5	742	461
	235/50 R 20 104T XL	TF000010	28.7	6.5-8.5	7.5	29.3	9.7	11.5	710	441
20	255/50 R 20 109R XL	TF000011	33.1	7-9	8.0	30.1	10.4	11.5	691	429
	235/45 R 20 100T XL	TF000016	26.5	7.5-9	8.0	28.4	9.3	10.5	731	454
	245/45 R 20 103R XL	TF000026	29.8	7.5-9	8.0	28.7	9.6	10.0	726	451
	255/45 R 20 105T XL	TF000012	32.0	8-9.5	8.5	29.1	10.0	11.5	715	444
	265/45 R 20 108T XL	TF000031	33.1	8.5-10	9.0	29.4	10.5	11.5	706	438
	275/45 R 20 110T XL	TF000013	33.1	8.5-10.5	9.0	29.8	10.8	11.5	695	432
	255/40 R 20 101T XL	TF000017	28.7	8.5-10	9.0	28.0	10.2	10.5	742	461
	285/40 R 20 108R XL	TF000027	33.1	9.5-11	10.0	29.0	11.4	10.0	715	444
	235/35 R 20 92T XL	TF000018	26.5	8-9.5	8.5	26.5	9.5	10.5	781	485
	275/30 R 20 97T XL	TF000037	28.7	9-10	9.5	26.5	10.9	10.5	781	485
21	255/50 R 21 109R XL	TF000014	35.3	7-9	8.0	31.1	10.4	11.5	668	415
	265/45 R 21 108T XL	TF000019	33.1	8.5-10	9.0	30.4	10.5	11.5	686	426
	255/40 R 21 102T XL	TF000020	30.9	8.5-10	9.0	29.0	10.2	11.5	715	444
	255/40 R 21 111T XL	TF000021	36.4	10-11.5	10.5	30.3	11.9	11.5	686	426
	255/35 R 21 98T XL	TF000022	29.8	8.5-10	9.0	28.0	10.2	11.5	742	461
	265/35 R 21 101T XL	TF000003	29.8	9-10.5	9.5	28.3	10.7	10.5	736	457
	275/35 R 21 103T XL	TF000023	32.0	9-11	9.5	28.5	10.9	11.5	731	454
22	255/30 R 21 102T XL	TF000004	33.1	10-11	10.5	28.0	11.9	10.5	742	461
	265/40 R 22 106T XL	TF000024	35.3	9-10.5	9.5	30.4	10.7	11.5	686	426
	255/35 R 22 108T XL	TF000025	38.6	10-11.5	10.5	30.1	11.9	11.5	691	429

STUDLESS

NOKIAN TYRES HAKKAPELIITTA® 10 EV • WINTER TIRES										
Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per	
				Approved	Measuring				Mile	Km
18	235/45 R 18 98T XL	TSF000001	28.7	7.5-9	8.0	26.3	9.3	12.0	788	490
	255/55 R 19 111T XL	TSF000018	37.5	7-9	8.0	30.0	10.4	12.0	691	429
	215/50 R 19 93T	TSF000003	26.5	6-7.5	7.0	27.5	8.9	12.0	758	471
19	245/45 R 19 102T XL	TSF000002	32.0	7.5-9	8.0	27.7	9.6	12.0	752	468
	255/45 R 19 104T XL	TSF000019	33.1	8-9.5	8.5	28.1	10.0	12.0	742	461
	285/40 R 19 107T XL	TSF000020	38.6	9.5-11	10.0	28.0	11.4	12.0	742	461
20	235/50 R 20 104T XL	TSF000012	33.1	6.5-8.5	7.5	29.3	9.7	12.0	710	441
	255/50 R 20 109T XL	TSF000022	37.5	7-9	8.0	30.1	10.4	12.0	691	429
	215/45 R 20 95T XL	TSF000007	25.4	7-8	7.0	27.6	8.4	12.0	752	468
	235/45 R 20 100T XL	TSF000008	30.9	7.5-9	8.0	28.4	9.3	12.0	731	454
	245/45 R 20 103T XL	TSF000009	33.1	7.5-9	8.0	28.7	9.6	12.0	726	451
	255/45 R 20 105T XL	TSF000010	35.3	8-9.5	8.5	29.1	10.0	12.0	715	444
	265/45 R 20 108T XL	TSF000024	38.6	8.5-10	9.0	29.4	10.5	12.0	706	438
	275/45 R 20 110T XL	TSF000011	38.6	8.5-10.5	9.0	29.8	10.8	12.0	695	432
	255/40 R 20 101T XL	TSF000005	33.1	8.5-10	9.0	28.0	10.2	12.0	742	461
	285/40 R 20 108T XL	TSF000006	40.8	9.5-11	10.0	29.0	11.4	12.0	715	444
21	255/50 R 21 109T XL	TSF000023	39.7	7-9	8.0	31.1	10.4	12.0	668	415
	265/45 R 21 108T XL	TSF000015	39.7	8.5-10	9.0	30.4	10.5	12.0	686	426
	245/35 R 21 96T XL	TSF000013	30.9	8-9.5	8.5	27.8	9.8	12.0	747	464
	255/35 R 21 98T XL	TSF000016	34.2	8.5-10	9.0	28.0	10.2	12.0	742	461
	265/35 R 21 101T XL	TSF000014	34.2	9-10.5	9.5	28.3	10.7	12.0	736	457
	275/35 R 21 103T XL	TSF000017	37.5	9-11	9.5	28.5	10.9	12.0	731	454
	255/30 R 21 102T XL	TSF000021	39.7	10-11	10.5	28.0	11.9	12.0	742	461
	265/40 R 22 106T XL	TSF000024	38.6	8.5-10	9.0	29.4	10.5	12.0	706	438

FACTORY STUDD • NON-STUDD (SELECT SIZES)

NOKIAN TYRES HAKKAPELIITTA® CR4 • WINTER TIRES											
Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per		Load Range / Ply Rating
				Approved	Measuring				Mile	Km	
15	195/70 R 15 C 104/102R	T432371	25.4	5-6	6.0	25.8	7.9	11.5	807	502	C (6)
	215/70 R 15 C 109/107R	T432372	29.8	5.5-7	6.5	26.9	8.7	11.5	776	482	D (8)
	225/70 R 15 C 112/110R	T432373	32.0	6-7	6.5	27.4	9.0	11.5	758	471	D (8)
	185/65 R 15 C 97/95R	T432366	19.8	5-6	5.5	24.4	7.4	11.5	855	531	C (6)
	215/65 R 15 C 104/102R	T432374	27.6	6-7	6.5	26.0	8.7	11.5	800	497	C (6)
16	195/75 R 16 C 107/105R	T432367	27.6	5-6	5.5	27.5	7.7	11.5	758	471	C (6)
	205/75 R 16 C 113/111R	T432368	30.9	5.5-6.5	5.5	28.1	8.0	11.5	742	461	D (8)
	215/75 R 16 C 116/114R	T432369	33.1	5.5-7	6.0	28.7	8.5	11.5	726	451	D (8)
	225/75 R 16 C 121/120R	T432370	35.3	6-7	6.0	29.3	8.8	11.5	710	441	E (10)
	195/65 R 16 C 104/102R	T432375	25.4	5.5-6.5	6.0	26.0	7.9	11.5	800	497	D (8)
	205/65 R 16 C 107/105R	T432376	28.7	5.5-6.5	6.0	26.5	8.2	11.5	781	485	D (8)
	215/65 R 16 C 109/107R	T432377	29.8	6-7	6.5	27.0	8.7	11.5	770	478	D (8)
	225/65 R 16 C 112/110R	T432378	32.0	6-7	6.5	27.5	9.0	11.5	758	471	D (8)
	235/65 R 16 C 121/119R	T432379	35.3	6.5-7.5	7.0	28.0	9.4	11.5	742	461	E (10)
	215/60 R 17 C 109/107R	T432380	29.8	6-7	6.5	27.2	8.7	11.5	764	475	D (8)
17	235/60 R 17 C 117/115R	T432382	35.3	6.5-7.5	7.0	28.1	9.4	11.5	742	461	D (8)
	225/55 R 17 C 109/107R	T432381	29.8	6.5-7.5	7.0	26.8	9.2	11.5	776	482	D (8)

STUDLESS

NOKIAN TYRES HAKKAPELIITTA® 10 • WINTER TIRES										
Rim	Size/Speed Rating	Studded Product Code	Non-Studded Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per Mile
					Approved	Measuring				
14	175/65 R 14 86T XL	TS32421		16.5	5-6	5.0	23.0	7.0	11.5	900 559
	175/65 R 15 88T XL	TS32423		17.6	5-6	5.0	24.0	7.0	11.5	869 540
	185/65 R 15 92T XL	TS32424		18.7	5-6.5	5.5	24.5	7.4	11.5	847 526
15	195/65 R 15 95T XL	TS32425		19.8	5.5-7	6.0	25.0	7.9	11.5	834 518
	185/60 R 15 88T XL	TS32422		17.6	5-6.5	5.5	23.7	7.4	11.5	876 545
	205/65 R 16 95T	TS32432		27.6	5.5-7.5	6.0	26.5	8.2	11.5	781 485
16	205/60 R 16 96T XL	TS32430	T431478	22.0	5.5-7.5	6.0	25.7	8.2	11.5	807 502
	215/60 R 16 99T XL	TS32431	T431479	27.6	6-7.5	6.5	26.1	8.7	11.5	794 493
	195/55 R 16 91T XL	TS32426		19.8	5.5-7	6.0	24.4	7.9	11.5	855 531
	205/55 R 16 94T XL	TS32427	T431475	20.9	5.5-7.5	6.5	24.9	8.4	11.5	834 518
	215/55 R 16 97T XL	TS32428		23.1	6-7.5	7.0	25.3	8.9	11.5	820 509
	225/55 R 16 99T XL	TS32429		25.4	6-8	7.0	25.8	9.2	11.5	807 502
	205/55 R 17 95T XL	TS32439		23.1	5.5-7.5	6.5	25.9	8.4	11.5	800 497
17	215/55 R 17 98T XL	TS32440	T431488	27.6	6-7.5	7.0	26.3	8.9	11.5	788 490
	225/55 R 17 101T XL	TS32441	T431489	28.7	6-8	7.0	26.8	9.2	11.5	776 482
	205/50 R 17 93T XL	TS32436		22.0	5.5-7.5	6.5	25.1	8.4	11.5	826 513
	215/50 R 17 95T XL	TS32437		23.1	6-7.5	7.0	25.5	8.9	11.5	813 505
	225/50 R 17 98T XL	TS32438	T431486	26.5	6-8	7.0	25.9	9.2	11.5	800 497
	225/45 R 17 94T XL	TS32433		24.3	7-8.5	7.5	25.0	8.9	11.5	834 518
	235/45 R 17 97T XL	TS32434		26.5	7.5-9	8.0	25.4	9.3	11.5	820 509
18	245/45 R 17 99T XL	TS32435	T431483	28.7	7.5-9	8.0	25.7	9.6	11.5	807 502
	225/50 R 18 99T XL	TS32448		28.7	6-8	7.0	26.9	9.2	11.5	776 482
	225/45 R 18 95T XL	TS32445		25.4	7-8.5	7.5	25.9	8.9	11.5	800 497
	235/45 R 18 98T XL	TS32446		29.8	7.5-9	8.0	26.3	9.3	11.5	788 490
	245/45 R 18 100T XL	TS32447		29.8	7.5-9	8.0	26.6	9.6	11.5	781 485
	225/40 R 18 92T XL	TS32442		24.3	7.5-9	8.0	25.1	9.1	11.5	826 513
	235/40 R 18 95T XL	TS32443		27.6	8-9.5	8.5	25.4	9.5	11.5	820 509
19	245/40 R 18 97T XL	TS32444		27.6	8-9.5	8.5	25.7	9.8	11.5	807 502
	245/45 R 19 102T XL	TS32455		30.9	7.5-9	8.0	27.7	9.6	11.5	752 468
	235/40 R 19 96T XL	TS32452		28.7	8-9.5	8.5	26.4	9.5	11.5	788 490
	245/40 R 19 98T XL	TS32453		28.7	8-9.5	8.5	26.7	9.8	11.5	781 485
	255/40 R 19 100T XL	TS32454		32.0	8.5-10	9.0	27.0	10.2	11.5	770 478
20	245/40 R 20 99T XL	TS32458		30.9	8-9.5	8.5	27.7	9.8	11.5	752 468
	245/35 R 20 95T XL	TS32775	T432134	29.8	8-9.5	8.5	26.8	9.8	11.5	776 482

FACTORY STUDDED - NON-STUDDED (SELECT SIZES)

Nordman

TIRES FOR YOUR DIRECTION™

NORDMAN NORTH 9 • WINTER TIRES

Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per Mile
					Approved	Measuring				
15	185/65 R 15 92T XL	TS32808	T432897	16.5	5-6.5	5.5	24.5	7.4	12.0	847 526
	195/65 R 15 95T XL	TS32809	T432898	18.7	5.5-7	6.0	25.0	7.9	12.0	834 518
	185/60 R 15 88T XL	TS32810	T432899	15.4	5-6.5	5.5	23.7	7.4	12.0	876 545
16	205/60 R 16 96T XL	TS32811	T432900	19.8	5.5-7.5	6.0	25.7	8.2	12.0	807 502
	215/60 R 16 99T XL	TS32812	T432901	24.3	6-7.5	6.5	26.1	8.7	12.0	794 493
	225/60 R 16 102T XL	TS32813	T432902	26.5	6-8	6.5	26.6	9.0	12.0	781 485
	205/55 R 16 94T XL	TS32814	T432903	20.9	5.5-7.5	6.5	24.9	8.4	12.0	834 518
	215/55 R 16 97T XL	TS32815	T432904	22.0	6-7.5	7.0	25.3	8.9	12.0	820 509
17	215/55 R 17 98T XL	TS32816	T432905	24.3	6-7.5	7.0	26.3	8.9	12.0	788 490
	225/55 R 17 101T XL	TS32817	T432906	24.3	6-8	7.0	26.8	9.2	12.0	776 482
	205/50 R 17 93T XL	TS32818	T432907	18.7	5.5-7.5	6.5	25.1	8.4	12.0	826 513
	215/50 R 17 95T XL	TS32819	T432908	20.9	6-7.5	7.0	25.5	8.9	12.0	813 505
	225/50 R 17 98T XL	TS32820	T432909	24.3	6-8	7.0	25.9	9.2	12.0	800 497
	225/45 R 17 94T XL	TS32821	T432910	22.0	7-8.5	7.5	25.0	8.9	12.0	834 518

AVAILABLE FACTORY STUDDED OR NON-STUDDED

NORDMAN NORTH 9 SUV • WINTER TIRES

Rim	Size/Speed Rating	Product Code	Product Code	Weight (lbs)	Rim Width		Overall Diameter	Overall Depth	Tread Depth (32nd)	Revolutions Per Mile
					Approved	Measuring				
16	215/70 R 16 100T	TS32822	T432911	27.6	5.5-7	6.5	27.9	8.7	13.0	747 464
	215/65 R 16 102T XL	TS32824	T432913	26.5	6-7.5	6.5	27.0	8.7	13.0	770 478
	265/70 R 17 115T	TS32823	T432912	37.5	7-9	8.0	31.6	10.7	13.0	659 410
17	225/65 R 17 106T XL	TS32826	T432915	28.7	6-8	6.5	28.5	9.0	13.0	731 454
	235/65 R 17 108T XL	TS32827	T432916	30.9	6.5-8.5	7.0	29.1	9.4	13.0	715 444
	245/65 R 17 111T XL	TS32828	T432917	32.0	7-8.5	7.0	29.5	9.8	13.0	706 438
	265/65 R 17 116T XL	TS32829	T432918	34.2	7.5-9.5	8.0	30.5	10.7	13.0	681 423
	215/60 R 17 100T XL	TS32839	T432928	26.5	6-7.5	6.5	27.2	8.7	13.0	764 475
	225/60 R 17 103T XL	TS32838	T432927	27.6	6-8	6.5	27.6	9.0	13.0	752 468
	235/65 R 18 110T XL	TS32830	T432919	32.0	6.5-8.5	7.0	30.0	9.4	13.0	691 429
18	225/60 R 18 104T XL	TS32825	T432914	28.7	6-8	6.5	28.6	9.0	13.0	726 451
	235/60 R 18 107T XL	TS32831	T432920	33.1	6.5-8.5	7.0	29.1	9.4	13.0	715 444
	245/60 R 18 109T XL	TS32832	T432921	33.1	7-8.5	7.0	29.6	9.8	13.0	700 435
	265/60 R 18 114T XL	TS32833	T432922	34.2	7-9.5	8.0	30.5	10.7	13.0	681 423
	215/55 R 18 99T XL	TS32837	T432925	26.5	6-7.5	7.0	27.3	8.9	13.0	764 475
	225/55 R 18 102T XL	TS32835	T432924	27.6	6-8	7.0	27.8	9.2	13.0	747 464
	235/55 R 18 104T XL	TS32836	T432925	32.0	6.5-8.5	7.5	28.1	9.6	13.0	742 461
20	275/60 R 20 115T	TS32834	T432923	40.8	7.5-9.5	8.0	33.0	11.0	13.0	630 392

AVAILABLE FACTORY STUDDED OR NON-STUDDED

5. Митас тире,
Чехія

EM radial series (continued)

Technical data and load capacities

Tyre size	Tread pattern Type	Rim (permitted)	New		Max. in service		Loaded static radius (mm)	Rolling circumference (mm)	Tread depth (mm)	
			Overall diameter (mm)	Section width (mm)	Overall diameter (mm)	Overall width (mm)				
405/70 R 24 (16/70 R 24)	EM-01 TL	13 × 24	1 178	407	1 223	452	534	3 545	20	
440/70 R 24 (17.5 L R 24)	EM-02 TL	W 15 L × 24	1 250	465	1 299	490	563	3 750	38	
500/70 R 24 IND	EM-01	DW16L × 24 DW15L × 24	1 310	503	1 338	528	585	3 945	28	

Size (inch)	Tyre size (Alternative tyre size)	Tread pattern	Page
Tractor Industrial Radial Tyres			
18"	340/80 R 18 IND	TI-20	60
24"	460/70 R 24 IND (17.5 L R 24)	TI-22	60
26"	480/80 R 26 IND	TI-20	60
28"	440/80 R 28 IND	TI-20	60
Construction Applications Diagonal Tyres			
18"	320/80 - 18 IND (12.5/80-18)	TR-09	64
	340/80 - 18 IND (12.5-18)	MPT-04	66
20"	280/80 - 20 IND (10.5-20)	MPT-04	66
	340/80 - 20 IND (12.5-20)	MPT-04	66
	360/85 - 20 IND (14.5-20)	MPT-04	66
	400/70 - 20 IND (16.0/70-20)	MPT-04	66
	400/75 - 20 IND (16.0/70-20)	TR-09	64
22.5"	480/65 - 22.5 IND (18-22.5)	MPT-06	66
24"	400/70 - 24 IND	MPT-04	66
	400/80 - 24 IND (15.5/80-24)	TI-05	68
	16.9 - 24 IND	TI-04	68
	16.9 - 24	TG-01	68
	17.5 L - 24 IND	TI-02	68
	460/70 - 24 IND (17.5 L-24)	TI-05	70
	19.5 L - 24 IND	TI-05	70
	19.5 L - 24 IND	GRIP-n-RIDE	70
	500/70 - 24 IND (19.5 L-24)	TI-05	70
	21 L - 24 IND	GRIP-n-RIDE	70
26"	18.4 - 26 IND	TI-06	70
28"	16.9 - 28 IND	TI-06	70
	16.9 - 28	TG-01	70
30"	440/80 - 30 IND (16.9-30)	TI-09	72
Skid Steer Diagonal Tyres			
12"	23 × 8.50 - 12	SK-02	76
15"	27 × 8.50 - 15	SK-02	76
	27 × 10.50 - 15	SK-02	76
	31 × 15.50 - 15	SK-02	76
15.3"	10.0/75 - 15.3	SK-01	76
16.5"	10 - 16.5	SK-02	78
	10 - 16.5	SK-05	78
	10 - 16.5	BIG BOY	78
	12 - 16.5	SK-02	78
	12 - 16.5	SK-05	78
	12 - 16.5	BIG BOY	78
17.5"	14 - 17.5 IND	TR-10	78
18"	10.5/80 - 18	BIG BOY	78
	12.5/80 - 18	BIG BOY	78

Size (inch)	Tyre size (Alternative tyre size)	Tread pattern	Page
Material Handling Diagonal Tyres			
8"	4.00 - 8	FL-03	86
	4.00 - 8	FL-08	82
	15 × 4.5 - 8	FL-08	82
	5.00 - 8	FL-03	86
	5.00 - 8	FL-08	82
	16 × 6 - 8 (150/75-8)	FL-08	82
	18 × 7 - 8 (180/70-8)	FL-08	82
9"	6.00 - 9	FL-08	82
	21 × 8 - 9 (200/75-9)	FL-08	82
10"	6.50 - 10	FL-08	82
	7.50 - 10	FL-08	82
	23 × 9 - 10 (225/75-10)	FL-08	82
12"	7.00 - 12	FL-08	82
	23 × 10 - 12	FL-08	82
	27 × 10 - 12 (250/75-12)	FL-08	82
13"	23 × 5	FL-07	86
15"	7.00 - 15	FL-08	82
	7.50 - 15	FL-08	82
	8.15 - 15 (28 × 9-15)	FL-08	82
	8.25 - 15	FL-08	82
	250 - 15 (250/70-15)	FL-08	82
	28 × 12.5 - 15	FL-08	82
	300 - 15 (315/70-15)	FL-08	82

Firestone,
CIIA

Recommended Medium Truck Tire Application

CHOOSE THE FIRESTONE THAT'S BEST FOR YOU

■ Recommended ● Suitable

	SERVICE	PRODUCT	PAGE	STEER AXLE	DRIVE AXLE		TRAILER AXLE	
					SINGLE	TANDEM	TANDEM	SPREAD
FIRESTONE	Long Haul Regional Haul	FS591	9	■	●	●	●	
		FD692	10		■	■		
		FD694	11		■	■		
		FT492	12				■	●
	Long Haul Motor Coach	FS400	13	■	●	●	●	
		FD600	14		■	■		
	Regional Haul Urban	FS561A	15	■	●	●	●	
		FS561	16	■	●	●	●	
		Transforce AT ² Commercial	17	■	■	■	■	
		FD711	18		■	■		
	Waste Severe Service	FS860	19	■	●	●	●	
	On/Off Highway	FS821	20	■	■	■	●	
		T819	21	●	●	●	■	
		T831	22		■	■		
		FS818	23	■	■	■	■	
	Severe On/Off Highway	FD835	24		■	■		
FIRESTONE CLASSICS	Long Haul Regional Haul	FS509	26	■	●	●	●	
		FD609	27		■	■		
		FST409	28				■	●
	Regional Haul Urban	FS560 PLUS	29	■	●	●	●	●
		FD663	30		■	■		

SLOWER TIRE WEAR

FASTER TIRE WEAR

Long Haul Service | Regional Haul Service | Urban | On/Off-Highway Service

Medium Truck Tire Size & Availability Charts

LOAD RANGE & TREAD DEPTHS (IN 32NDS) INDICATE AVAILABILITY									
FIRESTONE	FS591	FD692	FD694	FT492	FS400	FD600	FS561A	FS561	Transforce AT ² Commercial
SmartWay [®] Verified & CARB Compliant	■	■		■			■		
Meets 3 Peak Mountain Snow Flake Criteria		■							■
PAGE	9	10	11	12	13	14	15	16	17
REPLACES GOODYEAR	Marathon LHS	Marathon LHD	Marathon RSD	Marathon LHT	Marathon LHS II HL	Endurance TSD	Marathon RSA Marathon RSS	6847 RSS	G622 RSD
REPLACES CONTINENTAL	EcoPlus HS3+ EcoPlus HS3	HDL2	HDL2 DL HDL2 DL+	EcoPlus HT3	Coach HA3	HDR2	HSR2 HSR3	HSR+	HSR+ HDR+
REPLACES YOKOHAMA	101ZL	709ZL	TY57mc2 TY527	109L			108R 1042R	1042R 124R	115R 714R, 720R
REPLACES HANKOOK	AL21 AL11	DL12 DL11	DL21 DL12	TL21			AH24 AH27	AH25	DH27 DH25
SIZE	LOAD RANGE - TREAD DEPTH								
9R22.5							F-19		
10R22.5							G-20		
11R22.5	G/H-18	G-26	H-30	G-11			G/H-21		
11R24.5	G/H-18	G-26	H-30	G-11			G/H-21		
12R22.5							H-21		
12R24.5									
215/75R17.5								H-15	
225/70R19.5								FG-16	FG-19
245/70R19.5								FG-18	G/H-18
255/70R22.5				H-11					
275/70R22.5							J-21		
295/75R22.5	G/H-18	G-26	H-30	G-11			G-21		
315/80R22.5					L-18	J-27			
385/65R22.5									
425/65R22.5									
445/65R22.5									
285/75R24.5	G-18	G-26	H-30	G-11			G-21		

		Medium Truck Tire Size & Availability Charts <table><tr><th colspan="6">LOAD RANGE & TREAD DEPTHS (IN 32NDS) INDICATE AVAILABILITY</th></tr><tr><th>FIRESTONE CLASSICS</th><th>FS509</th><th>FD609</th><th>FT409</th><th>FS560 PLUS</th><th>FD663</th></tr><tr><td>SmartWay Verified & CARB Compliant</td><td>■</td><td></td><td>■</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Meets 3 Peak Mountain Snow Flake Criteria</td><td></td><td>■</td><td></td><td></td><td>■</td></tr><tr><td>PAGE</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td></tr><tr><td>REPLACES BF GOODRICH</td><td>HW Control S</td><td>DR444</td><td>HW CONTROL T</td><td>ROUTE CONTROL S</td><td>ROUTE CONTROL D</td></tr><tr><td>REPLACES TOYO</td><td>M137, M177</td><td>M647</td><td>M157</td><td>M170, M122</td><td>M610</td></tr><tr><td>REPLACES GENERAL</td><td>HS</td><td>HD</td><td>HT</td><td>RA</td><td>RD</td></tr><tr><td>SIZE</td><td colspan="5">LOAD RANGE - TREAD DEPTH</td></tr><tr><td>10R22.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>F-25</td></tr><tr><td>11R22.5</td><td>G-19</td><td>G-29</td><td>G-12</td><td>G/H-19</td><td>G/H-26</td></tr><tr><td>11R24.5</td><td>G-19</td><td>G-29</td><td></td><td>G/H-19</td><td>G/H-26</td></tr><tr><td>12R22.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>H-26</td></tr><tr><td>255/70R22.5</td><td></td><td></td><td></td><td>H-18</td><td></td></tr><tr><td>295/75R22.5</td><td>G-19</td><td>G-29</td><td>G-12</td><td>G-19</td><td>G-26</td></tr><tr><td>285/75R24.5</td><td>G-19</td><td>G-29</td><td></td><td>G-19</td><td>G-26</td></tr></table>	LOAD RANGE & TREAD DEPTHS (IN 32NDS) INDICATE AVAILABILITY						FIRESTONE CLASSICS	FS509	FD609	FT409	FS560 PLUS	FD663	SmartWay Verified & CARB Compliant	■		■			Meets 3 Peak Mountain Snow Flake Criteria		■			■	PAGE	26	27	28	29	30	REPLACES BF GOODRICH	HW Control S	DR444	HW CONTROL T	ROUTE CONTROL S	ROUTE CONTROL D	REPLACES TOYO	M137, M177	M647	M157	M170, M122	M610	REPLACES GENERAL	HS	HD	HT	RA	RD	SIZE	LOAD RANGE - TREAD DEPTH					10R22.5					F-25	11R22.5	G-19	G-29	G-12	G/H-19	G/H-26	11R24.5	G-19	G-29		G/H-19	G/H-26	12R22.5					H-26	255/70R22.5				H-18		295/75R22.5	G-19	G-29	G-12	G-19	G-26	285/75R24.5	G-19	G-29		G-19	G-26
LOAD RANGE & TREAD DEPTHS (IN 32NDS) INDICATE AVAILABILITY																																																																																																		
FIRESTONE CLASSICS	FS509	FD609	FT409	FS560 PLUS	FD663																																																																																													
SmartWay Verified & CARB Compliant	■		■																																																																																															
Meets 3 Peak Mountain Snow Flake Criteria		■			■																																																																																													
PAGE	26	27	28	29	30																																																																																													
REPLACES BF GOODRICH	HW Control S	DR444	HW CONTROL T	ROUTE CONTROL S	ROUTE CONTROL D																																																																																													
REPLACES TOYO	M137, M177	M647	M157	M170, M122	M610																																																																																													
REPLACES GENERAL	HS	HD	HT	RA	RD																																																																																													
SIZE	LOAD RANGE - TREAD DEPTH																																																																																																	
10R22.5					F-25																																																																																													
11R22.5	G-19	G-29	G-12	G/H-19	G/H-26																																																																																													
11R24.5	G-19	G-29		G/H-19	G/H-26																																																																																													
12R22.5					H-26																																																																																													
255/70R22.5				H-18																																																																																														
295/75R22.5	G-19	G-29	G-12	G-19	G-26																																																																																													
285/75R24.5	G-19	G-29		G-19	G-26																																																																																													
	TMSI, США	Виробник обладнання для тестування та візуалізації пневматичних шин, пропонує вузько-спеціалізоване технологічне обладнання (для виробництва пневматичних шин, переробки сировинних та інших матеріалів, тощо), компанія також надає послуги інженерно-технічного спрямування URL: https://www.tmsi-usa.com																																																																																																
	MTS  https://www.mts.com/en	Системи тестування та моделювання автомобільної промисловості, вимірювання сили та моменту в шині, втрат при коченні шин, симуляція протектора шин, матеріалознавство, метали, композити, гума та еластомери, текстиль. Випробування напружень, зсуву, відшарування та розриву, втоми і зламів, тестування на вигин і згин, кручення, безконтакте вимірювання деформації, температури.																																																																																																
	AND 	Системи тестування та моделювання автомобільної промисловості, вимірювання сили та моменту в шині, втрат при коченні шин																																																																																																

	https://aanddtech.com/2018/03/02/fbtr/	
	Kistler Швейцарія	Виробництво випробувальних стендів пневматичних шин https://www.kistler.com/US/en/tire-testing/C00000072
	Дослідницька організація https://www.fka.de/en/competences/tyres-in-motion.html	Виробництво випробувальних стендів пневматичних шин. Проведення вимірювань зовнішнього контуру, сил, моментів, коефіцієнтів тертя. Динамічний аналіз основних характеристик, моделювання та симуляція поведінки пневматичних шин
	 https://www.micropoise.com/automotive-industry/dynamic-tire-wheel-balance-system	Виробництво випробувальних стендів: Модульні системи Системи випробування на однорідність Динамічний баланс шин Геометричні системи Системи маркування шин Системи сканування шин

Конструкції випробувальних стендів пневматичних шин

Моделі призначення

Загальний вигляд

Випробувальний стенд для пневматичних шин комп'ютеризованим керуванням швидкістю, навантаженням, тиском, кутом повороту та кутом розвалу з комп'ютеризованим аналізом даних.



Випробувальні стенди для тестування однорідності матеріалу шин



Випробувальний стенд опору коченню шин



Випробувальний стенд з навантаженням та прогином зразка для випробувань і автоматичним записом параметрів. Система складається з механічної вантажної рами з сервокерованими рухами.



Стенд для тестування шин на витривалість одного або двох опорних коліс і двох або чотирьох випробувальних станцій відповідно за допомогою однієї жорсткої трикутної зварної конструкції. Виконує вимірювання радіусів під навантаженням і коченням.



Стенд для аналізу шуму, що складається з двигуна дорожнього колеса в зборі та шпindelної каретки шини. Механізм каретки шпинделя забезпечує вертикальне переміщення та горизонтальне переміщення шпинделя шини для контролю та вимірювання навантаження.



Система сканування та аналізу профілю пневматичних шин.

Передбачено можливість встановлення на механічний носій, який реалізувати функцію сканування та аналізу профілю.

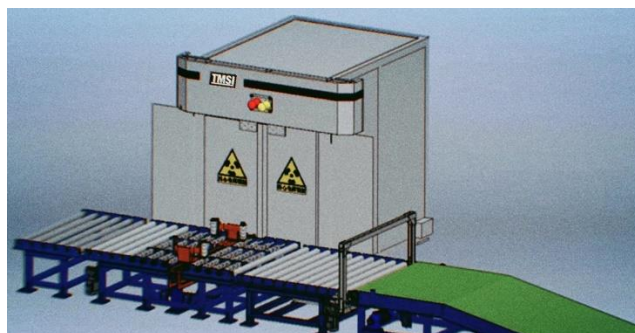


Машина для тестування слідів

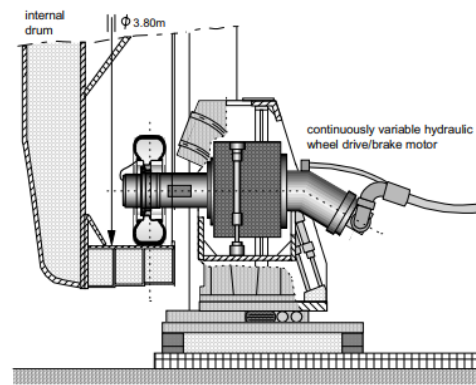
Шина має вертикальне навантаження і може піддаватися тяговому/гальмівному моменту та різним кутам ковзання та розвалу.



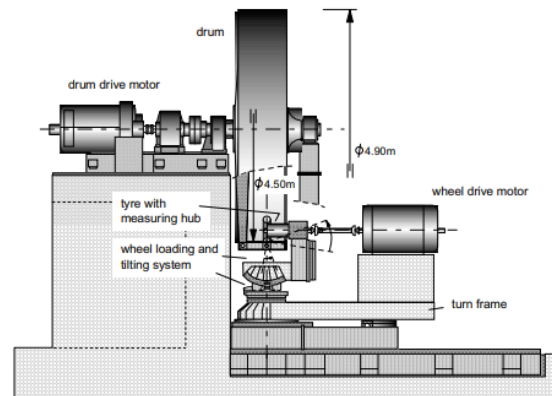
Рентгенівська установка для перевірки матеріалів внутрішньої структури шин. Ідентифіковує відстань між кордами корпусу та поворот, градацію стабілізації шарів сталевго дроту, неякісні з'єднання, повітряні порожнини, дефекти сталевго дроту, нерівномірний розподіл метало-корду, розриви та сторонні речовини.



Внутрішній стенд для
тестування барабанів
університету Карлсруе (H.
Pajesa Pneumatic tire)



Внутрішній тестовий стенд для
барабанів який спочатку
належав і експлуатувався
компанією Porsche



Сучасні критерії, уявлення та визначення пошкоджуваності матеріалів

№	Автори	Визначення властивостей пошкоджуваності
1.	Palmgren A. Майнер М.А.	Закон Пальмгрена-Майнера-Робінсона лінійного накопичення пошкоджень при змінному навантаженні. Визначення просторового напружено-деформованого стану матеріалів і конструкцій за рахунок лінійного додавання пошкоджень в параметрах континуального руйнування. Умова руйнування для дискретного і неперервного законів зміни амплітуди навантаження. $\sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N_{Ri}} = 1 \text{ або } \sum_0^{N_R} \frac{dN}{N_R(\sigma_a)} = 1,$ де N_i – число циклів дії навантаження постійної амплітуди; N_{Ri} – число циклів до руйнування при цьому навантаженні; n – число ступенів зміни навантаження; $(N_R) \sigma_a$ – число циклів до руйнування, що відповідає миттєвому значенню напруження σ_a. Мірою пошкодження матеріалу, викликаного за N_i циклів навантаженням з рівнем напруження σ_a. є умова руйнування $\sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N_{Ri}} = D_i, \quad \sum_{i=1}^n D_i = 1$
2.	Болотінний В.В.	Запропонований вираз дозволяє врахувати вплив послідовності прикладання програмного

		навантаження на довговічність: $F(D, \sigma) = \frac{\eta(\sigma)}{B} \sigma^b D^{1 - \frac{1}{\eta(\sigma)}},$ де B і b – параметри рівняння кривої втоми, $\eta(\sigma)$ - незростаюча функція σ, що визначається по результатам програмних досліджень з урахуванням граничних умов $D(0) = 0, \quad D^* = 1.$
3.	Серенсон С.В.3	Ефект процесу накопичення при циклічному навантаженні з уповільненням зростання кількості циклів пошкоджуваності для $\frac{dD}{dN}$ введено із спадаючою функцією $\psi(\sigma, N)$ $\frac{dD}{dN} = e^{A\sigma + B} \psi(\sigma, N),$ де $\psi(\sigma, N) = e^{-m\sigma(N-1)}$, σ- амплітудне значення напруження A і B експериментальні константи, що визначаються по кривій втоми.
4.	Работнов Ю.Н.	Рівняння накопичення пошкодженості передбачає урахування зменшення ефективного перерізу елемента конструкції за рахунок накопичення пошкодженості, що відповідає первісному фізичному трактуванню пошкодженості, Для урахування циклічного навантаження $\frac{dD}{dN} = \begin{cases} B \left(\frac{\sigma_1^0}{1-D} \right)^m & (\sigma_1^0 > 0); \\ 0 & (\sigma_1^0 < 0), \end{cases}$

		Де (формула) -номінальне напруження f-частота прикладення навантаження. При конкретизації величини σ_1^0 для окремих випадків вираз отримаємо у вигляді для симетричного навантаження ($\sigma_m=0$, $\sigma_a \neq \text{const}$): $\frac{dD}{dN} = C \frac{(\sigma_{a0} \sin 2\pi N)^m}{2^m (1-D)^m},$ для асиметричного навантаження ($\sigma_m = \text{const}$, $\sigma_a = \text{const}$): $\frac{dD}{dN} = C \frac{(\sigma_{m0} + \sigma_{a0} \sin 2\pi N)^m}{2^m (1-D)^m},$ де m і C константи матеріалу, σ_a, σ_{m0}, σ_{a0} -номінальні значення статичної і циклічної компонент.
5.	Грабовський А.П.	Встановлюється зв'язок між тензором напружень і деформацій або їх приростами як кінетика накопичення пошкоджень від реальних фізичних зв'язків між напруженнями та деформаціями для матеріалу і умов навантаження. Описуються основних закономірностей процесів кінетики накопичення пошкоджень в конструкційних матеріалах при різних режимах термомеханічного навантаження в основному в умовах руйнування матеріалу на відрив та зріз. $D_{\sigma+} = \frac{F_n}{F},$ де F-площа поперечного перерізу робочої зони зразка, F_n- площа дефектів в поперечному перетині, $D_{\sigma+}$-пошкоджуваність матеріалу від різного роду

		дефектів при статичному розшаруванні, $\sigma_+ = \frac{P}{F}$ -істинне напруження в поперечному перетині
6.	Лебедев А.А.	Рівень деградації матеріалу у вихідному стані, або після напрацювання, адекватний рівню його структурної неоднорідності, яка може бути оцінена статистичними характеристиками розсіювання чисел твердості при багаторазових вимірюваннях. Тому в якості характеристики розсіювання механічних властивостей обраний коефіцієнт m гомогенності матеріалу до розподілу Вейбула [1]. Випробування виконували при пропорційному зрості напруг $\begin{aligned} \sigma_z &= \frac{N}{\pi[D_0(1+\varepsilon_\theta) - \delta_0(1+\varepsilon_r)]\delta_0(1+\varepsilon_r)} + \frac{\sigma_\theta}{2}; \\ \sigma_\theta &= \frac{p[D_0(1+\varepsilon_\theta) - 2\delta_0(1+\varepsilon_r)]}{\delta_0(1+\varepsilon_r)}, \end{aligned} \quad (2)$ де N, p - осьова сила та внутрішній тиск відповідно; D₀, δ₀ - вихідний діаметр і товщина стінки робочої частини зразка; ε_θ – тангенційна деформація; ε_r - радіальна деформація, яка визначається з умови пружної зміни обсягу.
7.	Фам Дик Куан	Кінетика накопичення пошкоджень і критична величина пошкоженості при розтягуванні та стисканні відрізняються, то залежність її величини від функції виду напруженого стану повинна описуватися двома еліпсами, кожен з яких відповідає відповідному виду навантаження (розтягування та стиснення).

8.	Пискунов С.О.	На першій стадії процес накопичення пошкоджуваності відбувається до утворення макроскопічного дефекту, після чого відбувається розвиток зони континуального руйнування. Більш перспективним є інтерпретація пошкодженості як кінетичного процесу утворення і розвитку внутрішніх несучильностей. В ряді робіт закономірності втомного руйнування досліджуються шляхом введення феноменологічної міри руйнування D і відповідних кінетичних рівнянь при циклічному навантаженні. В механіці пошкоджуваності для опису руйнування при циклічному навантаженні в якості внутрішньої змінної частіше всього застосовується параметр пошкоджуваності D в формі $\frac{dD}{dN} = F(D, \sigma),$ Значення $D(0) = D_0$ відповідає початковому стану матеріалу (зокрема, наявності початкових пошкоджень, у випадку відсутності яких $D_0=0$), а значення $D(N^*) = 1$ – критичне значення пошкодженості, що відповідає повністю пошкодженому стану, в якому несуча здатність є вичерпаною. Вигляд функції $F(D, \sigma)$ і значення фізико-механічних констант матеріалу, що входять до цього співвідношення визначаються на основі експериментальних досліджень.
9.	Ларін О.О.	Кінетику росту пошкоджуваності пропонується представляти у вигляді степеневого закону для

асоційованої до параметру пошкоджуваності змінної Y (швидкість вивільнення енергії деформації при пошкодженні), яка при ізотермічному втомному пошкодженні матеріалу може бути визначена через функцію щільності енергії деформації W :

$$\frac{dD}{dt} = B \cdot (-Y)^c, \quad Y = -\frac{\partial W}{\partial D}.$$

Для нелінійно пружного матеріалу функція щільності енергії деформації визначається через інваріанти тензорів деформації або через головні подовження (λ_i) , які внаслідок наявності накопичення втоми матеріалу мають залежати від параметру пошкоджуваності, тому:

$$Y = -\frac{\partial W}{\partial D} = -\sum_{i=1}^3 \frac{\partial W}{\partial \lambda_i} \cdot \frac{\partial \lambda_i}{\partial D}.$$

Залежність функції щільності енергії деформації (яка фактично визначає фізичні співвідношення для матеріалу) від параметру пошкоджуваності вводиться в рамках концепції ефективних напружень. Тобто вважається, що існуючі фізичні співвідношення для непошкодженого матеріалу зберігаються, але повинні бути виписані для ефективних значень напруженого деформованого стану, які в роботі визначаються у сенсі Работнова-Качанова:

$$\tilde{S}_{ij} = \frac{S_{ij}}{1-D},$$

де визначення ефективних напружень (i, j S) дано для напружень 2-го тензору Піола-Кірхгофа, що

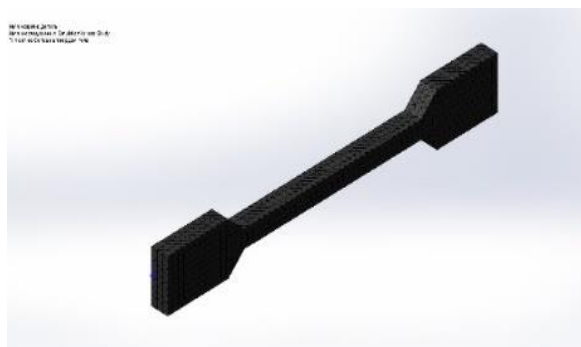
		відповідає теорії пошкоджуваності для матеріалів зі скінченими деформаціями. Виразом також формулюються ефективні головні значення тензорів напружень.
10.	Lemaitre J.	рівняння Леметра: $\frac{dD}{dt} = C_4 \left[\frac{\sigma}{1-D} \right]^m \frac{1}{(1-D)^q}$

Додаток Г

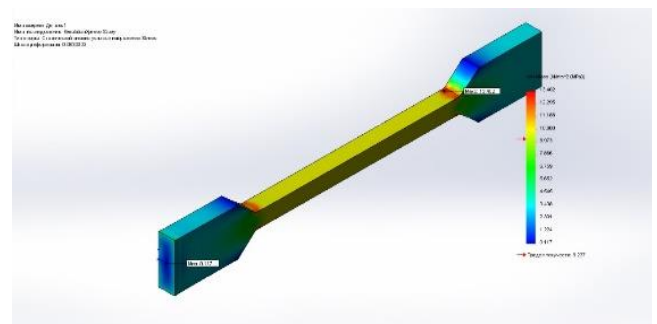
Моделювання гумового композитного матеріалу (у формі лопатки)

Статичні дослідження обчислюють переміщення, сили реакції, навантаження, напруги й розподіл запасу міцності матеріалу або конструкції.

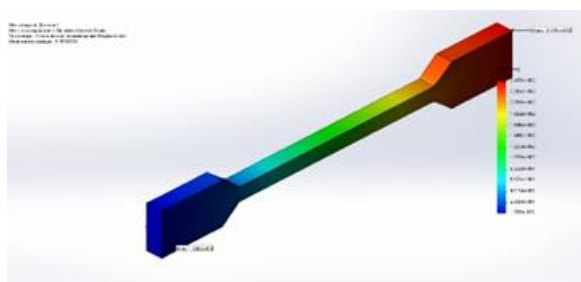
У лінійному статичному аналізі використовуються такі припущення:



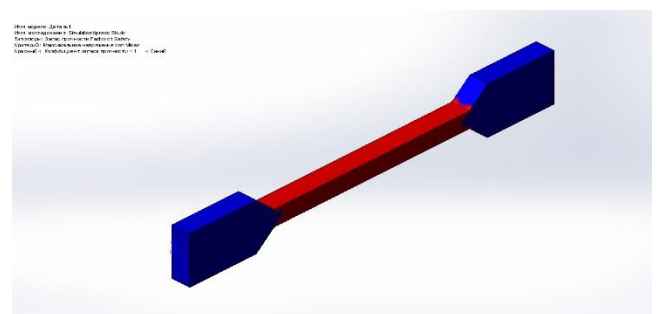
а)



б)

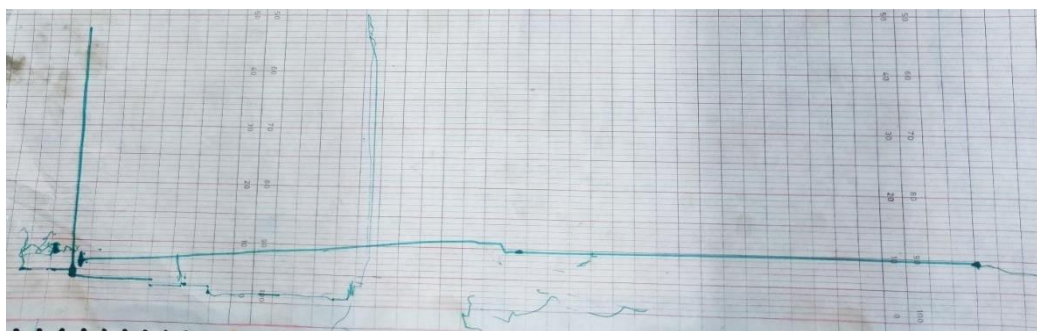


в)



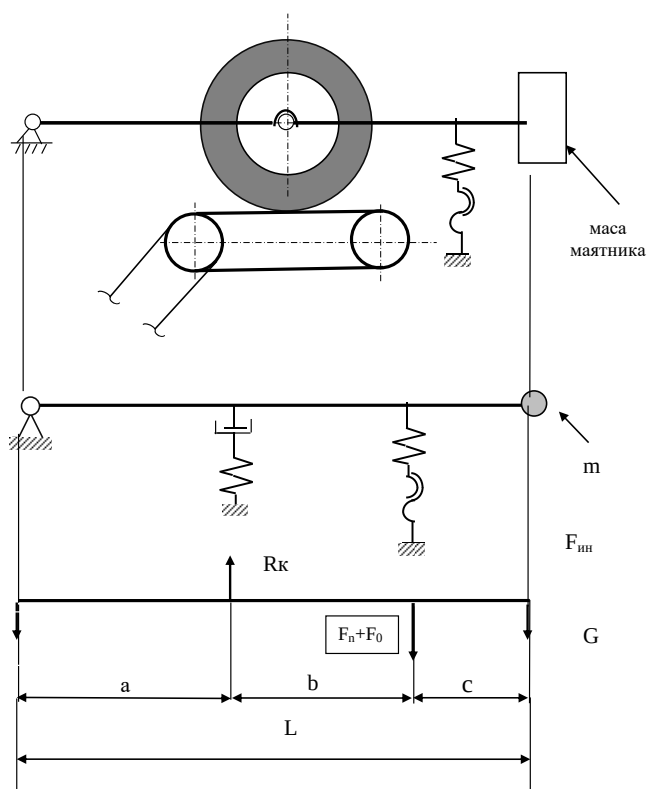
г)

Загальний вигляд деталі: а) - Сітка трьохмірної моделі гуми у формі лопатки; б) - навантаження конструкції; в) - статичне переміщення; г) - критерій запасу міцності



Розрахункова схема, розрахунок і розв'язання рівняння руху колеса на стенді в середовищі Maple.

Коефіцієнт демпфування може бути знайдено за допомогою стендів на маятниковому стенді :



R_L - реакція лівої опори,

R_K - реакція збоку колеса,

F_{Π} - активна реакція пружини,

F_0 - сила попереднього натягу пружини,

G -сила тяжіння маятника масою m ,

F_i - сила інерції,

при цьому:

$$R_K = C_k U_k(t) + \mu \dot{U}_k(t);$$

(1)

$$F_n = C_0 \cdot U_n(t);$$

$$G = mg; F_i = m \cdot \ddot{U}_m(t),$$

де : $U_k(t)$ - деформація шини у часі; $U_n(t)$ - деформація пружності у часі,
 $U_m(t)$ -переміщення маятника, C_k -жорсткість колеса, μ -коеф. демпфування
 C_0 - жорсткість
 m - маса маятника.

Окрім того, з геометричних міркувань маємо співвідношення :

$$\text{де } U_n(t) = U_k(t) \cdot \frac{a+b}{a}; \quad (2)$$

$$U_m(t) = U_k(t) \frac{L}{a};$$

Знайдемо суму моментів відносно лівої опори L вираховуючи Кривими Даламбера:

$$\sum M_0: aR_K - (F_n + F_0) \cdot (a + b) - GL - F_i = 0$$

Враховуючи (1) та (2) отримуємо:

$$\frac{mL^2}{a} \cdot \ddot{U}_k + a \cdot \mu \cdot \dot{U}_k + \left[C_0 \frac{(a+b)^2}{a} - aC_k \right] \cdot \dot{U}_k = -[mgL + F_0 \cdot (a+b)],$$

або

$$\ddot{U}_k + p \cdot \dot{U}_k + q \cdot U_k = h \quad (3)$$

де позначено :

$$p = \frac{a^2 \cdot \mu}{m \cdot L^2}; \quad q = \frac{C_0 \cdot (a+b)^2 - a^2 - C_k}{m \cdot L^2}; \quad h = - \left[\frac{g}{L} + \frac{F_0}{m \cdot L^2} \right] \quad (4)$$

Загальне рішення (3) має вигляд ;

$$U_k(t) = e [C_1 \sin \omega t + C_2 \cos \omega t] + \frac{h}{q} \quad (5)$$

де контакти інтегрування C_1 та C_2 можуть отримати з початкових умов, які мають вигляд:

$$U_K(0) = 0; \quad \dot{U}_K(0) = 0; \quad \left| \omega = \frac{\sqrt{4q-p^2}}{2} - \text{кругова частота} \right. \quad (6)$$

$$U_k(t) = -he^{-p\frac{t}{2}} \left[\frac{p}{2q \cdot \omega} \cdot \sin(\omega t) + \frac{1}{q} \cos(\omega t) \right] + \frac{h}{q} \quad (7)$$

(Для отримання рішення використовувались СКМ Maple)

Коефіцієнт p може бути розраховані як :

$$p = - \frac{\ln \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right)}{T}; \quad (8)$$

де A_0, A_1 – амплітуди початкового і наступаючого коливання відповідно,

$T = \frac{2\pi}{\omega}$ – період коливань

З формул (4) таким чином отримаємо :

$$\mu = \frac{m \cdot L^2}{a^2} \quad p = - \frac{1}{2\pi} \frac{m \cdot L^2 \cdot \omega}{a^2} \ln \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) \quad (9)$$

Таким чином, контролювати в досліді $\omega=2\pi f$, та A_0 та A_1 , знаходимо (9) коеф. демпфування шини (f - частота коливань)

Одиниці вимірювання:

$$C_K \text{ та } C_0 : \left[\frac{\text{Н}}{\text{м}} \right] = \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}^2} \right], \quad \mu : \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}} \right] = \left[\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right]$$

Розрахунок

> restart;

Ск:=15000/(4*0.015); # Жорсткість шин (вага авто на одне колесо до деформації шини), Н/м

С0:=Ск/4; # Жорсткість дод. пружини (як частина від Ск)

mu:=1000; # Коеф. демпфування, Н*с/м

a:=0.5; # Геометрія ричагу

b:=0.5; #

c:=0.5; #

L:=a+b+c;

m:=20; # Маса вантажу на ричагу

F00:=500; # Початковий натяг дод. пружини

g:=9.81; # у. с. п.

$$Ck := 250000.0000$$

$$C0 := 62500.00000$$

$$\mu := 1000$$

$$a := 0.5$$

$$b := 0.5$$

$$c := 0.5$$

$$L := 1.5$$

$$m := 20$$

$$F00 := 500$$

$$g := 9.81$$

> Eq:=(-Ck*U(t)-mu*diff(U(t),t))*a-C0*(a+b)^2*U(t)/a-F00*L-m*g*L=diff(U(t),t\$2)*m*L^2/(a+b);

$$Eq := -250000.0000 U(t) - 500.0 \left(\frac{d}{dt} U(t) \right) - 1044.300 = 45.00000000 \left(\frac{d^2}{dt^2} U(t) \right)$$

> res:=dsolve({Eq, U(0)=0, D(U)(0)=0}, U(t));

$$\begin{aligned} res := U(t) = & \frac{10443}{447500000} e^{\left(-\frac{50t}{9}\right)} \sin\left(\frac{50\sqrt{179}t}{9}\right) \sqrt{179} \\ & + \frac{10443}{2500000} e^{\left(-\frac{50t}{9}\right)} \cos\left(\frac{50\sqrt{179}t}{9}\right) - \frac{10443}{2500000} \end{aligned}$$

> plot(rhs(res), t=0..1);

Поверхнева обробка елементів кузовів автомобілів полірувальними пастами з вимірюванням і оцінкою параметрів шорсткості

Реєстраційна картка НДДКР

Державний реєстраційний номер: 0121U114300

Відкрита

Дата реєстрації: 09-12-2021

Статус виконавця: 17 - головний виконавець



1. Загальні відомості

Підстава для проведення робіт: 52 - договір з вітчизняною організацією (органами місцевої ради, концерном тощо)

КПКВК:

Напрямок фінансування: 2.2 - прикладні дослідження і розробки

Джерела фінансування

7722 - кошти підприємств, установ, організацій України Загальний обсяг фінансування (тис. грн.): 12.300

У тому числі по роках (тис. грн.):

Рік	Фінансування
2021	12.300

2. Замовник

Назва організації: Приватне підприємство "Інтер Склад"

Код ЄДРПОУ/ПН: 35869799

Адреса: вул. 23-я Східна, 31, с. Антонівка, Скадовський р-н., Херсонська обл., 73035, Україна

Підпорядкованість:

Телефон: +380552327500

3. Виконавець

Назва організації: Херсонський національний технічний університет

Код ЄДРПОУ/ПН: 05480298

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Адреса: Бериславське шосе, буд. 24, м. Херсон, Херсонська обл., 73008, Україна

Телефон: 380552326909

Телефон: 380552326910

E-mail: kntu@kntu.net.ua

WWW: <http://kntu.net.ua/>

4. Співвиконавець

5. Науково-технічна робота

Назва роботи (укр)

Поверхнева обробка елементів кузовів автомобілів полірувальними пастами з вимірюванням і оцінкою параметрів шорсткості

Назва роботи (англ)

Surface treatment of car body elements with polishing pastes with measurement and evaluation of roughness parameters

Мета роботи (укр)

Удосконалення технології відновлення покриттів металів засобами тонкого полірування за рахунок технологічних режимів і складу абразивних середовищ

Мета роботи (англ)

Improving the technology of restoration of metal coatings by means of fine polishing due to technological modes and composition of abrasive media

Пріоритетний напрям науково-технічної діяльності:

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

Вид роботи: 48 - прикладна

Очікувані результати: Технології

Галузь застосування: Матеріалознавство, автомобілебудування та експлуатація

6. Етапи виконання

Ном ер	Почат ок	Закінчен ня	Звітний документ	Назва етапу
1	12.2021	12.2021	Остаточний звіт	Поверхнева обробка елементів кузовів автомобілів полірувальними пастами з вимірюванням і оцінкою параметрів шорсткості

7. Індекс УДК тематичних рубрик НТІ

Коди тематичних рубрик НТІ: 55.13.15.23

Індекс УДК: 688.511.4:621.793/.795

8. Заключні відомості**Керівник організації:**

Бардачов Юрій Миколайович (д. т. н., професор)

Керівники роботи:

Дмитрієв Дмитро Олексійович (д.т.н., професор)

Відповідальний за подання документів: Питайло Олександр Юрійович (Тел.: +38 (068) 280-31-95)

Керівник відділу реєстрації наукової діяльності
УкрІНТЕІ



Юрченко Т.А.





Ukraine



ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

GSIP РЕГІОНАЛЬНИЙ АКСЕЛЕРАТОР ІННОВАЦІЙ,
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІННОВАЦІЙНИХ СТАРТАПІВ ХЕРСОНСЬКОЇ
ОБЛАСТІ УКРАЇНИ

СЕРТИФІКАТ

Стартап-проекту «Абразивні речовини для припрацювання деталей
автотранспорту» переможцю у номінації «Технологічний прорив» в рамках
першої хвилі Програми Акселерації GSIP регіонального акселератора
інновацій, технологій та інноваційних стартапів Херсонської області
України

● м. Херсон, 2021

Ректор Херсонського національного
технічного університету, професор, д.т.н.

Керівник регіонального акселератора



Ю.М. Бардачов

Г. Г. Савіна

Довідка про застосування результатів дисертаційної роботи



Приватне підприємство «Оригінал Авто»
73034, м. Херсон Миколаївське шосе будинок 5 км
Тел.: 096 579 79 79
e-mail: w380953244816@gmail.com

ДОВІДКА
про застосування результатів дисертаційної роботи

Розглянувши закінчену дисертаційну роботу **«Механічні властивості матеріалів пневматичних шин при накопиченні пошкоджень» Чурсова С.О.** на здобуття наукового ступеня доктора філософії, можемо констатувати наступне. Накопичено експериментальні дані та здійснено комп'ютерне моделювання ступеня, форми просторової деформації дільниці шини в процесі подолання перешкод з метою оцінки експлуатаційних характеристик пружних матеріалів для прогнозування змін механічних властивостей матеріалу від ступеня накопичення механічних пошкоджень, визначено міцність композиції гуми як матриці, армованої металевими волокнами і вплив їх співвідношення на стійкість до пошкоджень, під час експлуатації автомобільних шин.

Дані результати досліджень дозволяють визначати нормативні показники працездатності автомобільних шин, як відбиток комплексу походжень зовнішніх експлуатаційних впливів заданих модернізованими стендовими випробуваннями матеріалів. Запропоновані в дисертації пропозиції, технічні рішення є обґрунтованими і перспективними.

Дирекцією ПП «Оригінал Авто» групи компаній «ZOLLEX GROUP» прийнято матеріали досліджень для застосування на безоплатній основі за домовленістю і згодою з авторів наукових результатів. Матеріали передані в електронному вигляді і містять:

- опис експериментальних та теоретичних досліджень процесів пошкодження багатокомпонентних матеріалів в стендових випробуваннях та експлуатації пневматичних шин;
- умови удосконалення деяких способів руху та керування автомобілів, враховуючи образ накопичених пошкоджень у детермінованому вигляді;
- програмно-апаратні, механічні та вимірювальні засоби модернізованих методик випробування матеріалів шин.

Вважаємо, що дані результати можуть бути корисними для нашого підприємства при виникненні окремих клієнтських пропозицій в використанні аналітичної методики визначення відповідності технічних характеристик автомобільних пневматичних шин на момент постачання, наданні якісного сервісного обслуговування автоспоживачів в дилерській мережі ПП «Оригінал Авто» групи компаній ZOLLEX GROUP та арбітражних випадках, наприклад ДТП.

Враховуючи позитивний досвід попередньої науково-технічної співпраці з Херсонським національним технічним університетом у вигляді виконаних госпдоговірних робіт "Визначення ефективності експериментального зразка абразивної пасти "Професійна притиральна паста для клапанів двигуна "EXPERT", ТМ "ZOLLEX" (0216U008106 від 29-07-2016) та «Поверхнева обробка елементів кузовів автомобілів полірувальними пастами з вимірюванням і оцінкою параметрів шорсткості» (0121U114300 від 09-12-2021), можемо засвідчити, що наявна спільна лабораторна база і використані методи є комерційно-спроможними для бізнес-використання у промисловості України.

Даний документ не є фінансовим, економічний ефект від використання переданих рекомендацій регулюється окремо на договірній основі.

Генеральний директор
ПП «Оригінал Авто»
групи компаній ZOLLEX GROUP



Юрій РОЖКОВ

Висновок про державну реєстрацію корисної моделі

Форма В8

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ»
(УКРПАТЕНТ)

вул. Глазунова, буд. 1, м. Київ, 01601, тел.: (044) 494-05-05, факс: (044) 494-05-06
E-mail: office@ukrpatent.org, сайт: www.ukrpatent.org, код згідно з ЄДРПОУ 31032378

01.02.2022 № 1184/ЗУ/22

Стосується заявки № у 2021 04974

/ при листуванні просимо посилається на цей № /

Адреса для листування

ХНТУ, відділ з навчально-наукової роботи і
міжнародної діяльності, Бериславське шосе,
24, м. Херсон, 73008

РІШЕННЯ

Укрпатент на підставі цього висновку експертизи
прийняв рішення про державну реєстрацію
корисної моделі

Генеральний директор

01 ЛЮТ 2022

А.В.Кудін

(підпис)

Висновок про державну реєстрацію корисної моделі за результатами формальної
експертизи

(21) Реєстраційний номер заявки у 2021 04974

(22) Дата подання 03.09.2021

(71) Заявник(и)

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(72) Повне ім'я винахідника(ів)

Дмитрієв Дмитро Олексійович, Чурсов Сергій Олександрович

(73) Власник(и) патенту

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
Бериславське шосе, 24, м. Херсон, 73008, UA

(51) МПК

G01M 17/02 (2006.01)

(54) Назва корисної моделі

СТЕНД ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ШИН

За результатами формальної експертизи, проведеної відділом Державного підприємства "Український інститут інтелектуальної власності" відповідно до ч. 9 ст. 16 Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" (далі - Закон), встановлено, що заявка відповідає вимогам ст. 12 Закону.

Обсяг правової охорони визначається формулою корисної моделі, що додається.

Державна реєстрація корисної моделі відповідно до ч. 2 ст. 22 Закону буде здійснена за умови сплати державного мита за неї і збору за публікації про державну реєстрацію корисної моделі. Згідно з Порядком сплати зборів за дії, пов'язані з охороною прав на об'єкти

Для доступу до цього документа з ідентифікатором 3021100122 необхідно:

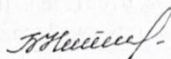
1. Перейти за посиланням <https://sis.ukrpatent.org>.
2. Обрати пункт меню "Сервіси - Отримати оригінал документу".
3. Вказати ідентифікатор документу та натиснути кнопку "Завантажити".

u202104974

інтелектуальної власності, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 23.12.2004 р. № 1716 із останніми змінами, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 12.06.2019 № 496, (далі - Порядок), розмір цього збору (код 12400) становить 240 грн, оскільки заявка містить сумарно 6 аркушів опису, креслень, формули корисної моделі і реферату.

Додаток до рішення: на 1 арк.

Провідний експерт



Наталія БОРОГАН

Виконавець Парахонська В.К.
Телефон 494-05-41

Піс
спла
за

ІНФОРМАЦІЙНЕ ПОВІДОМЛЕННЯ

Після надходження до заявника рішення про реєстрацію винаходу (корисної моделі) сплачуються державне мито за реєстрацію винаходу (корисної моделі) (далі – держмитом) і збір за публікацію про реєстрацію винаходу (корисної моделі) [1]:

Держмитом [2]	Збір за публікацію
Національний заявник	
17 грн	На підставі Вашої заявки складає 240 грн
Сплачується на бюджетний рахунок	Сплачується на рахунок Укрпатенту
Отримувач коштів: ГУК у м. Кисві/Печерс. р-н/22090300 Код отримувача: 37993783 Банк отримувача: Казначейство України (ЕАП) Рахунок отримувача: UA888999980314070701000026007	Отримувач коштів: Укрпатент Код отримувача: 31032378 Банк отримувача: АТ "Укресімбанк" м. Кисва Рахунок отримувача: UA913223130000026008020020371
У реквізиті платіжного документа «призначення платежу» необхідно зазначити: *:101; заявка № u 2021 04974; 22090300, СДРІОУ/ПН; держмитом за видачу патенту на винахід (корисну модель)	У реквізиті платіжного документа «призначення платежу» необхідно зазначити: заявка № u 2021 04974; код збору 12400; публікація про видачу патенту на винахід (корисну модель), ім'я (найменування) платника
Строк надходження документа	Строк сплати
Протягом трьох місяців від дати надходження до заявника рішення про реєстрацію винаходу (корисної моделі) [1]. Документ про сплату держмита (оригінал або копія) необхідно <i>обов'язково</i> надати (надіслати) до Укрпатенту зручним для Вас способом: кур'єром/листом: вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601; факсом: (044) 494-05-06; E-mail: office@ukrpatent.org.	Протягом трьох місяців від дати надходження до заявника рішення про реєстрацію винаходу (корисної моделі) [1]. Документом про сплату збору за публікацію вважається виписка з особового банківського рахунку Укрпатенту, а датою надходження документа про сплату збору вважається дата зарахування суми збору на поточний рахунок Укрпатенту [3].
Наслідки у разі ненадходження документа	Наслідки у разі несплати
У разі ненадходження документа про сплату держмита протягом зазначеного строку державна реєстрація винаходу (корисної моделі) не здійснюється, а заявка вважається відкликаною. [1]. Строк надходження документа подовжується : - не більш як на три місяці, якщо до його спливу до Укрпатенту подано клопотання про продовження та сплачено збір за кодом 12501 у розмірі 320,00 грн; - понад три місяці, але не більше ніж на шість, якщо до його спливу до Укрпатенту подано клопотання про продовження та сплачено збір за кодом 12502 у розмірі 640,00 грн. У разі пропущення строку надходження документа з поважних причин, права заявника щодо заявки відновлюються (зазначений строк поновлюється) якщо: - протягом трьох місяців від його спливу до Укрпатенту подано клопотання про відновлення прав заявника (поновлення) щодо	У разі несплати збору за публікацію протягом зазначеного строку державна реєстрація винаходу (корисної моделі) не здійснюється, а заявка вважається відкликаною. [1]. Строк сплати подовжується : - не більш як на три місяці, якщо до його спливу до Укрпатенту подано клопотання про продовження та сплачено збір за кодом 12601 у розмірі 320,00 грн; - понад три місяці, але не більше ніж на шість, якщо до його спливу до Укрпатенту подано клопотання про продовження та сплачено збір за кодом 12602 у розмірі 640,00 грн. У разі пропущення строку сплати збору з поважних причин, права заявника щодо заявки відновлюються (зазначений строк поновлюється) якщо: - протягом трьох місяців від його спливу до Укрпатенту подано клопотання про

надходження документа разом з документом про сплату мита та сплачено збір за подання клопотання за кодом 12701 у розмірі 320,00 грн;
- після трьох місяців від його спливу, але не пізніше шести, до Укрпатенту подано клопотання про відновлення прав заявника (поновлення) щодо надходження документа разом з документом про сплату мита та сплачено збір за подання клопотання за кодом 12702 у розмірі 640,00 грн [1], [3].

відновлення прав заявника (поновлення) щодо сплати, сплачено збір за кодом 12801 у розмірі 320,00 грн та збір за публікацію за кодом 12400;
- після трьох місяців від його спливу, але не пізніше шести, до Укрпатенту подано клопотання про відновлення прав заявника (поновлення) щодо сплати, сплачено збір за кодом 12802 у розмірі 640,00 грн та збір за публікацію за кодом 12400 [1], [3].

Довідки надаються за телефонами:

Відділ консультацій:

(044) 494 06 63; (044) 254 38 13; (044) 285 85 88; (044) 494 06 88.

Відділ економіки та статистики ІВ:

(044) 494 06 86; (044) 494 06 71; (044) 494 06 77; (044) 494 06 89.

Актуальна інформація про реквізити рахунків розміщена за посиланням <https://ukrpatent.org/uk/articles/rekvizyty>.

[1] – Закон України «Про охорону прав на винаходи та корисні моделі» (ст. 22);

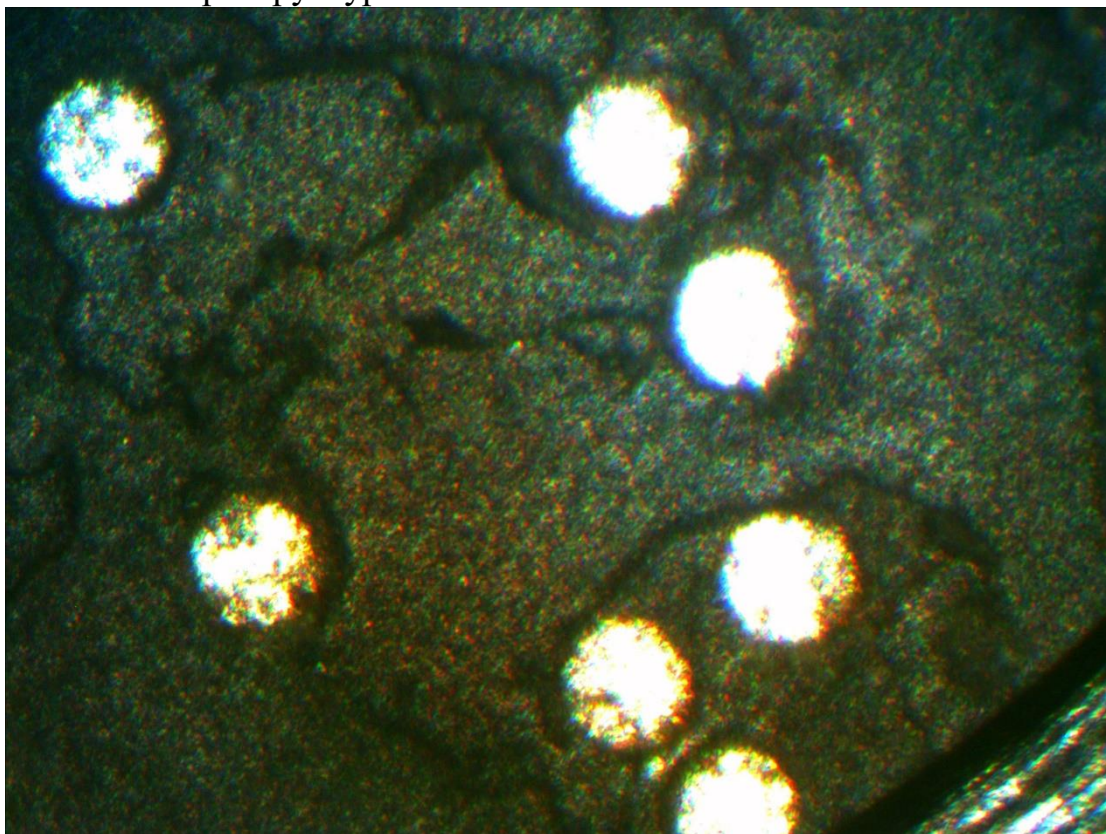
[2] – Декрет Кабінету Міністрів України «Про державне мито» від 21 січня 1993 року № 7-93 (п. «у» п. 6 ст. 3);

[3] – Порядок сплати зборів за дії, пов'язані з охороною прав на об'єкти інтелектуальної власності, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 23 грудня 2004 р. № 1716.

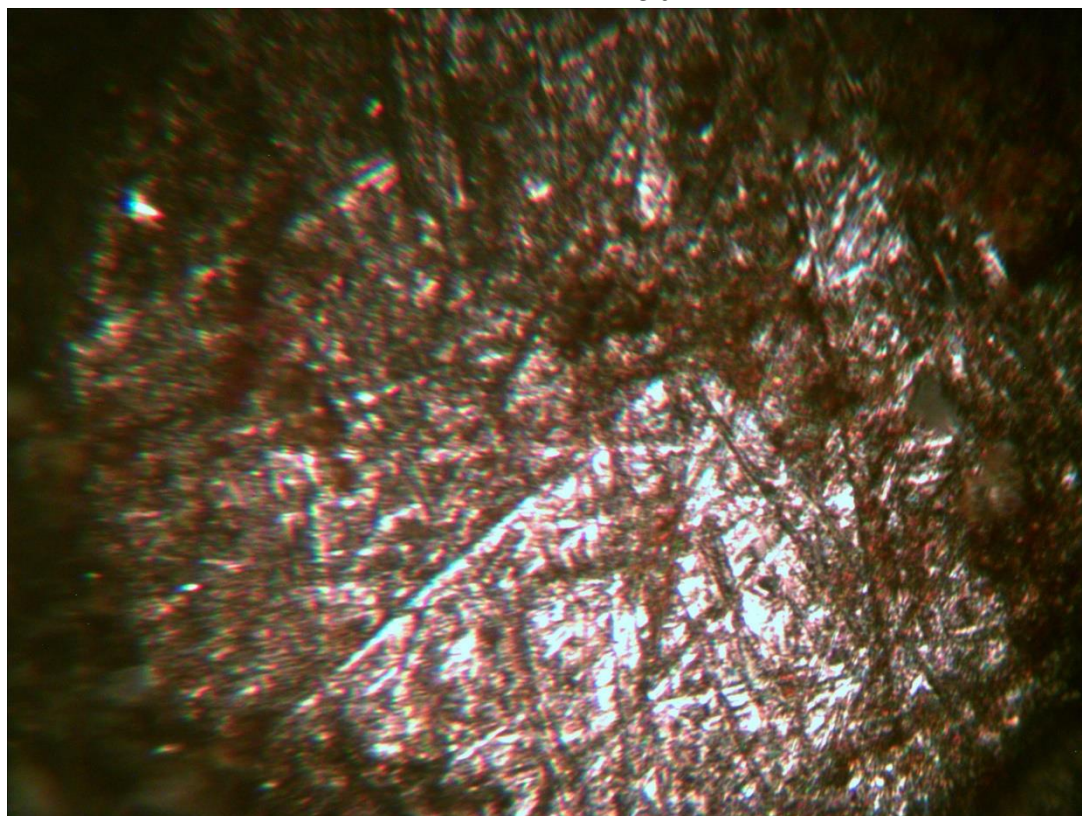
(57)

Стенд для випробування шин, що містить механізм радіального навантаження і зміни кутів орієнтації колеса у вигляді чотирьох програмно-керованих приводів лінійного руху із штангами постійної довжини, вузол кріплення шини, шарнірно зв'язаний з механізмом радіального навантаження, біговий барабан, встановлений на станині, який відрізняється тим, що біговий барабан складається зі сукупності роликів малого діаметра, розташованих в порядку відтворення дорожніх перешкод з впадинами і виступами, що програмно переміщуються в горизонтальній площині по двох координатах уздовж траєкторії руху колеса та в бічному напрямку під час обертання колеса.

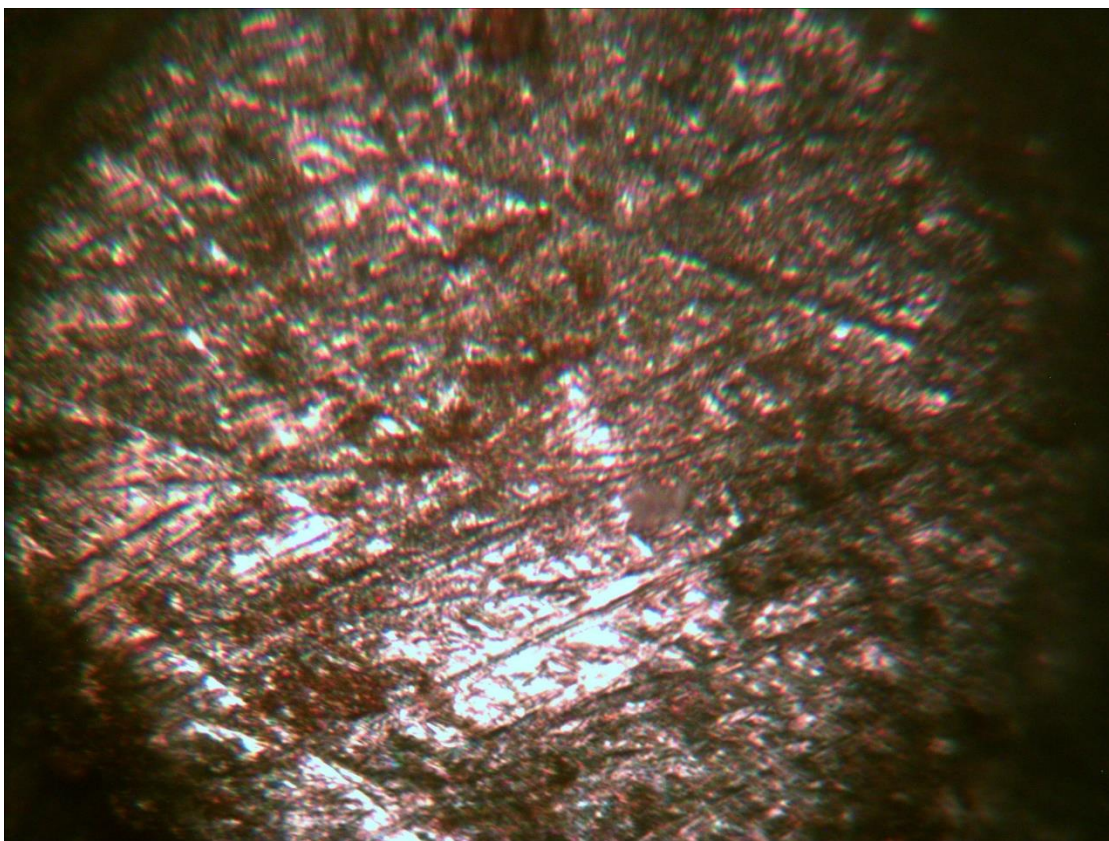
Поперечний переріз експериментальних зразків з деформаціями в макроструктурі Збільшення x50 та Збільшення x397



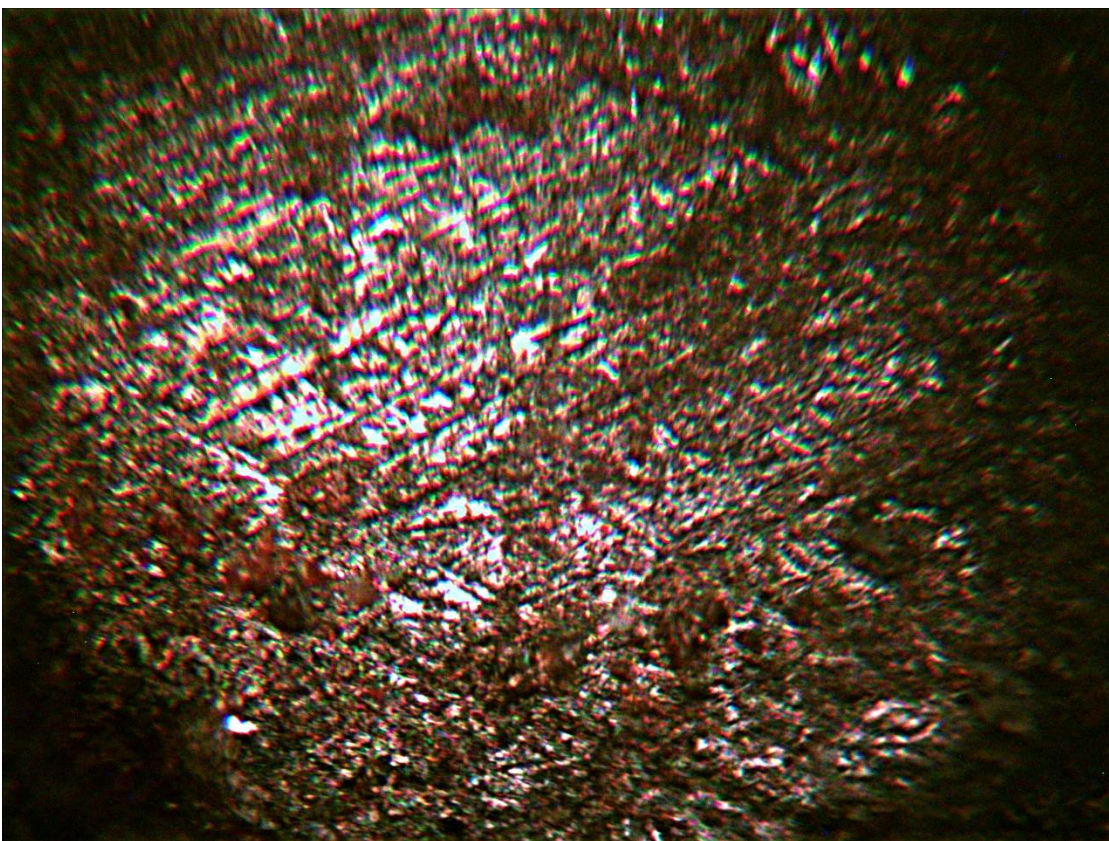
Збільшення x50



Збільшення x397



Збільшення x397



Збільшення x397