

Наукова робота на тему
**«АНАЛІЗ НАКОПИЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ
ШИН АВТОТРАНСПОРТУ»**

Спеціальність 274 – Автомобільний транспорт
Секція «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

Шифр «Свіже повітря»

Харків 2020

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	5
1. Сучасний стан проблеми випробувань, прогнозування і експлуатації автомобільних шин.....	6
1.1.Робочі умови експлуатації шин автотранспорту і методи їх випробування.....	6
1.2.Параметри контролю і властивості шин як еластичного колеса.....	10
1.3. Існуючі математичні моделі опису роботи шин автотранспорту	12
2. Методи досліджень механо-кінематичних властивостей шин.....	13
2.1. Оцінювані критерії роботи шин і накопичування пошкоджень.....	13
2.2. Апаратне забезпечення стендових випробувань.....	15
2.3. Динамічні властивості шин та їх експериментальне і теоретичне визначення.....	18
3. Експериментальне визначення механо-кінематичних властивостей шин під впливом різних факторів і типом перешкод.....	25
3.1. Вимірювання бічної і колової жорсткості шин в різних умовах експлуатації в статиці і динаміці	25
3.2. Програмне середовище для моделювання і візуалізації деформованості шин під впливом різних факторів.....	28
ВИСНОВКИ.....	30
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	31
ДОДАТКИ	

РЕФЕРАТ

Наукова студентська робота: 30 с., 20 рис., 3 табл., 8 додатків, 19 джерел.

В роботі розглянуто сучасні вимоги і теоретичні підходи щодо працездатності шин автотранспорту, проаналізовано методи оцінки пошкодження шин і їх вплив на експлуатацію автомобілів. Виконано розробку нового методу визначення ступеню накопичення пошкодження від подолання перешкод дорожнього покриття з використанням феноменологічного підходу за допомогою програмно-керованого багатокоординатного випробувально-вимірювального стенду, що відтворює процес подолання різних перешкод з будь-якими режимами руху автомобіля. Розроблено дистанційну систему вимірювання з передачею даних про механо-кінематичні властивості шини на комп'ютерну геометричну 3d-модель з можливістю прогнозування проміжних станів шини в залежності від ступеню накопичення пошкоджень і виду геометрії перешкод.

Ключові слова: ШИНА, ПЕРЕШКОДА, ПОШКОДЖУВАНІСТЬ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – процеси пов'язані з утворенням пошкоджень шин при подоланні різних геометричних перепон і їх вплив на механічні характеристики шин автотранспорту.

Предмет дослідження – закономірності змін механічних властивостей шин під час експлуатації, їх прогнозування і забезпечення ресурсу роботи.

Мета дослідження – створити теоретичні і експериментально-технічні засоби контролю механічних, динамічних і експлуатаційних характеристик шин автотранспорту в залежності від ступеню накопичення пошкодження і їх можливий вплив на керованість і прохідність автомобіля.

Методи досліджень. В дослідженнях використано елементи теорії руху і експлуатації автомобілів, теорія пружності еластичної оболонки, теорії

механізмів і машин, динаміки машин, матеріалознавства, методів аналітичної геометрії, комп'ютерного моделювання і використання сучасних комп'ютеризованих вимірювальних засобів.

Наукова новизна роботи. Вперше для визначення ступеню пошкоджуваності шин розроблено і застосовано програмно-керований вимірювально-випробувальний стенд, що відтворює умови подолання шиною геометричних перепон із дистанційною передачею даних про деформацію ділянок на комп'ютерну САД-модель шини для оцінки проміжних станів на перешкодах різних комбінацій.

Особистий внесок автора.

1. Автор роботи прийняв безпосередньо фізичну участь у складанні та налагоджуванні випробувального стенду разом із керівником і спів авторами (студентами магістрами та аспірантами) суміжних напрямів використаних програмно-керованих пристроїв системи приводів.

2. Виконував аналітичний огляд і систематизацію існуючих сучасних методів дослідження по меті роботи.

3. Запропонував і реалізував хід експериментальних досліджень, зокрема тарування зусиль навантаження на дорожнє покриття і вимірювання деформацій (жорсткості) шин від вигляду перешкод.

4. Налагодив дистанційну передачу експериментальних вимірювань до комп'ютерної моделі колеса, виконував розв'язання математичних моделей в комп'ютерними розрахунковими засобами.

Формування мети, задач, наукової новизни і висновків по роботі виконано спільно з керівником, складання математичних моделей виконано керівником роботи.

Публікації. Автором роботи по темі дослідження опубліковано 1 тези доповідей. ПБ (Автор, Керівник) Експериментальне визначення вібраційних характеристик і жорсткості шин автотранспорту // Матеріали науково-практичної конференції «Інноваційні науково-технічні дослідження: світові тенденції та регіональний аспект». м. Запоріжжя. - С.15 -19 (копія додається)

ВСТУП

Автомобільна шина - дуже складна, багатфункціональна конструкція. 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. Від шини в значній мірі залежить прохідність в різних дорожніх умовах, коефіцієнт зчеплення, шум і витрата палива у автомобіля під час руху [1, 3]. Крім цього, шина повинна забезпечувати довговічність, надійність і задану вантажопідйомність [2]. Це один з найбільш важливих елементів колеса, що представляє собою пружну резино-метало-тканинну оболонку. 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.

Задачі дослідження:

1. Виконати теоретичний аналіз існуючих методів і підходів дослідження пошкоджень шин, навести причини виникнення пошкоджень та їх класифікацію.
2. Розробити технічні засоби у вигляді стенду для випробування шин з відтворенням процесів, що відбуваються при подоланні перешкод різної геометрії.
3. Надати 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.
4. Виготовити вимірювально-випробувальний комплекс із здатністю визначення деформацій шини в точках змін її форми при подоланні перешкод різної геометрії з передачею даних в реальному часі на комп'ютерну каркасну модель і візуалізацією (записом) усіх станів деформації навантажених дільниць колеса.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ВИПРОБУВАНЬ, ПРОГНОЗУВАННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

1.1 Робочі умови експлуатації шин автотранспорту і методи їх випробування

При русі автомобіля його кути сходження коліс постійно змінюються. Причиною цього явища є конструктивні особливості системи (зазори в шарнірах рульових тяг та пружність відповідних з'єднань). Вплив на коливання коліс в горизонтальній площині нерівностей дороги, призводить до дисбалансу коліс та дефектів геометрії рульового приводу. Динаміка зміни сходження коліс вивчена недостатньо добре. Найбільш актуально це для передньопривідних автомобілів, коли при криволінійному русі до керованих коліс підводиться момент змінний по величині [6, 7]. Для вивчення вищезгаданих процесів необхідно створення таких випробувальних стендів шин, які б відтворювали усі можливі режими їх роботи і поведінку ланок автомобіля будь-якої марки .

Основними параметрами роботи шин визначені опір кочення (коефіцієнт опору кочення), вантажопідйомності (перевірка на прогинання), проковзування шини (коефіцієнт буксування) [1, 3]. Основними факторами, що впливають на зношування шини є внутрішній тиск повітря, навантаження на колесо, наявність кутів уводу і розвалу, дисбаланс і конструкція шини [2, 7]. Вищезгадані фактори є "входом" для більшості тестів і випробувань та моделей, що прогнозують нормативні показники шин під час експлуатації, тому і детально розглядаються в даній роботі.

В даний час значна увага 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: 2010 визначає методи випробувань для перевірки можливостей шин для легкових автомобілів.

В Україні діють наступні основні нормативні документи щодо технічних умов:

1. ДСТУ 4406:2005 Шини пневматичні Загальні технічні вимоги безпеки.
2. ДСТУ 2219–93 Шини пневматичні. Конструкція. Терміни та визначення
3. ГОСТ 22374–77 (ИСО 3877-1–78, ИСО 3877-3–78, ИСО 4223-1–78 Шини пневматичні. Конструкція. Терміни та визначення.
4. ДСТУ 3780–98/ГОСТ 30761–2002 Шини пневматичні великогабаритні та надвеликогабаритні.
5. ГОСТ 4754–97 Шини пневматичні для легкових автомобілів, причепів до них, легких вантажних автомобілів особливо малої місткості. Технічні умови
6. ГОСТ 5513–97 Шини пневматичні для вантажних автомобілів, причепів до них, автобусів і тролейбусів. Технічні умови

В даних документах визначені методи випробування шин, що описані в стандартах:

1. ГОСТ 26000–83 Шини пневматичні. Метод визначання основних розмірів.
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)

На випробувальних стендах перевіряється конструктивна міцність шин, якість гумових сумішей, однорідність, жорсткісні і геометричні характеристики шин і багато іншого (Додаток А). Стендові випробування - один з невід'ємних етапів вивчення шини та її властивостей. Тільки тут можна отримати точні дані, наприклад, про температуру окремо взятого ділянки шини конкретного типорозміру при певній швидкості, навантаження

і тиску. Традиційні стенди призначені для динамічних випробувань пневматичних шин (рис.1.1) і забезпечують визначення в лабораторних умовах терміну служби шини, залежність його від швидкості руху динамічного радіуса шини та шляхи пройденого шиною до руйнування.

Стенд для випробування шин на знос відноситься до засобів випробувань пневматичних шин різної вантажопідйомності на зносостійкість протектора (рис.1.1 а, б) і може бути використано на підприємствах автомобільної та шинної промисловості.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.1 - Традиційні стенди випробування шин (компанія Michelin):
 а), б) – стенди для випробування на зношування протектора з одним ступенем вільності; в) – стенд випробування жорсткості (плями контакту);
 г) - трикоординатний стенд для комплексного випробування параметрів шини


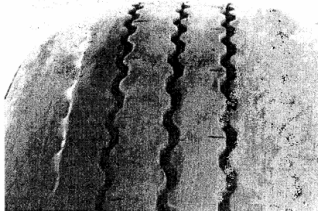
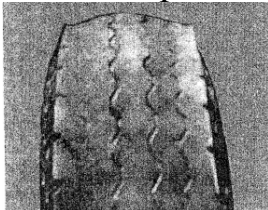
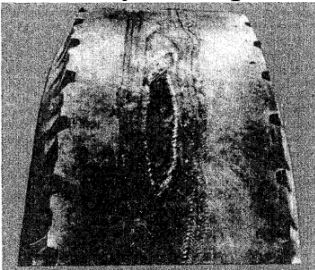
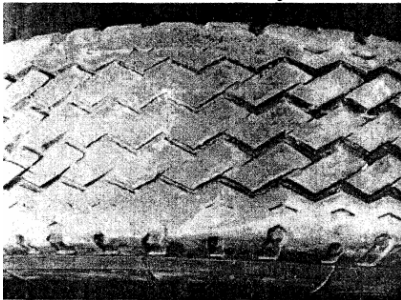

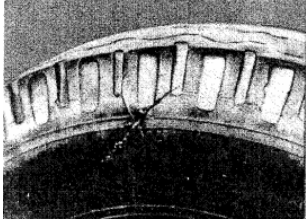

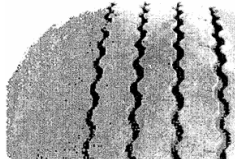
Призначення стенду скорочення термінів випробувань за рахунок форсування усталостного зносу протектора шин (рис.1.1 в, г). На стенді досліджують зносостійкість протектора, напругу і деформацію шини в зоні

контакту її з дорогою, сили, що діють на шину в процесі кочення, так як зовнішня поверхня стрічкового конвеєра імітує дорогу.

Найбільш типові пошкодження шин в процесі експлуатації наведено в таблиці 1 [7].

Існує випробування, на зняття борта, коли оцінюють опір розтину шини на борт. Це відноситься тільки до безкамерних шин. Випробування на витривалість, оцінює опір шини з обслуговування при повному навантаженні і помірної швидкості на великі відстані. Застосовують, високошвидкісний тест оцінює здатність шини у відповідності зі своєю категорією швидкості.

Таблиця 1.1 - Типові пошкодження шин в процесі експлуатації

<p>зношування шин "на конус"</p> 	<p>зношування шин в наслідок непаралельності мостів</p> 	<p>зношування шин в наслідок низького тиску повітря</p> 
<p>зношування шин в наслідок підвищеного тиску повітря</p> 	<p>плямисте" зношування</p> 	<p>відшарування на бокових поверхнях</p> 
<p>розрив шарів каркасу</p> 	<p>зношування в результаті різкого гальмування</p> 	<p>однобічне зношування (невірні кути сходження передніх коліс)</p> 

1.2 Параметри контролю і властивості шин як еластичного колеса

Тиск в шинах - один з важливих показників, який впливає на витрату палива будь-якого автомобіля. При зниженні тиску збільшується зона деформації шини в плямі контакту, що призводить до помітного збільшення опору коченню.

Вплив тиску на ресурс шин визначають, також вивчаючи пляму контакту шини. Зона найбільшого тиску в зоні контакту протектора шини з дорогою показана на рис.1.2. [12]



Рисунок 1.2 - Пляма контакту шини з поверхнею в залежності від тиску в ній [13]

При зниженому тиску більш високе навантаження припадає на краю шини, тобто плечову зону, провокуючи в цій частині протектора підвищений знос. 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.

Авторами [3] для дослідження характеристик шин легкових автомобілів з обертаючим колесом був розроблений і виготовлений спеціальний стенд, схема якого показана на рис. 1.3. На цьому стенді, для визначення характеристик шин, застосований метод вільних коливань системи, пружним елементом якої є пневматик. Основні вузли стенда такі: стрічково-пластичний транспортер, призначений для імітації опорної площини; пневматична навантажувальний пристрій для створення

необхідного радіального навантаження на колесо; маятник зі стрижнем для установки вантажів; привід; обурює пристрій, за допомогою якого коливальна система виводиться з рівноваги.

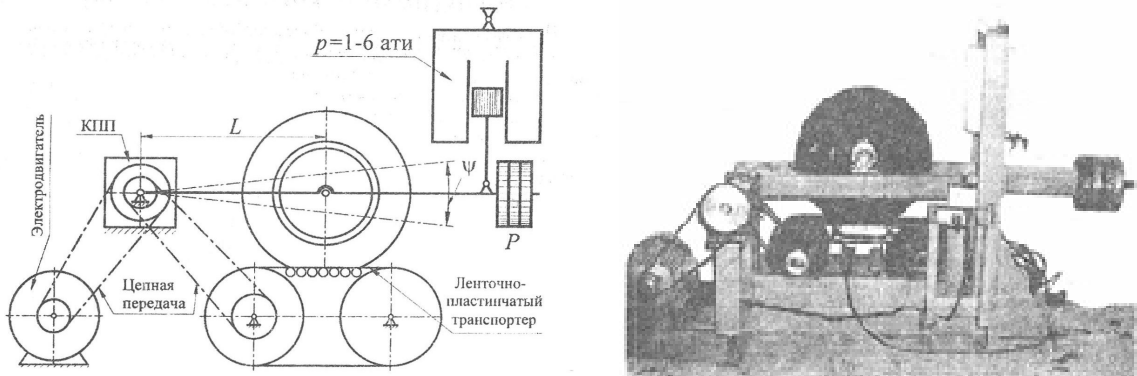


Рисунок 1.3 - Схема і конструкція стенду для визначення вібраційних характеристик шин [2]

На описаному стенді (рис. 1.4) 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.

На рис. 1.4 наведені деякі результати експерименту для шини 6,00-16 (I-77).

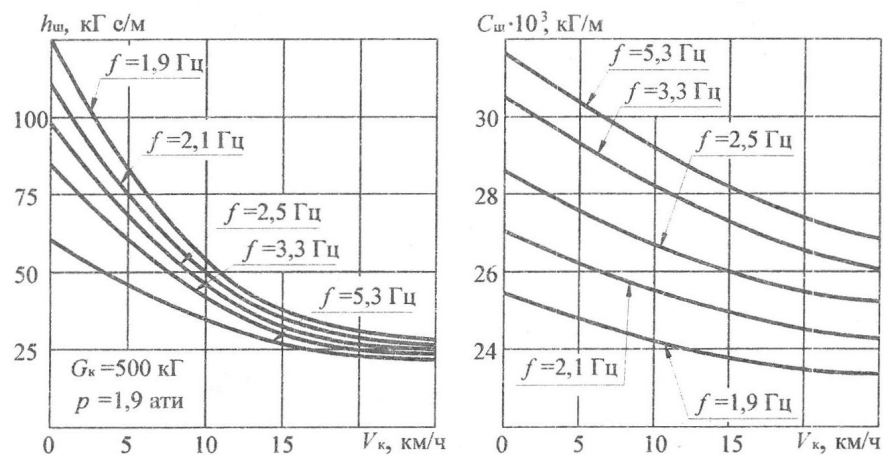


Рисунок 1.4 - Визначені авторами [3] експериментальним шляхом коефіцієнт демпфування і жорсткість шин в залежності від швидкості автомобіля для різних частот коливання колеса

Однак не наведено математичної моделі, що може дати уявлення про зміні конструкції шини та умов її орієнтації під час руху автомобіля. Удосконалення можливе за рахунок використання багатокоординатної системи приводів і збільшення ступеню вільності колеса під час випробування.

1.3 Існуючі математичні моделі опису роботи шин автотранспорту

Існує багато моделей коливань кузова автомобіля, що дозволяють дослідити реакцію підвіски на дорожні нерівності. Пропонуються різні математичні моделі, які досліджують вертикальні коливання автомобіля. Так, у роботі [14] досліджується вплив коефіцієнта опору амортизаторів на рівень прискорення та швидкості підресореної маси, а у роботі [15] побудована математична модель коливань, яка враховує електромеханічне демпфірування в підвісці автомобіля. Багато робіт присвячено моделям коливань кузова автомобіля під дією моментів, що виникають під час гальмування. Описано модель коливань у двох площинах та спрощену модель коливань в одній площині.

Найбільш наближену до фізичних явищ для автомобільних шин в науковій літературі наводять як кільце на пружній основі (рис.1.5).

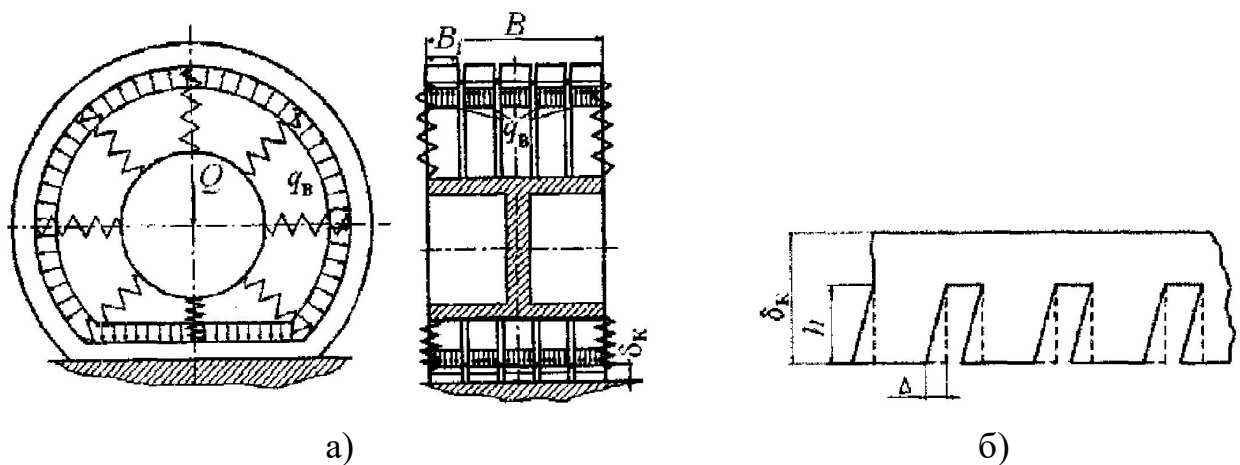


Рисунок 1.5 - Статична модель шини (а) і спрощена розрахункова схема деформації елементів рисунку протектора (б)

При навантаженні шини вертикальної силою відбувається деформація каркаса і брекера, ці деформації викликають переміщення поверхневій частині протектора щодо опорної поверхні. В результаті чого на протектор діють дотичні напруження, направлені в протилежну сторону ніж переміщених.

Автомобіль, як механічна система складається з кузова, підвіски та коліс, при цьому до коліс прикладені гальмові сили, під час гальмування виникають коливальні процеси, пов'язані з характером взаємодії двох систем «пружина-демпфер», і характер цих процесів (амплітуда та частота коливань) залежить від співвідношень між вихідними значеннями коефіцієнтів жорсткості та демпфірування

Авторами [15] отримані аналітичні вирази дозволяють оцінювати вплив амплітудно-частотних характеристик крутильного моменту на колесі і пружних характеристик шин на стійкість поступального руху автомобіля. У міру наближення колової частоти коливань крутильного моменту на колесі до колової частоти власних коливань шини відбувається різке збільшення відносного буксування й величини поздовжнього коефіцієнта зчеплення, який використовується, що може призвести до втрати стійкості поступального руху.

2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕХАНО-КІНЕМАТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШИН

2.1 Оцінювані критерії роботи шин і накопичування пошкоджень

Державними стандартами і технічними умовами різних країн виробників передбачені критерії перевірки працездатності шин. Деякі визначення для видів руйнування шин стандартизовано (Додаток В)

Методи контролю об'єднують випробування на витривалість, опір зсуву борту шини з полки ободу, визначення енергії руйнування шини і ін. Числові значення основних критеріїв працездатності наведені у Додатку Г:

- 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.

На рис. 2.1 наведено технічні рішення запропоновані в патентах SU203993, SU1633314 щодо конструкції стендів, які застосовують для випробувань шин на зношування протектора.

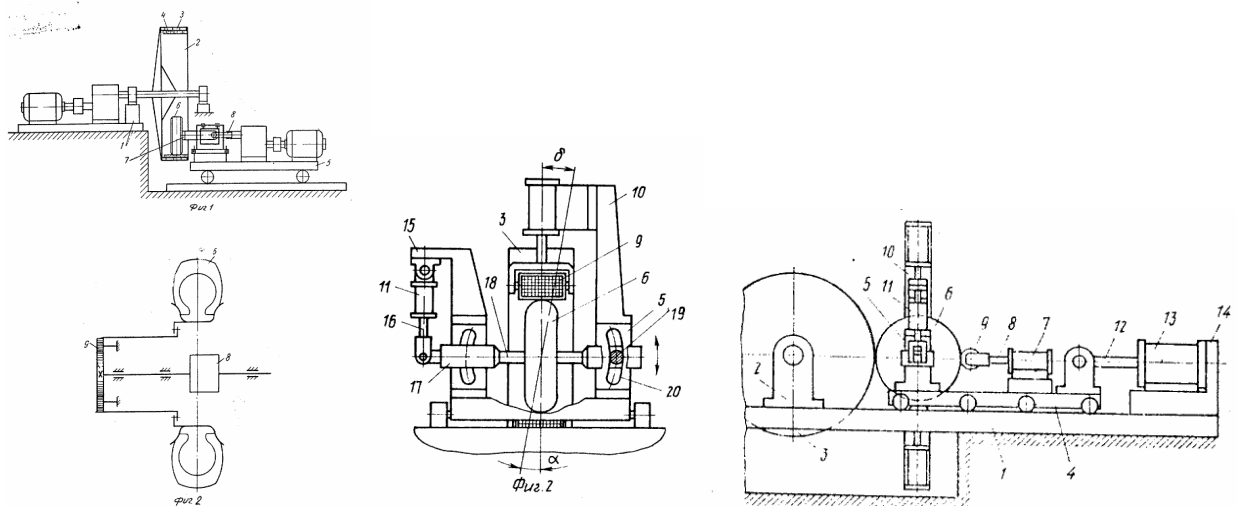


Рисунок 2.1 - Спроби удосконалення стендів для випробування шин різними авторами на рівні винаходів

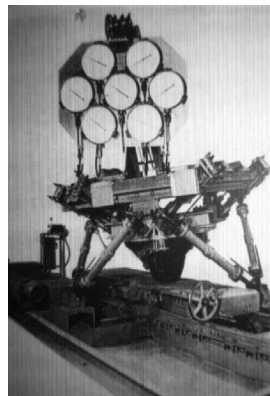
Стає очевидним, що існує прагнення до додаткових механічних впливів і рухів колеса під час випробування. Однак збільшення системи послідовних приводів руху ускладнює реалізацію даних схем як єдиного механізму.

2.2 Апаратне забезпечення стендових випробувань

Історія застосування багатокоординатних механізмів для випробування шин починається у 1947 р. пропозицією Гофа 6-ти координатного механізму з паралельною структурою на телескопічних штангах змінної довжини [9] (рис. 2.2, а)

В сучасних умовах застосовують універсальні стенди платформа Гофа , яку використовують в компанії Dunlop Tyres і знаходиться на виставці в Британському національному музеї науки і промисловості (рис. 2.2, б)

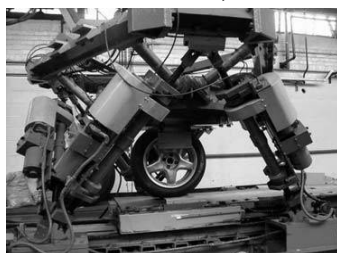
Платформа Гофа - це рухома платформа, до якої прикріплена шина, має кінематичний зв'язок із основою за допомогою 6-ти штанг змінної довжини. На кінцях штанг встановлено універсальні шарніри, кульково-роз'ємне з'єднання на іншому. Зміна довжини штанг призводить до змін положення та орієнтації рухомої платформи з колесом. Колесо обертається конвеєрним ременем, а механізм дозволяє оператору проводити вимірювання зносу шин в різних умовах.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.2 - Приклади випробувальних стендів автомобільних шин на основі механізмів паралельної структури [10]

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. 2.3) [11]. Запропонований стенд 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. На станині 1 встановлено в опорах 2 біговий барабан 3 з приводом обертання 4, який кріпиться на двокоординатному приводі 5 з прямою 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'єданого 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.

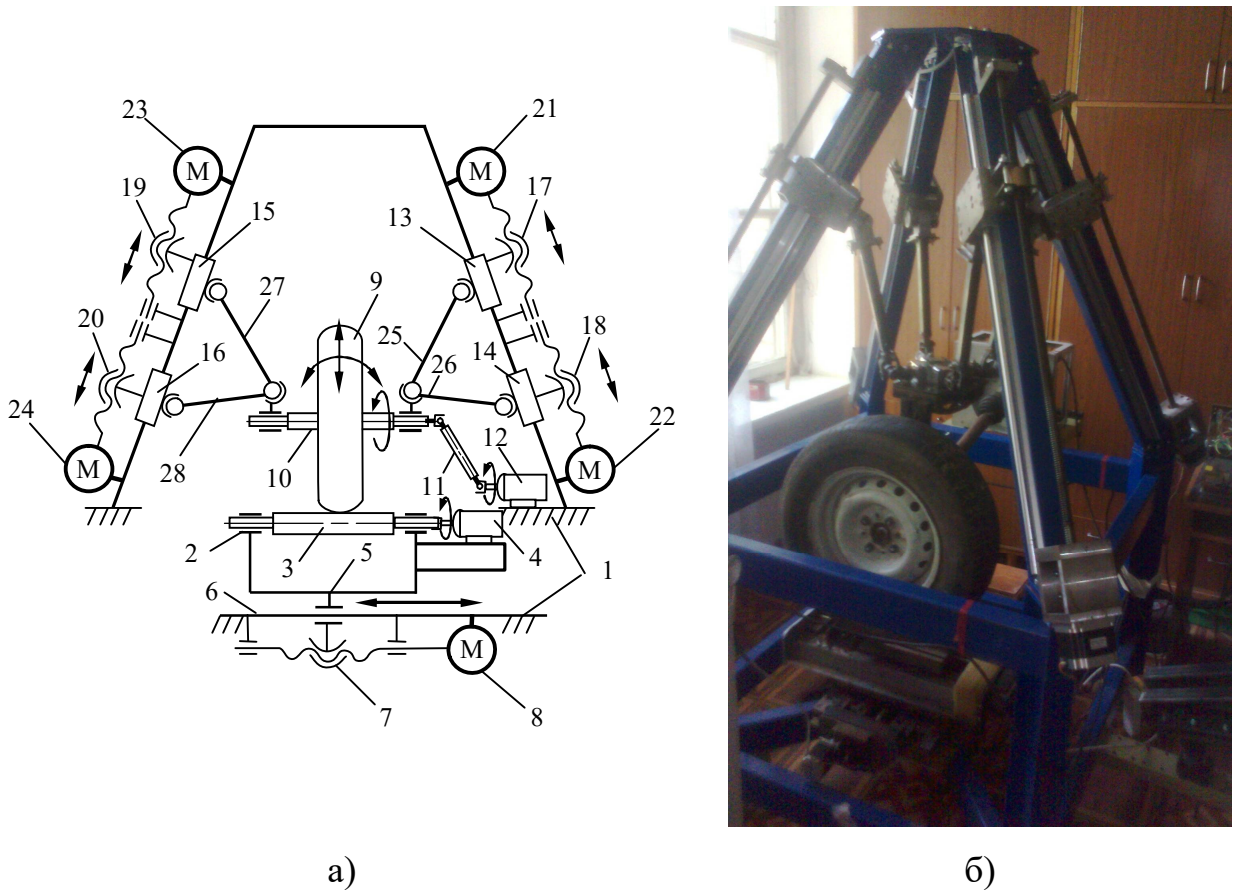


Рисунок 2.3 - Схема чотирикоординатний стенд для випробування шин:

а) - кінематична схема; б) - виготовлений дослідний зразок

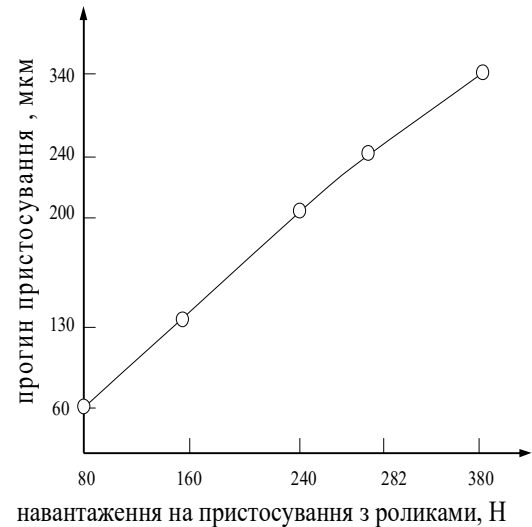
Запропоновані конструктивні рішення дозволяють досягнути технічного результату – точного відтворення дорожніх умов експлуатації шин широкого типорозміру, комбінацій навантажень і орієнтації шин до

дорожнього покриття та може бути використано на підприємствах автомобільної і шинної промисловості.

З метою контролю ступеню навантаження шиною на дорожнє покриття в процесі випробувань деформації шини було проведено тарування прогину консольної частини опор 2 бігового барабану 3 (рис. 2.4).



а)



б)

Рисунок 2.4 – Процес тарування опорного пристосування (умовне дорожнє покриття): а) загальний вигляд; б) залежність прогину від навантаження на дорожнє покриття

2.3 Динамічні властивості шин та їх експериментальне і теоретичне визначення

Виникнення коливань є одночасно наслідком та причиною перехідних процесів у підвісці та гальмовому керуванні автомобіля; при цьому властивість гасити такі перехідні процеси є одним із проявів стабільності гальмового керування.

Багатьма дослідниками вивчалось явище автоколивань керованих коліс [3], яке проявляється в тому, що у автомобіля з цілком справним рульовим керуванням і врівноваженими колесами на рівній дорозі в певному діапазоні швидкостей можуть виникати незгасаючі коливання коліс щодо шкворней

при повністю нерухомому рульовому колесі. Причиною виникнення автоколивань є наявність гіроскопічного і пружного зв'язку між коливаннями передньої осі автомобіля в поперечній площині і коливаннями (поворотами) коліс навколо осей шворнів. Для виникнення коливань необхідний початковий поштовх, що отримується при наїзді колеса на нерівність дороги.

Для опису вищезазначених процесів побудовано розрахункову схему (рис.2.5).

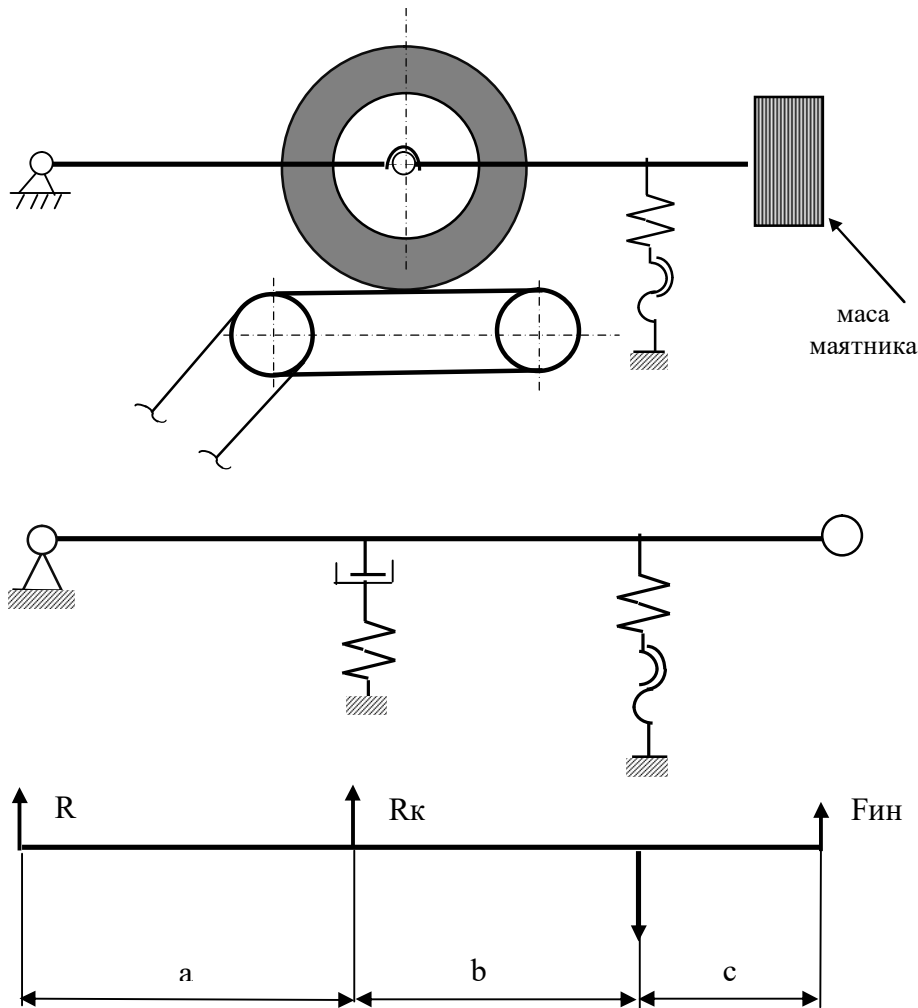


Рисунок 2.5 - Силова схема конструкції ственду по рис. 6
(R_l -реакція лівої опори, R_k - реакція колеса, F_0 -сила натягу пружини,
 $F_{шп}$ -сила натягу вантажу)

Математична модель (2.1) враховує рівновагу і суму дії моментів (2.2) і сил (2.3) для даної розрахункової схеми.

$$(C_k U_k + \mu_k U_k) a - C_0 U_0 (a + b) - mgL - F_0 L = \pm m \ddot{U}_m L \quad (2.1)$$

$$\Sigma M_1 = R_{кв} - F_0 (a + b) \pm F_{шп} L - mgL = 0 \quad (2.2)$$

$$\Sigma F: R_{\text{ш}} + R_{\text{к}} - F_0 + F_{\text{ш}} = 0. \quad (2.3)$$

$$U_0 = U_{\text{к}} \frac{a+b}{a}, \quad U_m = U_{\text{к}} \frac{L}{a+b}.$$

Розв'язок рівнянь 2.1 – 2.3 наведено у Додатку Г. Отримана залежність дозволяє прогнозувати (вираховувати) частоту власних коливань, колеса при зміні навантаження на шину, її жорсткість і коефіцієнти демпфування (Додаток Д).

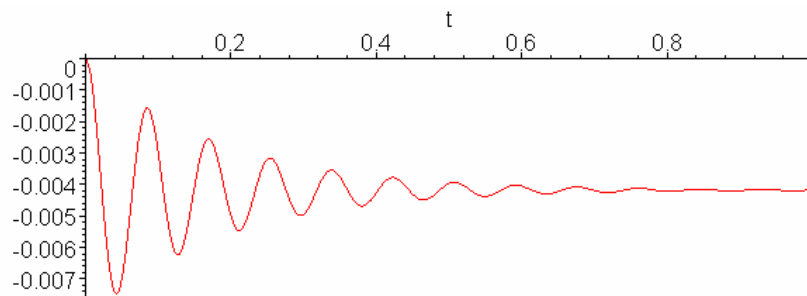


Рисунок 2.6 - Теоретична віброграма вільних коливань колеса для стенду на (рис. 2.5)

В вібраційних дослідженнях важливо виявити значення коефіцієнтів демпфування [5] конкретної конструкції шини і нормативних значеннях її параметрів для підстановки в рівняння (2.1). Виконується це тільки експериментально (рис. 2.7).

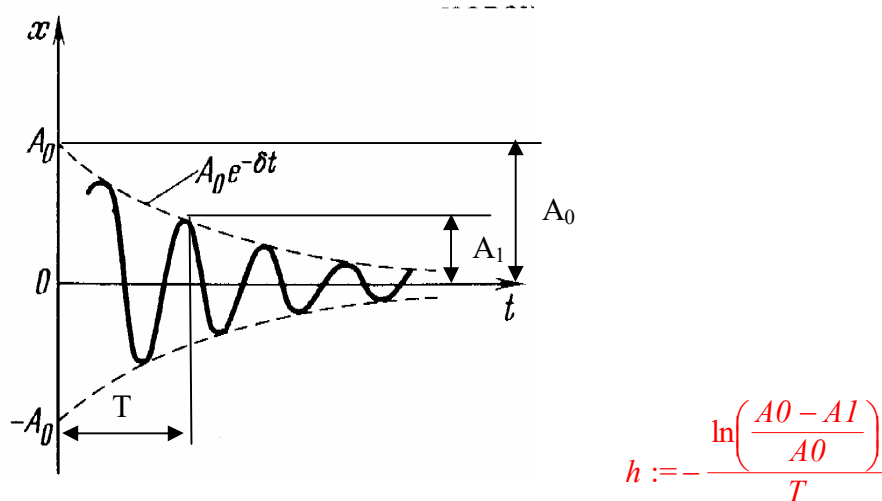


Рисунок 2.7 - Рівняння згинаючої вільних коливань і розрахунок коефіцієнту демпфування [5]

Виконано експериментальне випробування коливань при ударних навантаженнях для стенду наведеному на рис. 2.3, б і визначено коеф. демпфування (вимірювальна плата – двохосьовий акселерометр MPU6050)

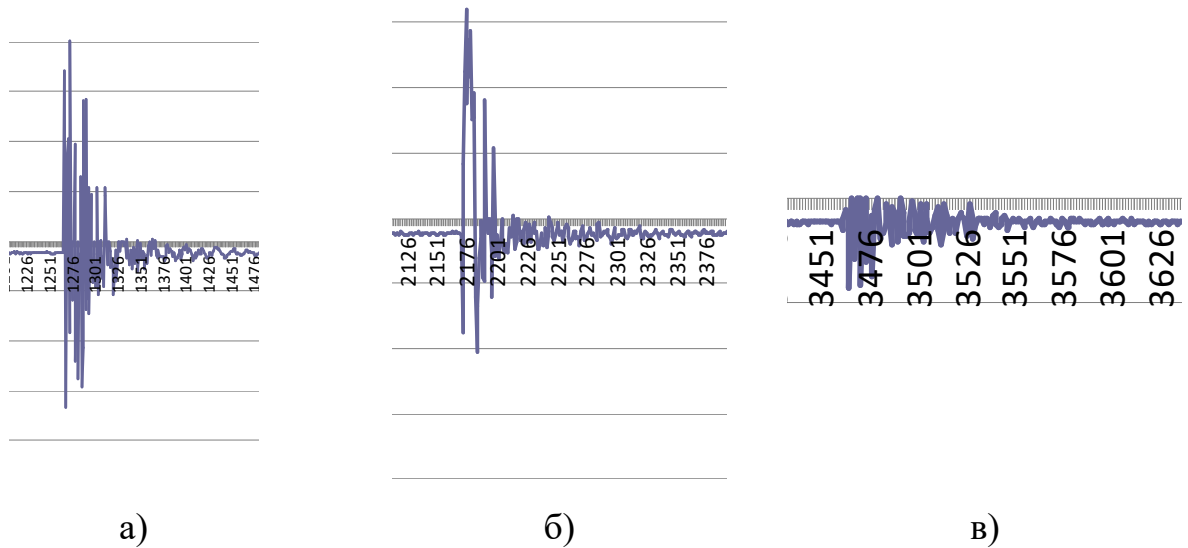


Рисунок 2.8 - Віброграми зняті при одиничному ударі в різних місцях стенду з навантаженою шиною до бігового барабану: а) - удар по цапфі приводного валу колеса; б) - удар по поверхні шини; в) - удар по поверхні бігового барабану

В експерименті (для стенду на рис. 2.3) коефіцієнт демпфування буде розраховуватись зі співвідношень:

$$\frac{A0}{A1} = \frac{e^{\left(-\frac{(a^3 \mu + a^2 \mu b) t}{2 m L^2 a}\right)} - \frac{a L (F00 + m g)}{Ck a^2 + C0 (a + b)^2}}{e^{\left(-\frac{(a^3 \mu + a^2 \mu b) (t + T)}{2 m L^2 a}\right)} - \frac{a L (F00 + m g)}{Ck a^2 + C0 (a + b)^2}},$$

$$\mu = - \frac{2 \ln \left(\frac{A1 Ck a^2 + A1 C0 a^2 + 2 A1 C0 a b + A1 C0 b^2 + a L F00 + a L m g}{A0 Ck a^2 + A0 C0 a^2 + 2 A0 C0 a b + A0 C0 b^2 + a L F00 + a L m g} \right) m L^2}{T a (a + b)} \quad (2.4)$$

де T – період коливань, A0 и A1 – амплітуди в піку t и на слідуючому піку відповідно.

Для моделювання 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 траси може бути сформульована достатньо просто, а саме 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 $\frac{A\omega^2}{g} \ll 1$.

Таким чином математичний опис динаміки колеса буде в такому випадку аналогічний динаміці об'єкту на вібруючій поверхні. В цьому випадку ми можемо застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання об'єктів на вібруючих поверхнях. Прикладом може слугувати використання програмного забезпечення «Виброслой 1.0» [18], що створено саме для вказаних цілей – аналізу поведінки об'єктів з великою кількістю ступенів вільності (аж до сипких середовищ) на довільно переміщуваних 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 враховуємо вважаючи за наявний згладжуючий ефект підвіски).

В результаті моделювання отримуємо параметри руху колеса у вигляді наступних графіків:

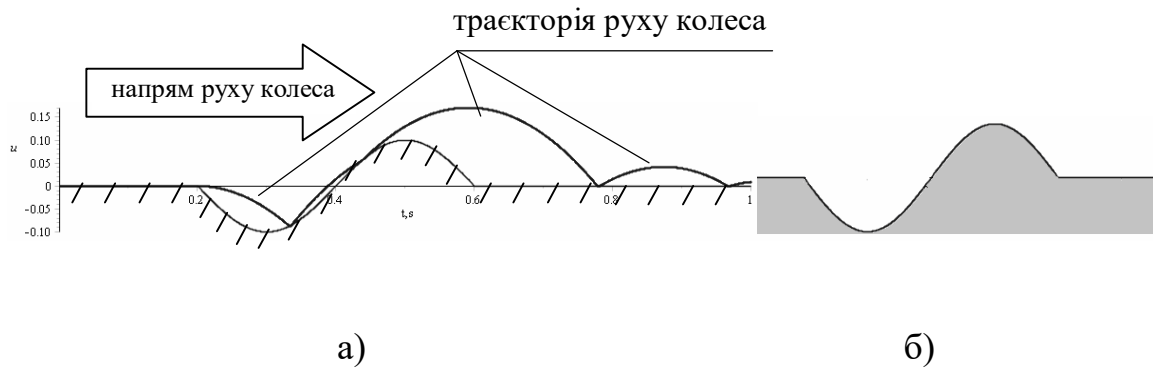


Рисунок 2.9 - Відскок колеса на перешкоді (а), геометрія перешкоди (б)

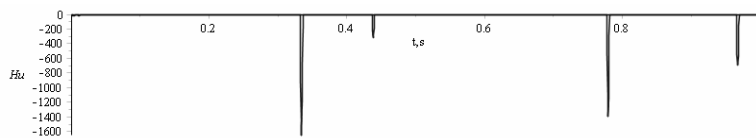


Рисунок 2.10. - Відповідні ударні напруги в умовних одиницях на дорожньому покритті при відскоках колеса

Значення жорсткості шини взяті з [17] 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.2.11).

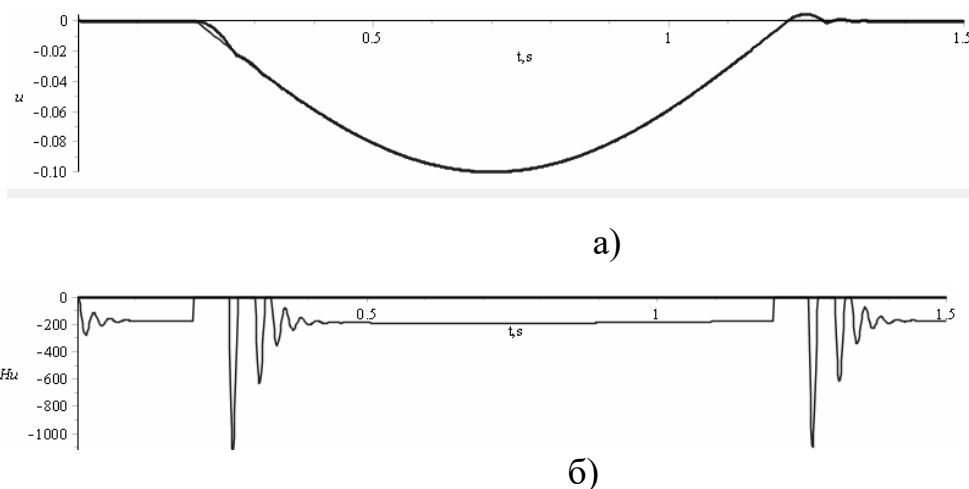
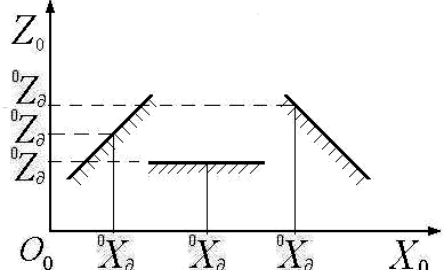
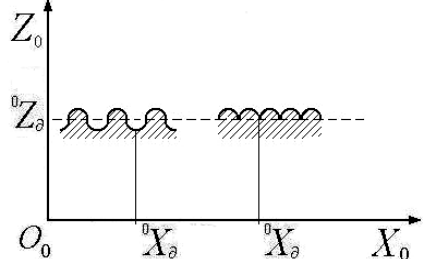
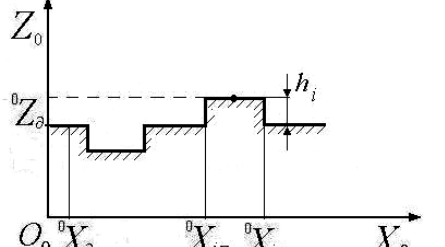


Рисунок 2.11 - Приклад подолання увігнутої внутрішньої перешкоди (а) із значенням коливань шини (б)

Колесо повільно з'їжджає на перешкоду з невеликим відривом та з наступним утворенням коливань в самій шині (в цьому випадку ефекту підвіски не спостерігається та на колесо приходиться відповідна маса автомобілю - даному випадку – 300 кг). Характерні важкопрохідні ділянки доріг можна характеризувати їх схематичними профілями. Ці схематичні профілі різні між собою та однозначно характеризують конкретну ділянку дороги. Але вони складаються з нечисельного набору елементів профілю, які наведені вже у формалізованому вигляді (Табл.2.1)

Таблиця 2.1 - Аналітичне представлення формалізованих елементів типових ділянок дороги [16]

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

Формалізовані елементи профілю типових ділянок доріг можна представити аналітично, використовуючи лінійні, тригонометричні, розривні функції з розривами першого роду.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНО-КІНЕМАТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШИН ПІД ВПЛИВОМ РІЗНИХ ФАКТОРІВ І ТИПОМ ПЕРЕШКОД

3.1 Експериментальне визначення бічної і колової жорсткості шин в різних умовах експлуатації в статиці і динаміці

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 хрестовому двокоординатному столі (табл.3.1). «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. 2.3.

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.3.1). Для дистанційного зняття деформації шини використано комп'ютеризовану вимірювальну головку з цифровим відліковим пристроєм INTELLIGENT MIKROTEX® (виробник м. Харків) з можливістю передачі вимірювань по системі блютуз (Додаток Е) 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.

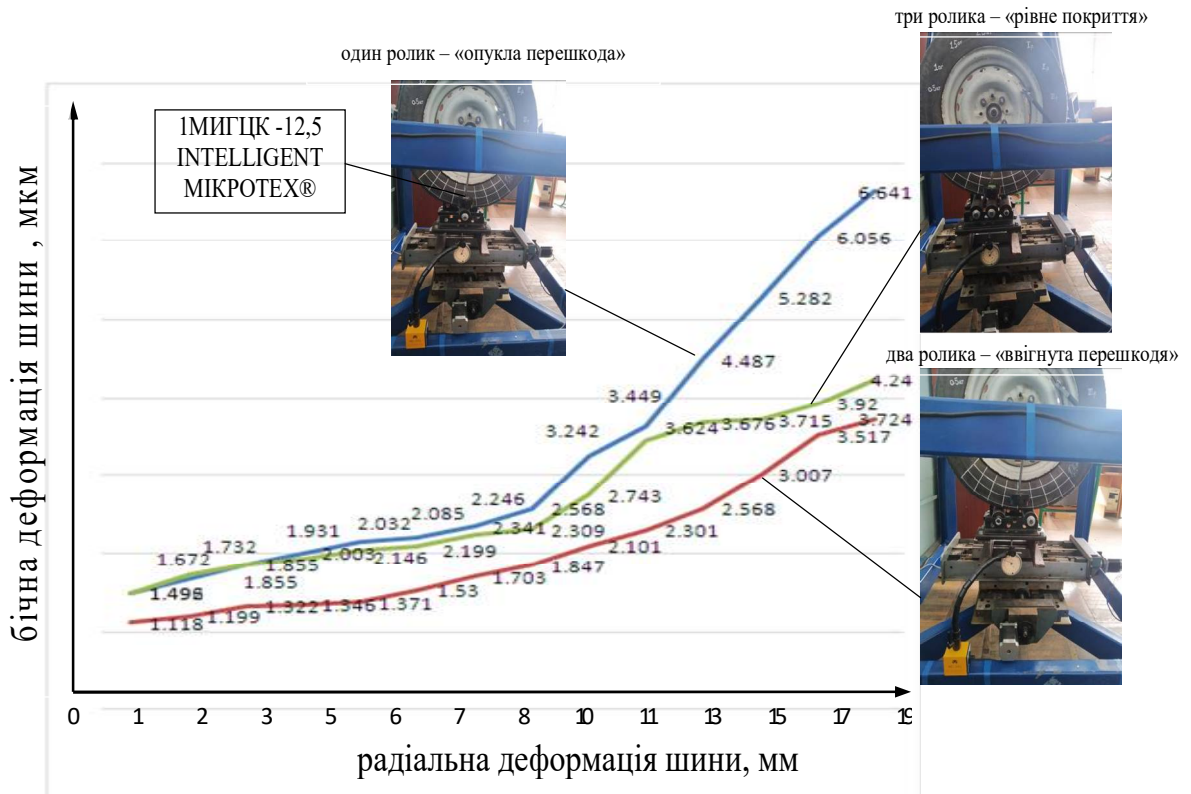


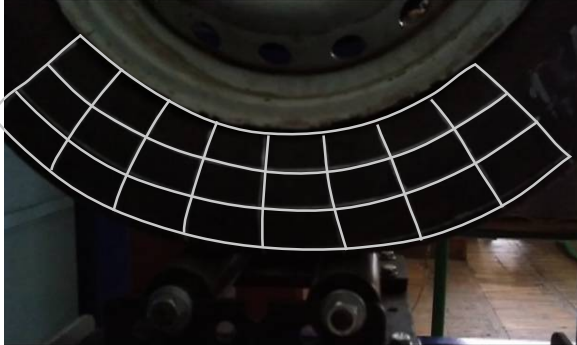
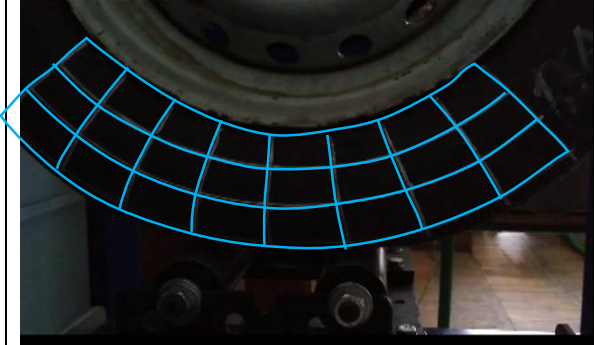
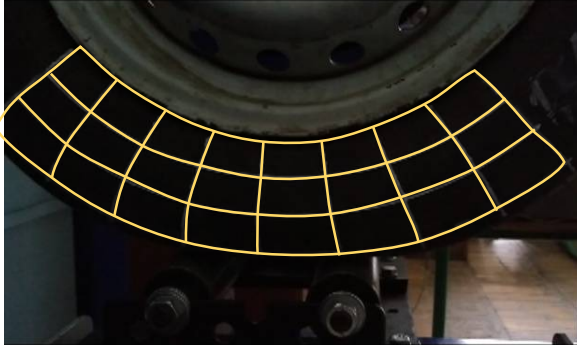

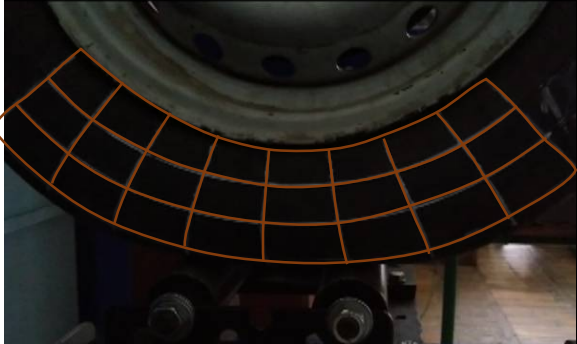
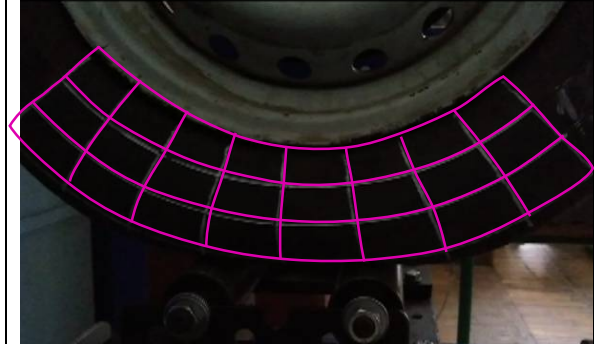

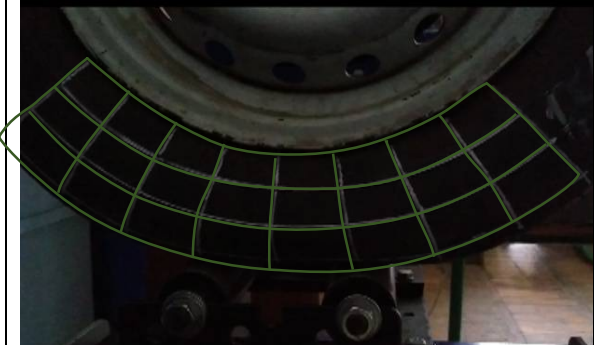
Рисунок 3.1 – Залежність ступеню бічної деформації шини від типу і геометрії перешкоди (тиск 1 Атм)

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

Таблиця 3.1 – Деформація шини при статичному навантаженні на перешкодах різного вигляду

№	Вигляд деформації сітки	№	Вигляд деформації сітки
1		6	

Продовження табл. 3.1

№	Вигляд деформації сітки	№	Вигляд деформації сітки
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

Отримані точки занесено як візуальні координати (Додаток Ж), що характеризують перший статичний відлік просторової деформації. Надалі відбувалось циклічне навантаження/розвантаження по керуючій програмі з різною швидкістю на ту ж саму відстань. Зміна «динамічних» сіток з урахуванням швидкості деформації надасть уявлення про поглинання енергії (демпфування) на перешкодах різного рівня

3.2 Програмне середовище для моделювання і візуалізації деформованості шин під впливом різних факторів

Розроблювана методика може стати альтернативою суто теоретичному визначенню реакцій колеса і шини на різноманітні перешкоди в різних умовах руху автомобіля і дії зовнішніх факторів [19]. Наприклад, лише змодельованим процесам методом скінчених елементів (рис. 3.2, а) можна протиставити дані які отримано експериментально на багатокординатному стенді для випробування шин як режим низькополігонального редагування сітки модифікаторами (Edit Mash, Bend, Push, Skew і ін.) середовища середовища 3dStudio MAX з можливістю анімації усіх керованих параметрів (рис.3.2., б).

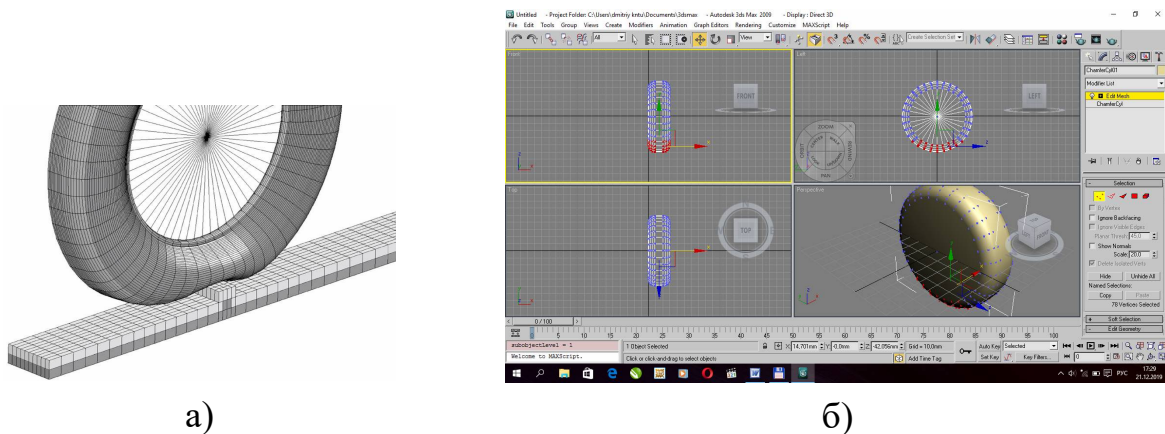


Рисунок 3.2 – Моделювання деформованого стану шини при перекочування через нерівність: а) методом скінчених елементів в САЕ –системах; б) методом управління геометрією шини з урахуванням феноменологічного підходу в есередовищі 3dStudio MAX

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.3.3).

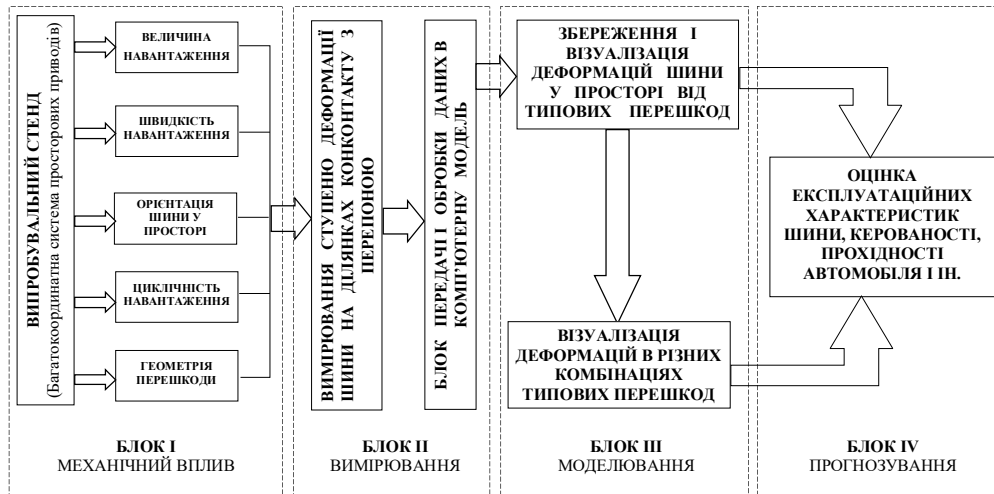


Рисунок 3.3 - Загальна блок схема оцінки накопичення експлуатаційних пошкоджень шин із застосуванням запропонованих технічних і програмних засобів

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 на рис.3.4.

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.

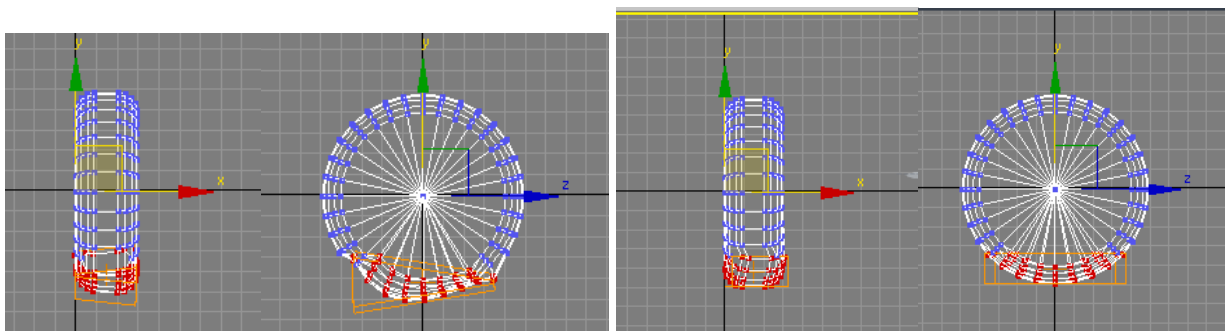


Рисунок 3.4 – Приклад роботи модифікатора Vend

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

Напрямки подальших досліджень: удосконалення механічної складової випробувального стенду, зокрема, щодо підвищення потужності приводів для реалізації більших навантажень і швидкостей механічного впливу на пошкоджуваність шин; захист вимірювальних засобів від відцентрових, ударних, коливальних, і інших збурень для забезпечення коротких вимірювань деформацій шини в динаміці; створення багатоканальної системи зчитування характерних точок на ділянці деформування шини; створення системи передачі даних про механо-кінематичні властивості шини під час випробування на кшталт Motion Capture Technology (захват руху) для більш оперативної оцінки процесів, що відбуваються з шиною під час подолання перешкод.

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу проблеми визначення і забезпечення механічних властивостей автомобільних шин в сучасних умовах їх виготовлення, випробування і експлуатації запропоновано удосконалені методи випробування і надано пропозиції щодо вимог експлуатації автомобілів.

2. Розроблено математичну модель для опису затухаючих коливань і визначення частот шин як пружного тіла з різними нормативними значеннями, що регламентуються стандартами.

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

4. Визначено коефіцієнти демпфування шин легкових автомобілів від тиску повітря і зміни жорсткості, що можуть бути використані в подальшому моделюванні руху автомобіля.

5. 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.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Теорія руху автомобіля: підручник / В.П. Волков, Г.Б. Вільський. – Суми:Університетська книга, 2010. – 320 с.
2. Динаміка колеса автомобіля. Монографія / А.У. Абдулгасіс, Д.В. Абрамов, М.П., Артёмов, В.І. Гацько, З.Е. Забелишенский, Д.М. Клец, О.О. Назарько, М.А. Подригало, О.С. Полянський, М.М. Потапов, В.Л. Файст; под ре. М.А. Подригало та Полянськргр – Х.:ХНАДУ, 2019. -199 с.
3. Механіка шини: монографія / В.А. Перегон, В.А.Карпенко, Л.П. Гречко и др. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – 404 с.
4. Ключові аспекти взаємодії шини з опорною поверхнею: монографія / В.В. Біліченко, О.Л. Добровольський, В.М. Ребедаило. – Вінниця:ВНТУ, 2013. – 128 с.
5. Колесные и гусеничные транспортные средства. Обеспечение эффективности: учеб. пособие. Ч.2 / В. С. Блохин, Н. Г. Малич, К. М. Басс. - Дн-ск : ИМА-пресс, 2008. - 424 с.
6. Автомобильный транспорт: респ. межвед. науч.-техн. сб. Вып. 26 // Харьковский гос. автомобильно-дорожный техн. ун-т ; отв. ред. Н. Я. Говорущенко. - Киев : Техніка, 1989. - 103 с.
7. Ларин А.Н., Черток Е.Е., Юрченко А.Н. Колесные узлы современных автомобилей (шины, камеры, диски) / А. Н. Ларин [и др.] ; общ. ред. А. Н. Юрченко. - Х. : С.А.М., 2004. - 260 с.: ил. - Библиогр.: с. 258-260. - ISBN 966-8591-04-6
8. Диментберг Ф.М., Шаталов К.Т., Гусаров А.А. Колебания машин. Тираж 5200 экз. М. Машиностроение 1964г. 308 с
9. Gough V.E. Contribution to discussion of papers on research in automobile stability, control and tyre performance, 1956-1957. Proc.Auto Div. Inst. Mech. Eng.
10. J.-P. Merlet Parallel Robots //solid mechanics and its applications. Volume 128. 2006 Springer

11. Дмитрієв Д.О., Войтович О.А., Чурсов С.О., Баль О.Д. Застосування багатокординатних механізмів в якості випробувальних стендів шин автотранспорту // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем". ЧНТУ:10-12 травня 2018р., м. Чернігів. - С.147-148
12. Войтович О. А. , Ткач В. О. Вплив тиску в шинах на безпеку руху автотранспорту // Вісник ХНТУ.-2017. - №4(63)., - С.33-38
13. Система контролю давления в шинах: как обеспечивается безопасность на дороге? [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://auto.today/bok/1956-sistema-kontrolya-davleniya-v-shinah-ili-kak-obespechivaetsya-bezopasnost-na-doroge.html>.
14. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля // Роберт Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 316 с.
15. Абрамов Д.В Концепція покращення функціональної стабільності динамічних та енергоперетворюючих властивостей автомобілів Автореферат ганд. техн .наук Спеціальність 05.22.02-автомобілі та трактори Харків 2018 40 с.
16. Зінько Р.В., Крайник Л.В., Горбай О.З. Основи констуктивного синтезу та динаміка спеціальних автомобілів і технологічних машин: монографія – Львів: видавництво Львівської політехніки, 2019. – 344с.
17. Алямовский А.А. SoliWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. -М.:ДМК Пресс, 2004.-432с.:ил. (Серия "Проектирование")
18. Програма Віброслой. Авторське свідоцтво про твір №25051 від 24.07.2008, автор Русанов С.А
19. Дмитрієв Д.О. Дослідження властивостей шин для забезпечення прохідності автомобілей\\ Кваліфікаційна робота магістра, Харків: ХНАДУ 2019р. -74 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Назва показника	Значення для шин				Позначка нормативного документа на метод випробування
	легкових автомобілів, причепів до них, легких вантажних автомобілів та автобусів особливо малої місткості	вантажних автомобілів, причепів до них, автобусів та троллейбусів	мотоциклів, мотоколясок, моторолерів і мопедів	тракторів та сільськогосподарських машин	
1 Зміна розмірів нових шин: а) зовнішній діаметр, % від номінального, для шин: — дорожніх; — інших; б) ширина профілю, % від номінальної, не більше, для шин: — радіальних; — діагональних; при здвоєних колесах і ширині профілю шин більшій ніж 305 мм: — радіальних; — діагональних;	± 1,0 ± 1,5 3,0	± 1,5	± 1,0	± 1,5	ГОСТ 26000; ДСТУ 3780/ ГОСТ 30761 ГОСТ 26000; ДСТУ 3780/ ГОСТ 30761

Назва показника	Значення для шин				Позначка нормативного документа на метод випробування
	легкових автомобілів, причепів до них, легких вантажних автомобілів та автобусів особливо малої місткості	вантажних автомобілів, причепів до них, автобусів та троллейбусів	мотоциклів, мотоколясок, моторолерів і мопедів	тракторів та сільськогосподарських машин	
2 Безвідмовність залежно від навантаги та швидкості	Відсутність відриву елементів протектора, надривів, тріщин біля основи елементів протектора, відшарувань протектора, розшарувань, розривів шарів корду				ДСТУ UN/ECE R 30-02, ДСТУ UN/ECE R 54-00, ДСТУ UN/ECE R 75-00, ДСТУ UN/ECE R 106-02
3 Збільшення зовнішнього діаметра шини через 6 год після завершення випробувань на безвідмовність залежно від навантаги та швидкості, %, не більше	3,5	3,5	3,5	—	ДСТУ UN/ECE R 30-02, ДСТУ UN/ECE R 54-00, ДСТУ UN/ECE R 75-00
4 Збільшення габаритної ширини профілю шини, виміряної в кінці випробувань на безвідмовність залежно від навантаги та швидкості, %, не більше — для звичайних та зимових шин з умовною позначкою номінального посадочного діаметра не менше 13 — для звичайних та зимових шин з умовною позначкою номінального посадочного діаметра до 12 включно — для спеціальних шин з обмеженим використанням на дорогах, які мають маркування «MST»	—	—	10 8 25	—	ДСТУ UN/ECE R 75-00
5 Стійкість шини до розривання	—	—	—	Відсутність відшарування протектора, розшарування, відшарування шарів корду, розриву борта або розриву корду	ДСТУ UN/ECE R 106-02

Назва показника	Значення для шин				Позначка нормативного документа на метод випробування
	легкових автомобілів, причепів до них, легких вантажних автомобілів та автобусів особливо малої місткості	вантажних автомобілів, причепів до них, автобусів та тролейбусів	мотоциклів, мотоколясок, моторолерів і мопедів	тракторів та сільськогосподарських машин	
6 Висота індикатора стирання, мм	$1,6_0^{+0,6}$	$1,6_0^{+0,5}$	$1,0 \pm 0,2^j$	—	ГОСТ 4754 ГОСТ 5513
7 Динамічне розширення шини	—	—	Контур шини, який визначений за максимальної швидкості, не повинен виходити по відношенню до осей шини за межі кривої, що опинає	—	ДСТУ UN/ECE R 75-00

Порядок випробувань шин навантагу/швидкість (згідно ДСТУ UN/ECE R 30-02:2005)

1 ПІДГОТОВКА ШИНИ

1.1 Шину встановити на вимірювальний обід, зазначений підприємством-виробником, відповідно до 4.1.12.

1.2 Накачати шину до відповідного тиску, бар, зазначеного у таблиці.
Запасні шини тимчасового застосування типу T — до 4,2 бара.

Категорія швидкості	Діагональні шини			Радіальні шини		Опerezані діагональні шини
	Норми шариюсті			Стандартна	Посилена	Стандартна
	4	6	8			
L, M, N	2,3	2,7	3,0	2,4	2,8	—
P, Q, R, S	2,6	3,0	3,3	2,6	3,0	2,6
T, U, H	2,8	3,2	3,5	2,8	3,2	2,8
V	3,0	3,4	3,7	3,0	3,4	—
W	—	—	—	3,2	3,8	—
Y	—	—	—	3,2 ¹⁾	3,5	—

Примітка. ¹⁾ Значення 3,2, відповідно категорії швидкості «Y» шин, було помилково встановлено доповненням 5 до поправок серії 02, яке набуло чинності 6 січня 1995 р., і його можна розглядати як помилку у цьому доповненні та визнавати помилковим з тієї самої дати.

1.3 Підприємство-виробник може вимагати застосування тиску, який відрізняється від величин, наведених у 1.2, обґрунтовуючи свою вимогу. У такому разі шину потрібно накачати до цього тиску.

1.4 Витримати встановлену на колесо шину за температури приміщення, в якому проводять випробування, протягом не менше ніж 3 год.

1.5 Відрегулювати тиск шини до тиску, визначеного в 1.2 чи 1.3.

2 ВИПРОБОВУВАННЯ

2.1 Закріпити встановлену на колесо шину на випробувальну вісь і притиснути її до зовнішньої поверхні гладенького маховика діаметром $1,70 \text{ м} \pm 1 \%$ або $2 \text{ м} \pm 1 \%$.

2.2 Прикласти до випробувальної осі навантагу, рівну 80 %:

2.2.1 показника найбільшої навантаги, відповідної індексу несівної здатності шин, які належать до категорій швидкості «L»—«H» включно;

2.2.2 і показника найбільшої навантаги, відповідної найбільшій швидкості 240 км/год для шин категорії швидкості «V» (див. 2.31.2);

2.2.3 показників найбільшої навантаги, відповідних найбільшій швидкості 270 км/год для шин категорії швидкості «W» (див. 2.31.3);

2.2.4 показників найбільшої навантаги, відповідних найбільшій швидкості 300 км/год для шин категорії швидкості «Y» (див. 2.31.4).

2.3 Протягом усього випробування тиск у шині не повинен регулюватися, а випробувальна навантага повинна залишатися постійною.

2.4 Під час випробування температуру приміщення, в якому випробовують, потрібно підтримувати в межах (20—30) °C або може бути більш висока температура у разі згоди підприємства-виробника.

2.5 Випробування проводять без перерв згідно з такими вказівками:

2.5.1 час доведення швидкості від нуля до швидкості початку випробування — 10 хв;

2.5.2 швидкість початку випробування: найбільша швидкість, передбачена для даного типу шини (див. 2.29.3), мінус 40 км/год у разі застосування гладенького маховика діаметром $1,70 \text{ м} \pm 1 \%$ або мінус 30 км/год у разі використання гладенького маховика діаметром $2 \text{ м} \pm 1 \%$;

2.5.3 ступені збільшення швидкості — 10 км/год;

2.5.4 тривалість випробування на кожному ступені швидкості, за винятком останнього ступеня, — 10 хв;

2.5.5 тривалість випробування на останньому ступені швидкості — 20 хв;

2.5.6 найбільша швидкість випробування — найбільша швидкість, передбачена для даного типу шини, мінус 10 км/год у разі застосування гладенького маховика діаметром $1,7 \text{ м} \pm 1 \%$ або рівна найбільшій швидкості за приписом у разі використання гладенького маховика діаметром $2 \text{ м} \pm 1 \%$;

2.5.7 однак для шин, призначених для найбільшої швидкості 300 км/год (категорії швидкості «Y»), випробування тривають 20 хв на першому ступені швидкості і 10 хв — на останньому ступені швидкості.

2.6 У разі другого випробування (див. 6.2.1.1) застосовують таку процедуру для оцінки характеристик експлуатаційних якостей шини, призначеної для швидкостей понад 300 км/год:

2.6.1 прикладають до випробувальної осі навантагу, рівну 80 % допустимої навантаги, яка пов'язана з найбільшою швидкістю, визначеною підприємством-виробником шини (див. 4.1.15);

2.6.2 випробовують без перерв згідно з такими вимогами:

2.6.2.1 протягом десяти хвилин швидкість обертання шини збільшують від нуля до найбільшої швидкості, визначеної підприємством-виробником шини (див. 4.1.15);

2.6.2.2 потім протягом п'яти хвилин витримують найбільшу швидкість випробування.

- розшарування в борту (bead separation): Руйнування з'єднання між деталями в зоні борту.
- розшарування в брекері (belt separation): Відділення гумової суміші між шаром брекера або між шарами брекера і каркаса.
- викришування (chunking): Відділення (випадіння) шматків протектора.
- відшарування корду (cord separation): Відділення корду від прилеглої гумової суміші.
- розтріскування (cracking): Будь-який поділ всередині протектора, боковини або герметичного шару шини, що доходить до матеріалу корду.
- відшарування герметичного шару (innerliner separation): Відділення герметичного шару від матеріалу корду в каркасі.
- відкритий стик (open splice): Будь-який поділ за місцем будь-якого стику протектора, боковини або герметичного шару яке доходить до матеріалу корду.
- розшарування (ply separation): Відділення гумової суміші між суміжними шарами.
- розшарування в боковині (separation): Відділення гумової суміші від матеріалу корду в боковині.
- відшарування протектора (tread separation): Відділення протектора від каркаса шини.
- максимальне розрахункове навантаження (maximum load rating): Максимальне навантаження, яке шина повинна витримувати відповідно до її категорією швидкості.

Нормы нагрузок на шины для выбора режима работы при различных давлениях

Таблица А.1

Обозначение шины	Макс. несущая способность	Нагрузка на шину, Н (кельс, при давлении, МПа (кгс/см ²))																	
		0,12 (1,2)	0,14 (1,4)	0,15 (1,5)	0,16 (1,6)	0,17 (1,7)	0,18 (1,8)	0,19 (1,9)	0,20 (2,0)	0,21 (2,1)	0,22 (2,2)	0,23 (2,3)	0,24 (2,4)	0,25 (2,5)	0,26 (2,6)	0,27 (2,7)	0,28 (2,8)	0,37 (3,8)	0,45 (4,5)
Различные шины для легковых автомобилей																			
135/80 R12	68	—	—	2059 (210)	2158 (220)	2256 (230)	2354 (240)	2501 (255)	2599 (265)	2697 (275)	2795 (285)	2893 (295)	2991 (305)	3089 (315)	—	—	—	—	—
155/80 R13	78	—	2010 (205)	2991 (305)	3138 (320)	3285 (335)	3481 (355)	3628 (370)	3825 (390)	3972 (405)	4168 (425)	—	—	—	—	—	—	—	—
165/80 R13	82	—	2991 (305)	3187 (325)	3334 (340)	3530 (360)	3678 (375)	3874 (395)	4021 (410)	4217 (430)	4413 (450)	4658 (475)	—	—	—	—	—	—	—
175/80 R13	86	—	3285 (335)	3481 (355)	3678 (375)	3874 (395)	4070 (415)	4217 (430)	4413 (450)	4658 (475)	4854 (500)	5100 (520)	—	—	—	—	—	—	—
165/80 R14	84	—	3138 (320)	3334 (340)	3530 (360)	3727 (380)	3929 (400)	4070 (415)	4266 (435)	4455 (455)	4658 (475)	4854 (495)	—	—	—	—	—	—	—
175/80 R16	88	3217 (328)	3658 (373)	3874 (395)	4099 (418)	4315 (440)	4541 (463)	4805 (490)	4952 (505)	5168 (527)	5354 (546)	5492 (560)	—	—	—	—	—	—	—
155/70 R13	75	—	2305 (235)	2452 (250)	2599 (265)	2746 (280)	2893 (295)	3040 (310)	3138 (320)	3285 (335)	3481 (355)	3681 (375)	3881 (395)	3995 (407)	—	—	—	—	—
165/70 R13	79	—	2550 (260)	2746 (280)	2942 (300)	3089 (315)	3236 (330)	3383 (345)	3530 (360)	3678 (375)	3825 (395)	3972 (405)	4119 (420)	4286 (437)	—	—	—	—	—
175/70 R13	80	—	2795 (285)	2991 (305)	3187 (325)	3383 (345)	3579 (365)	3776 (385)	3972 (405)	4119 (420)	4218 (430)	4413 (450)	—	—	—	—	—	—	—
185/70 R13	84	—	3040 (310)	3285 (335)	3481 (355)	3678 (375)	3874 (395)	4070 (415)	4266 (435)	4455 (455)	4658 (475)	4854 (495)	4903 (500)	—	—	—	—	—	—
175/70 R14	84	—	2991 (305)	3187 (325)	3383 (345)	3579 (365)	3776 (385)	3972 (405)	4168 (425)	4315 (440)	4462 (455)	4609 (470)	—	—	—	—	—	—	—
185/70 R14	86	—	3187 (325)	3438 (350)	3678 (375)	3874 (395)	4070 (415)	4266 (435)	4462 (455)	4658 (475)	4805 (490)	5001 (510)	5142 (525)	—	—	—	—	—	—

Энергия разрушения

Таблица Д.1

Обозначение шины	Энергия разрушения, Дж. на мм²
Шины для легковых автомобилей	
Радиальные 135/80R12 155/80R13	220
165/80R13 175/80R13 165/80R14 175/80R16	294
155/70R13	220
165/70R13 175/70R13 185/70R13 175/70R14 185/70R14 205/70R14 185/65R13	294
Диагональные	
155-13(6,15-13) 165-13(6,45-13) 175-13(6,95-13) 185-14(7,35-14) 175/80-16: с вискозным кордом с кордом из синтетических волокон	186 294

Таблица Д.2

Обозначение шины	Норма стойкости	Энергия разрушения, Дж. на мм²
Шины для легких грузовых автомобилей и автобусов особо малой вместимости		
Радиальные 185/80R15C	6	362
	8	514
215/80R16C 225/75R16C	6	362
	8	514
	10	576
Диагональные* 5,90-13C 6,40-13C 215/90-15C 175/80-16C 6,50-16C	4	294
	6	362
	6	362
	4	294
	6	362

* Нормы указаны для шин с кордом из синтетических волокон, для шин с вискозным кордом нормы должны составлять 60 % от указанных в таблице.

Индекс несущей способности

Таблица Е.1

Индекс несущей способности	Максимально допустимая нагрузка на шину, кгс	Индекс несущей способности	Максимально допустимая нагрузка на шину, кгс
60	250	96	710
61	257	97	730
62	265	98	750
63	272	99	775
64	280	100	800
65	290	101	825
66	300	102	850
67	307	103	875
68	315	104	900
69	325	105	925
70	335	106	950
71	345	107	975
72	355	108	1000
73	365	109	1030
74	375	110	1060
75	387	111	1090
76	400	112	1120
77	412	113	1150
78	425	114	1180
79	437	115	1215
80	450	116	1250
81	462	117	1285
82	475	118	1320
83	487	119	1360
84	500	120	1400
85	515	121	1450
86	530	122	1500
87	545	123	1550
88	560	124	1600
89	580	125	1650
90	600	126	1700
91	615	127	1750
92	630	128	1800
93	650	129	1850
94	670	130	1900
95	690		

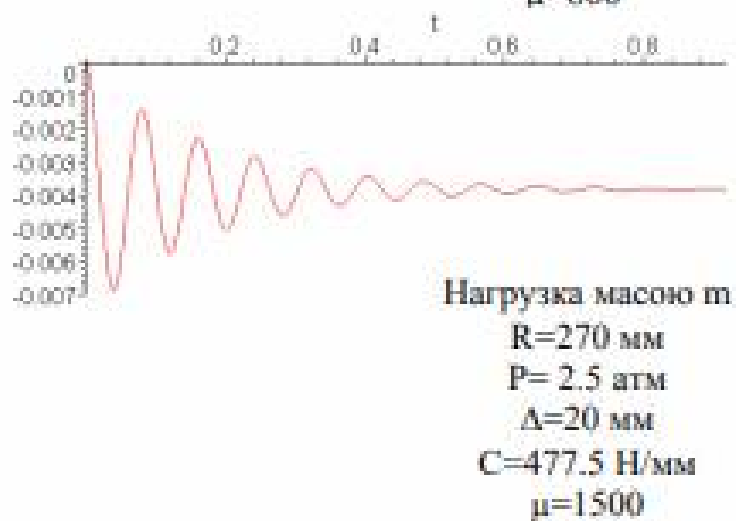
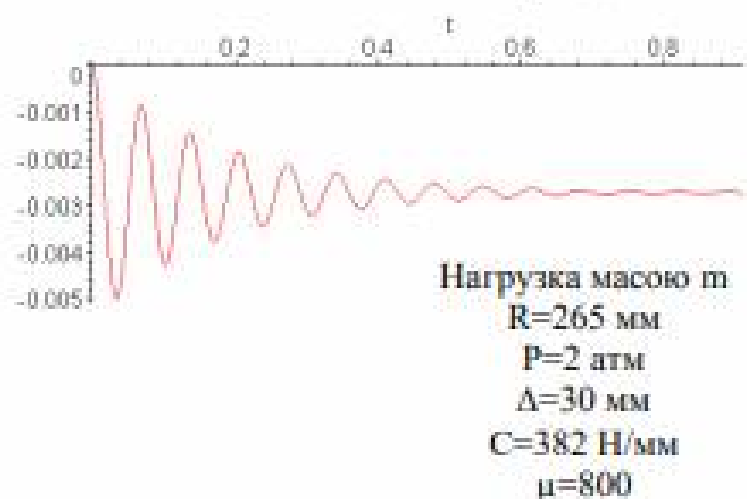
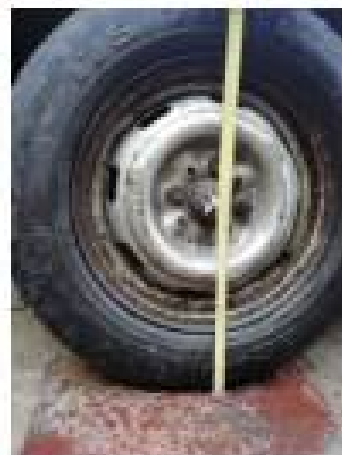
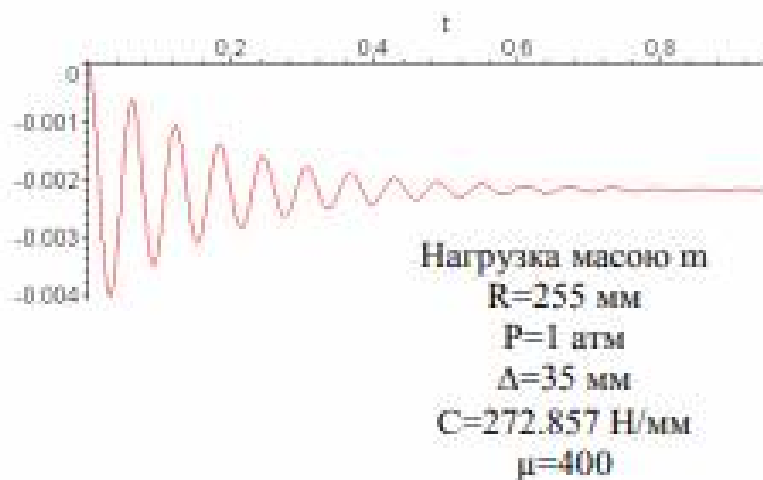
Розрахунок і розв'язання рівняння (2.1) руху колеса на стенді в середовищі Maple.

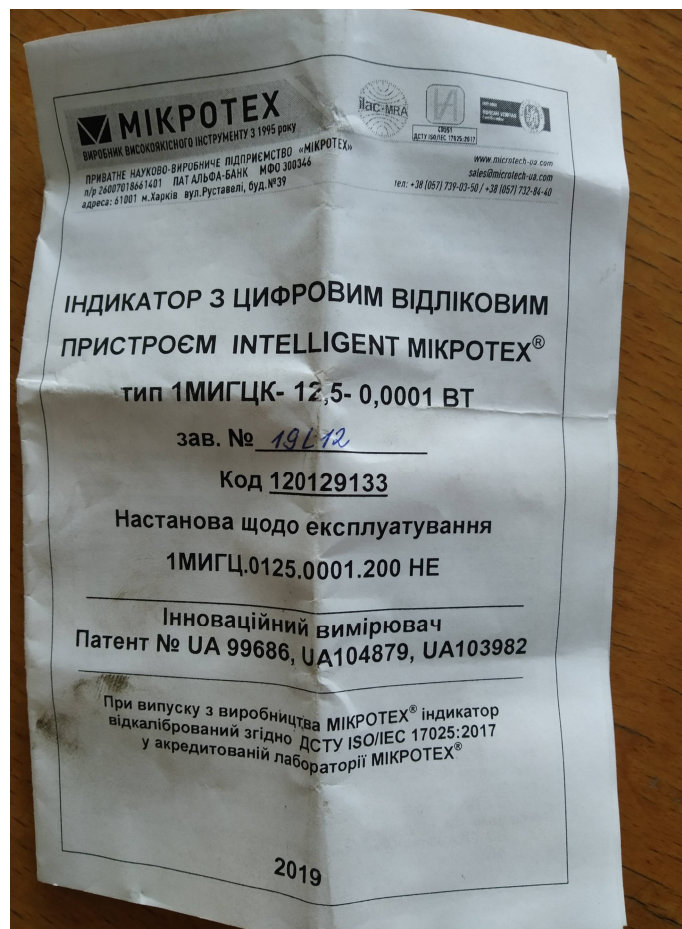
```

> restart;
Ck:=15000/(4*0.015); # Жорсткість шин (вага авто на
одне колесо до деформації шини), Н/м
C0:=Ck/4; # Жорсткість дод. пружини (як частина від
Ck)
mu:=1000; # Коеф. демпфування, Н*с/м
a:=0.5; # Геометрія рычагу
b:=0.5; #
c:=0.5; #
L:=a+b+c;
m:=20; # Маса вантажу на рычагу
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 (d/dt U(t))-1044.300 = 45.00000000 (d^2/dt^2 U(t))
> res:=dsolve({Eq, U(0)=0, D(U)(0)=0}, U(t));
      res := U(t) = 10443/447500000 e^(-50t/9) sin(50*sqrt(179)t/9) sqrt(179)
      + 10443/2500000 e^(-50t/9) cos(50*sqrt(179)t/9) - 10443/2500000
      ➤ plot(rhs(res), t=0..1);
      ➤

```

Теоретичні віброграми за заданим коефіцієнтом демпфування μ





ХАРАКТЕРИСТИКИ

Діапазон вимірів ,мм	0-12,5
Дискретность отсчета ,мм	0.0001
Погрешность КТ 3, мм	±0,0017
Погрешность КТ 2, мм	±0,002
Погрешность КТ 1, мм	±0,003
Погрешность КТ 0, мм	±0,006
Країна виробник	Україна

Приклад накладання деформаційних сіток з різницею в зміні радіуса шини покровоно на 4 мм

