

УДК 629.3.027.5:629.3.018.2

Д.О. ДМИТРИЄВ, О.А. ВОЙТОВИЧ,
С.А. РУСАНОВ, С.О. ЧУРСОВ
Херсонський національний технічний університет

СТЕНДОВІ МЕТОДИ ВИПРОБУВАННЯ ШИН АВТОТРАНСПОРТУ

У даній роботі представлено розроблену авторами кінематичну схему, конструкцію вузлів та програмно-математичного апарату універсального програмно-керованого стенду для випробування шин автотранспортних засобів в умовах, найбільш наближених до експлуатаційних. Проведено вимірювання і дослідження вібраційних характеристик коліс і шин, удосконалено методи випробування і надано пропозиції щодо вимог експлуатації автомобілів. 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. 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 SIMULINK. Вказано, що кутові коливання корпусу автомобіля з незалежною підвіскою надають помітний вплив на стійкість руху керованих коліс, так як при цьому встановлюється двосторонній гіроскопічний зв'язок між колесами коліс у горизонтальній (навколо шкворней) і вертикальній площині. Описано проведені тестові випробування (силові і вібраційні) на багатокоординатному стенді з просторовим розташуванням приводів для відтворення орієнтації колеса в найбільш наближених до дорожніх умовах. Визначено радіальну жорсткість та коефіцієнт похибки шин при радіальних коливаннях для колеса, що обертається, залежно від швидкості прокачування, тиску повітря в шині, радіального навантаження та частот вібрацій, коефіцієнти демпфування шин легкових автомобілів від тиску повітря і зміни жорсткості.

Ключові слова: автомобіль, шина, жорсткість, демпфування, деформація, багатокоординатний стенд.

Д.А. ДМИТРИЕВ, О.А. ВОЙТОВИЧ,
С.А. РУСАНОВ, С.А. ЧУРСОВ
Херсонский национальный технический университет

СТЕНДОВЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ШИН АВТОТРАНСПОРТА

В данной работе представлена разработанная авторами кинематическая схема, конструкцию узлов и программно-математический аппарат универсального программно-управляемого стенда для испытания шин автотранспортных средств в условиях, наиболее приближенных к эксплуатационным. Проведены измерения и исследования вибрационных характеристик колес и шин, усовершенствованы методы испытания и даны предложения по требованиям эксплуатации автомобилей. В данной работе предлагается использование механизма с параллельной структурой с четырьмя штангами постоянной длины, которые приводятся в движение каретками на направляющих, образующих пирамидальную каркасную компоновку. Предложенный стенд, который предназначен для динамических испытаний пневматических шин и обеспечивает определение в лабораторных условиях срока службы шины, зависимость его от скорости движения динамического радиуса шины и пути пройденного шиной до разрушения. Испытательный стенд позволяет воспроизводить условия эксплуатации шины, в том числе наиболее экстремальные с точки зрения вертикальной нагрузки, угла заноса и скорости. Для построения динамических моделей механических систем и тел использовался метод уравнений Лагранжа, а для компьютерного моделирования процесса торможения - среда SIMULINK. Указано, что угловые колебания корпуса автомобиля с независимой подвеской оказывают заметное влияние на устойчивость движения управляемых колес, так как при этом устанавливается двусторонняя гироскопическая связь между колесами колес в горизонтальной (вокруг шкворней) и вертикальной плоскости. Описаны проведенные тестовые испытания (силовые и вибрационные) на многокоординатном стенде с пространственным расположением поводков для воспроизведения ориентации колеса в наиболее приближенных к дорожных условиях. Определены радиальная жесткость и коэффициент погрешности шин при радиальных колебаниях для вращающегося колеса в зависимости от скорости прокачки, давления воздуха в шине, радиальной нагрузки и частот вибраций,

коэффициенты демпфирования шин легковых автомобилей от давления воздуха и изменения жесткости.

Ключевые слова: автомобиль, шина, жесткость, демпфирование, деформация, многокоординатный стенд.

D. DMITRIEV, O. VOYTOVICH,
S. RUSANOV, S. CHURSOV
Kherson National Technical University

STAND TEST METHODS FOR TIRE MOTOR TRANSPORT

This paper presents the kinematic scheme developed by the authors, the design of the nodes and the software-mathematical apparatus of a universal software-controlled test bench for tires of motor vehicles in conditions that are closest to operational. Measurements and studies of the vibration characteristics of wheels and tires were carried out, test methods were improved, and suggestions were given on the requirements for car operation. This paper proposes the use of a mechanism with a parallel structure with four rods of constant length, which are driven by carriages on guides that form a pyramidal frame layout. The proposed stand, which is designed for dynamic testing of pneumatic tires and provides for determining in laboratory conditions the 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 to failure. 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. To build dynamic models of mechanical systems and bodies, the Lagrange equations method was used, and the SIMULINK environment was used for computer modeling of the braking process. It is indicated that the angular oscillations of the car body with independent suspension have a noticeable effect on the stability of the movement of the steered wheels, since it establishes a two-way gyroscopic connection between the wheels of the wheels in the horizontal (around pins) and vertical plane. The tests carried out (force and vibration) on a multi-axis bench with a spatial arrangement of leads for reproducing the orientation of the wheel in the closest to the road conditions are described. The radial stiffness and tire error ratio for radial vibrations for a rotating wheel are determined depending on the speed of pumping, air pressure in the tire, radial load and vibration frequencies, damping coefficients of passenger car tires from air pressure and changes in stiffness.

Keywords: car, tire, stiffness, damping, deformation, multi-axis stand.

Постановка проблеми

Автомобільна шина - дуже складна, багатофункціональна конструкція. Основним призначенням шини є пом'якшення поштовхів і ударів, переданих на підвіску машини, забезпечення надійного зчеплення колеса з дорожнім покриттям, керуваність, 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, 2]. Крім цього, шина повинна забезпечувати довговічність, надійність і задану вантажопідйомність [3]. Це один з найбільш важливих елементів колеса, що представляє собою пружну резино-метало-тканинну оболонку, встановлену на обід диска. 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. Результати незалежних випробувань дозволяють зрозуміти, яких саме показників слід очікувати від шин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В даний час значна увага приділяється розробці емпіричних методів визначення чинників, які впливають на знос покриття автомобільних шин (рис. 1) [4].



Рис. 1. Випробування на треку властивостей шин бренду Michelin

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 (ISO 3877-1–78, ISO 3877-3–78, ISO 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 визначення 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).

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є розробка кінематичної схеми, конструкції вузлів та програмно-математичного апарату універсального програмно-керованого стенду для випробування шин АТЗ в умовах, що найбільш наближені до експлуатаційних. Провести вимірювання і дослідження вібраційних характеристик коліс і шин в найбільш поширених комбінаціях навантажень при русі АТЗ, порівняти їх та визначити вплив на безпеку руху автомобіля.

Викладення основного матеріалу дослідження

Стендові випробування - один з невід'ємних етапів вивчення шини та її властивостей. Тільки тут можна отримати точні дані, наприклад, про температуру окремо взятої ділянки шини конкретного типорозміру при певній швидкості, навантаженні і тиску. Традиційні стенди призначені для динамічних випробувань пневматичних шин (рис.2) і забезпечує визначення в лабораторних умовах терміну служби шини, залежність його від швидкості руху динамічного радіуса шини та шляхи пройденого шиною до руйнування.

Дорожні випробування цих даних не дають. Це тривалий, виснажливий і монотонний, але дуже важливий процес.

Стенд для випробування шин на знос відноситься до засобів випробувань пневматичних шин різної вантажопідйомності на зносостійкість протектора (рис. 2 а, б) і може бути використано на підприємствах автомобільної та шинної промисловості. Призначення стенду - скорочення термінів випробувань за рахунок форсування втомного зносу протектора шин (рис. 2 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, тому що зовнішня поверхня стрічкового конвеєра імітує дорогу.

Авторами [2] для дослідження характеристик шин легкових автомобілів з обертаючим колесом був розроблений і виготовлений спеціальний стенд, схема якого показана на рис. 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; пристрій, за допомогою якого коливальна система виводиться з рівноваги.

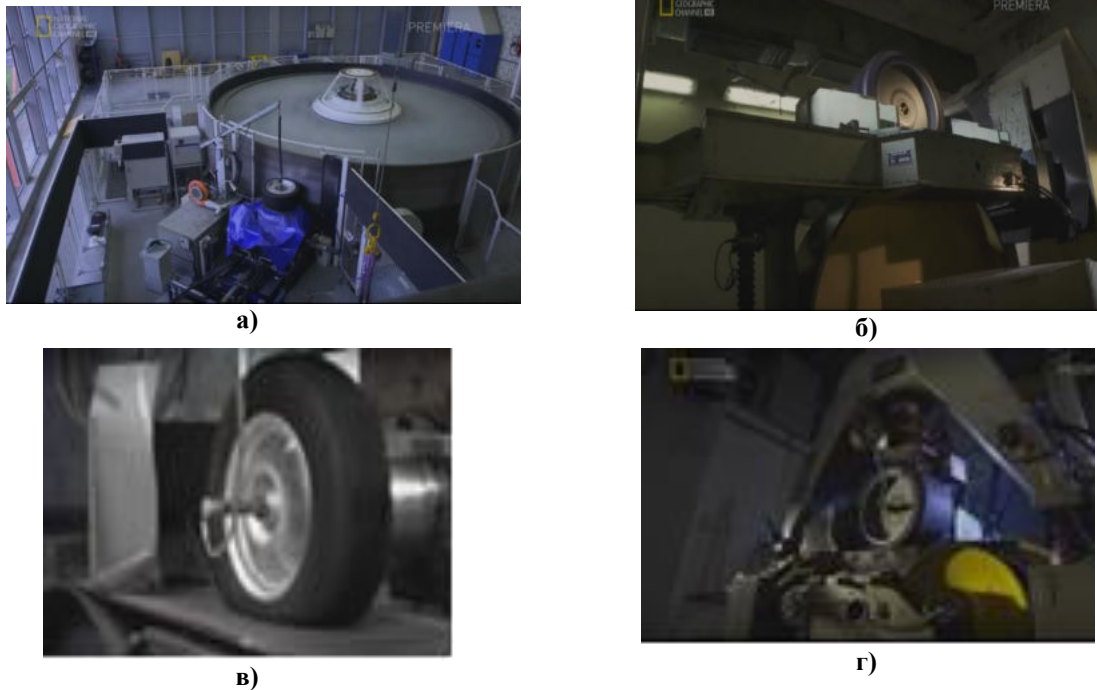


Рис. 2. Традиційні стени випробування шин (компанія Michelin):
 а), б) – стени для випробування на зношування протектора з одним ступенем вільності;
 в) – стенд випробування жорсткості (плями контакту);
 г) - трикоординатний стенд для комплексного випробування параметрів шини

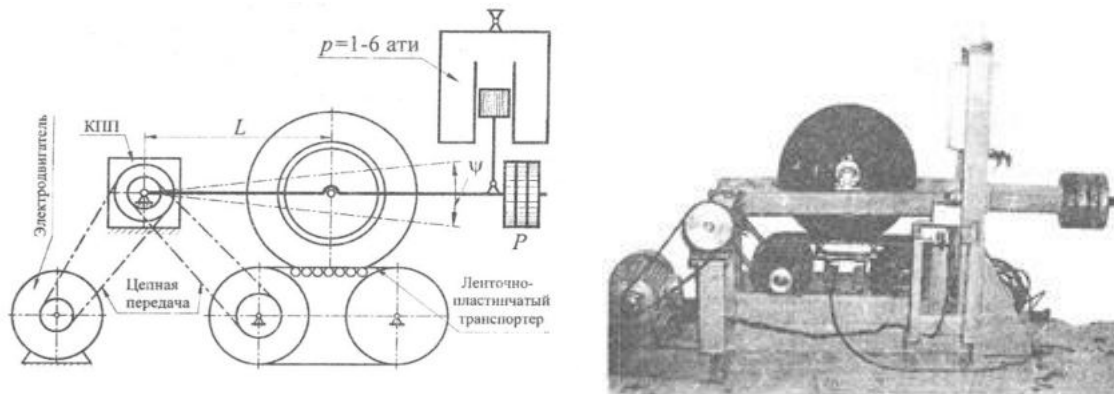


Рис. 3. Схема і конструкція стенду для визначення вібраційних характеристик шин [2]

Основною частиною коливальної 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. 3) були визначені радіальна жорсткість та коефіцієнт похибки шин при радіальних коливаннях для колеса, що обертається, залежно від швидкості прокачування, тиску повітря в шині, радіального навантаження та частот вібрацій.

Пропонуються різні математичні моделі, які досліджують вертикальні коливання автомобіля. Так, у роботі [5] досліджується вплив коефіцієнта опору амортизаторів на рівень прискорення та швидкості підресореної маси, а у роботі [6] побудована математична модель коливань, яка враховує електромеханічне демпфірування в підвісці автомобіля. У статті [7] розглянуто моделі коливань кузова автомобіля під дією моментів, що виникають під час гальмування. Описано запропоновану 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. 4).

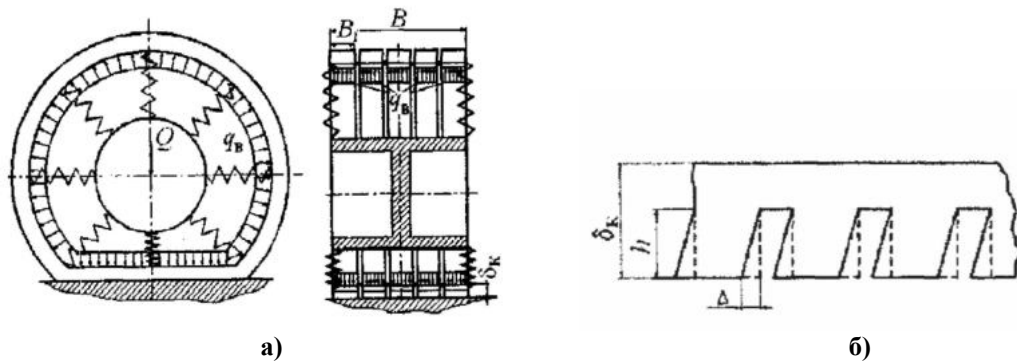


Рис. 4. Статична модель шини (а) і спрощена розрахункова схема деформації елементів рисунку протектора (б)

Авторами [8] 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 окружної частоти коливань крутильного моменту на колесі до окружної частоти власних коливань шини відбувається різке збільшення відносного буксування й величини поздовжнього коефіцієнта зчеплення, який використовується, що може призвести до втрати стійкості поступального руху.

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. 5) [9]. 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.

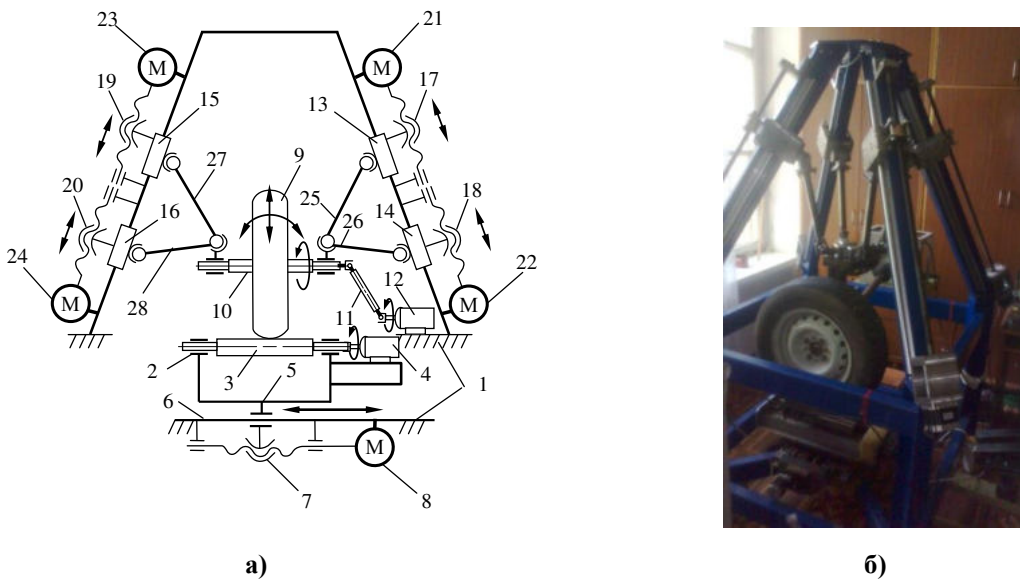


Рис. 5. Схема чотирикоординатний стенд для випробування шин:
а) - кінематична схема; б) - виготовлений дослідний зразок

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 випробується.

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'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.

Для побудови динамічних моделей механічних систем і тіл використовується метод рівнянь Лагранжа [5], а для комп'ютерного моделювання процесу гальмування – середовище SIMULINK. Кутів коливання корпусу автомобіля з незалежною підвіскою надають помітний вплив на стійкість руху керованих коліс, так як при цьому встановлюється двосторонній гіроскопічний зв'язок між колесами коліс у горизонтальній (навколо шкворней) і вертикальній площині. В зв'язку з цим розглядається вплив на стійкість систем основних параметрів незалежної підвіски.

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.

Для опису вищезазначених процесів побудовано розрахункову схему (рис. 6).

Математична модель враховує рівновагу як суму моментів відносно лівої опори (1) для даної розрахункової схеми:

$$R_{\kappa}a - F_0(a + b) - mgL \pm F_{in}L = 0, \quad (1)$$

звідки, враховуючи, що $R_{\kappa} = -(c_{\kappa}U_{\kappa} + \mu_{\kappa}\dot{U}_{\kappa})$, $F_0 = c_0U_0 + F_{00}$, $F_{in} = \pm m\ddot{U}_m$, отримуємо

$$-(c_{\kappa}U_{\kappa} + \mu_{\kappa}\dot{U}_{\kappa})a - (c_0U_0 + F_{00})(a + b) - mgL = \pm m\ddot{U}_mL,$$

Також враховуємо геометричні зв'язки:

$$U_0 = U_{\kappa} \frac{a + b}{a},$$

$$U_m = U_{\kappa} \frac{L}{a + b}.$$

Остаточно маємо:

$$-(c_{\kappa}U_{\kappa} + \mu_{\kappa}\dot{U}_{\kappa})a - c_0U_{\kappa} \frac{(a + b)^2}{a} - F_{00}(a + b) - mgL = \pm m\ddot{U}_{\kappa} \frac{L^2}{a + b}.$$

У наведених рівняннях позначено: U_{κ} , U_0 , \ddot{U}_m – зміщення колеса (по осі), пружини та вантажу відповідно, m – маса вантажу, c_{κ} , c_0 – жорсткість шини та пружини відповідно, F_{00} – попередній натяг пружини, μ_{κ} – демпфування шини.

Розрахунок і розв'язання рівняння (1) руху колеса на стенді проводився в середовищі Maple. При попередньому завданні жорсткості (за результатами стаціонарних досліджень) та демпфування (наприклад, за довідковими даними), отримуємо класичне рішення затухаючих коливань (рис. 7)

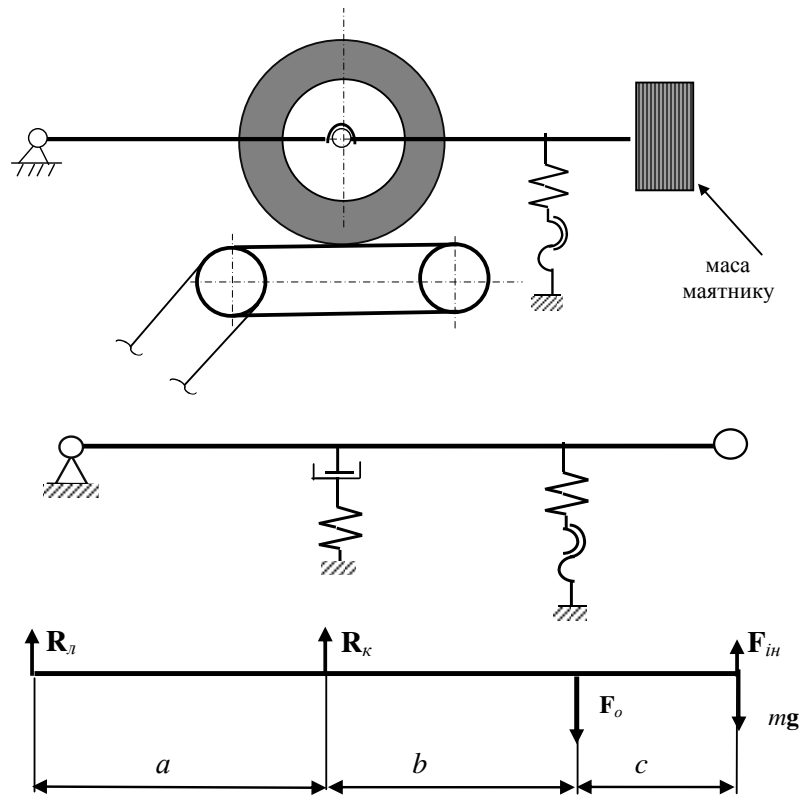


Рис. 6. Силова схема конструкції стенду по рис. 3 (R_L – реакція лівої опори, R_K – реакція колеса, F_o – сила натягу пружин, F_{in} – сила інерції вантажу)

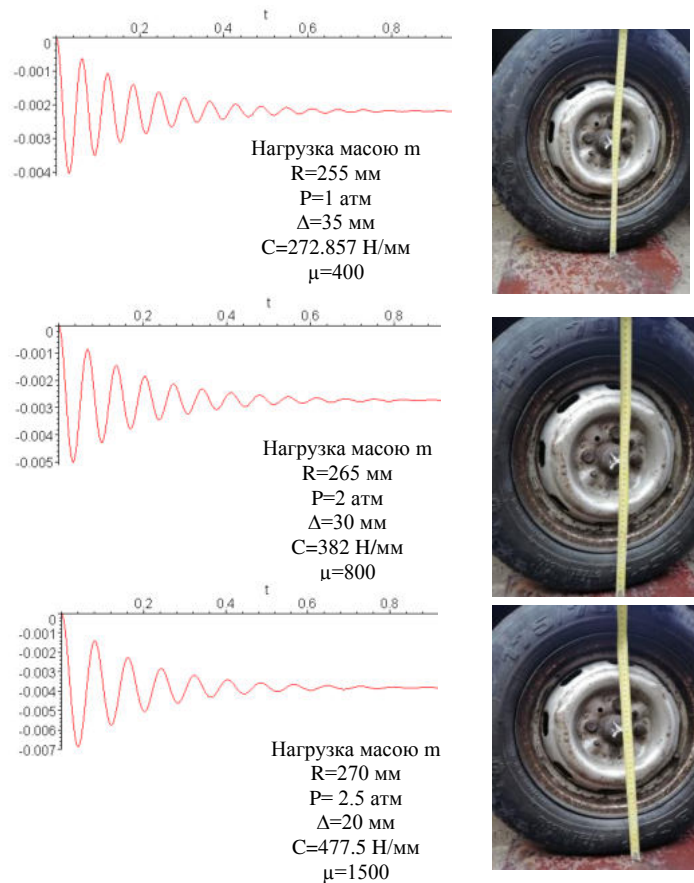


Рис. 7. Теоретичні віброграми за заданим коефіцієнтом демпфування μ

Отримана залежність дозволяє прогнозувати (вираховувати) частоту власних коливань, колеса при зміні навантаження на шину, її жорсткість і коефіцієнти демпфування. Розрахунковий експеримент для деяких значень наведено на рис. 9.

В вібраційних дослідженнях важливо виявити значення коефіцієнтів демпфування [5] конкретної конструкції шини і нормативних значеннях її параметрів для підстановки в рівняння (1). Виконується це тільки експериментально (рис. 8) за формулою (2).

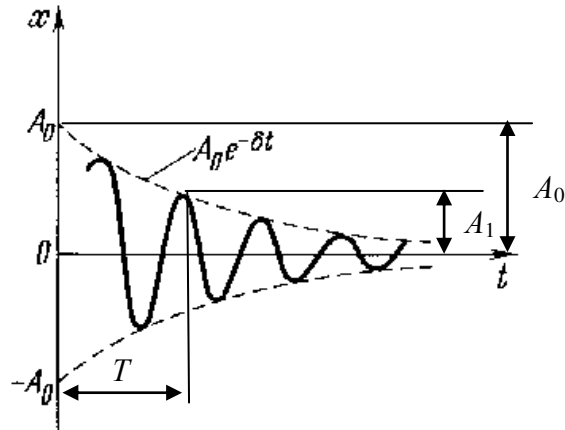


Рис. 8. Рівняння згинаючої вільних коливань і розрахунок коефіцієнту демпфування [5]

$$\mu = -\frac{\ln\left(\frac{A_0 - A_1}{A_0}\right)}{T}. \tag{2}$$

Виконано експериментальне випробування коливань при ударних навантаженнях для стенду наведеному на рис. 5, б і визначено коефіцієнт демпфування (вимірювальна плата – двохосьовий акселерометр MPU6050).

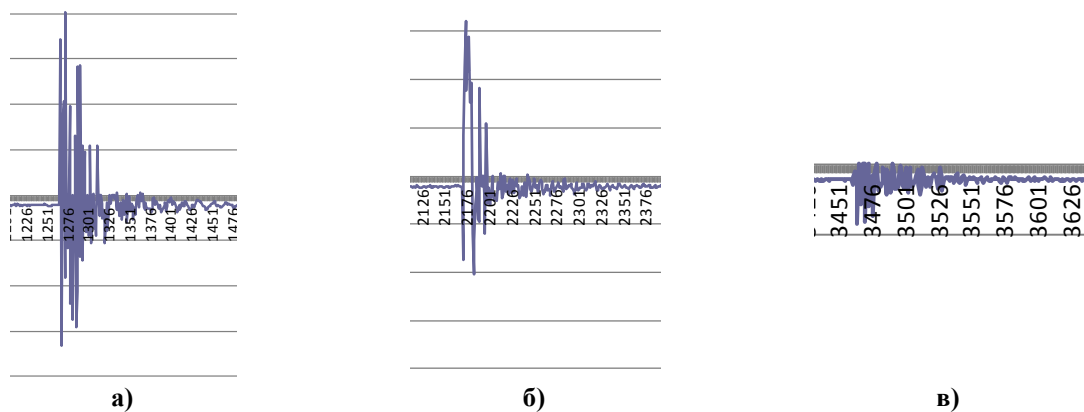


Рис. 9. Віброграми зняті при одиничному ударі в різних місцях стенду з навантаженою шиною до бігового барабану: а) - удар по цапфі приводного валу колеса; б) - удар по поверхні шини; в) - удар по поверхні бігового барабану

В експерименті (для стенду на рис. 5) коефіцієнт демпфування буде розраховуватись з більш складних співвідношень (у зв'язку з можливістю попереднього натягу пружини F_{00}):

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

звідки

$$\mu = \frac{2 \ln \left(\frac{A_1 a^2 (c_\kappa + c_0) + 2 A_1 c_0 a b + A_1 c_0 b^2 + a(a+b) F_{00} + a L m g}{A_0 a^2 (c_\kappa + c_0) + 2 A_0 c_0 a b + A_0 c_0 b^2 + a(a+b) F_{00} + a L m g} \right) m L^2}{T a (a+b)}, \quad (3)$$

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

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 багатокоординатному стенді з просторовим розташуванням приводів для відтворення орієнтації колеса в найбільш наближених до дорожніх умовах.

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

Список використаної літератури

1. 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.
2. Механика шини: монографія / В.А. Перегон, В.А.Карпенко, Л.П. Гречко и др. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – 404 с.
3. 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.
4. Производство шин Мишлен - Мегазавод (national geographic) [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.youtube.com/watch?v=F1hFCagRweo&feature=youtu.be&t=13m45s>.
5. 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
6. Диментберг Ф.М., Шаталов К.Т., Гусаров А.А. Колебания машин. Тираж 5200 экз. М. Машиностроение 1964г. 308 с
7. Система контроля давления в шинах: как обеспечивается безопасность на дороге? [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://auto.today/bok/1956-sistema-kontrolya-davleniya-v-shinah-ili-kak-obespechivaetsya-bezopasnost-na-doroge.html>.
8. J.-P. MERLET Parallel Robots //SOLID MECHANICS AND ITS APPLICATIONS. Volume 128. 2006 Springer
9. Дмитрієв Д.О., Войтович О.А., Чурсов С.О., 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". ЧНТУ:10-12 травня 2018р., м. Чернігів. - С.147-148
10. 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.
11. Войтович О. А. , Ткач В. О. Вплив тиску в шинах на безпеку руху автотранспорту // Вісник ХНТУ.-2017. - №4(63)., - С.33-38
12. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобіля // Роберт Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 316 с.
13. 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.