

поведінки каркасу кузова типу Low-entry у разі суміщення класичної та низькопідлогової схем його компоновання.

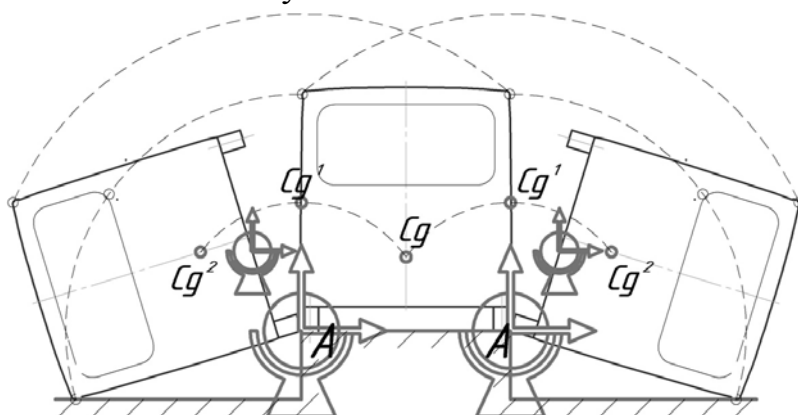


Рис. 4. Схема прикладання в'язей структури каркасу кузова згідно з Правилами ЄЕК ООН № 66

Література

1. **Голенко К.Е.** Комп'ютерне моделювання і аналіз напружено-деформованого стану каркасу кузова автобуса типу Low-entry / К.Е. Голенко, О.З. Горбай, Л.В. Крайник // Вісник НУ "Львівська політехніка" : Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – Львів : НУ "Львівська політехніка", 2008. – 173 с.
2. **Голенко К.Е.** Особливості формування несівних структур каркасу автобуса типу low-entry / К.Е. Голенко, Л.В. Крайник // Вісник НУ "Харківський політехнічний ін-т". – Харків: НУ "Харківський політехнічний ін-т", 2008. – 152 с.
3. **ДСТУ UN/ECE R 66-00:2002** Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження великогабаритних пасажирських дорожніх транспортних засобів стосовно міцності верхньої частини їхньої конструкції (Правила ЕЭК ООН № 66-00:1987, IDT).
4. **Маркеєв А.П.** Теоретическая механика : учебник для университетов. – И.: РХД, 2007. – 592 с.
5. **Потемкин А.В.** Трехмерное твердотельное моделирование. – М. : КомпьютерПресс, 2002. – 296 с.

УДК 629.113.001

Аспір. О.В. Житенко – НУ "Львівська політехніка"

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ТА ПЛАВНОСТІ ХОДУ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Зроблено аналіз робіт, що стосуються коливань та плавності ходу колісних транспортних засобів. Відзначено розвиток математичного моделювання як процесу, описано способи, засоби та наведено необхідну інформацію щодо вибору моделі. Акцентовано увагу на розвитку імітаційного моделювання. Описано підходи дослідників, рекомендації, показники та особливості оцінки плавності ходу.

Post-graduate O.V. Zhytenko – NU "L'vivs'ka Politekhnik"

DEVELOPMENT OF RESEARCHES FROM VIBRATIONS AND SMOOTHNESS OF MOTION OF THE WHEELED TRANSPORT VEHICLES

The analysis of works, which are up to vibrations, and smoothness of motion of the wheeled transport vehicles is conducted in work. Noted development of mathematical designs as process, described methods, facilities that necessary information on the choice of model. Accented attention on development of imitation design. Described approaches of researches, recommendations, indexes and approaches to estimation of smoothness of motion.

Дослідження коливань колісних транспортних засобів передбачає вирішення задач різного типу у трьох взаємопов'язаних напрямках: дослідження мікропрофілю дороги, коливання КТЗ, відчуття людини чи цілісність вантажу. Дослідження коливальних процесів та плавності ходу КТЗ зроблено в роботах А.А. Хачатурова [1-2], де описано напрямки теорії автомобіля, зумовлені складанням математичних моделей окремих ланок системи "дорога – шина – автомобіль – водій" і вивченням динаміки цієї системи як єдиного цілого.

Також необхідно відзначити роботи з дослідження плавності ходу Р.В. Ротенберга [3] та Н.Н. Яценка [4-5], в яких розглянуто основи теорії плавності ходу, викладено експлуатаційно-технічні вимоги, а також наведено методики розрахункового й експериментального визначення показників, що відображають вимоги до плавності ходу. Представлено опис устаткування, апаратури і методів експериментальних досліджень цього показника, а також наведено результати експериментального визначення параметрів підресорення і викладено основні вимоги до елементів конструкцій підресорення. Роботи цих науковців надалі брали за основу інші дослідники.

Досліджено низку послідовних етапів, починаючи від розгляду КТЗ як матеріальної точки, що перебуває під дією зовнішніх сил [6-7], і продовжуючи розглядом КТЗ як системи зі сконцентрованими масами і їх переміщеннями [8]. На нашу думку, подальший розвиток науки вимагає розгляду динамічної системи загалом за різних режимів експлуатації.

Вивчення коливань КТЗ починається традиційно з математичного моделювання [9]: опрацьовують набір припущень [2], становлять рівняння механічної моделі (рівняння, що описують динаміку системи, можуть базуватися на принципі Даламбера, диференціальних рівнянь системи твердих тіл, рівнянь Лагранжа другого роду чи рівнянь Ньютона, канонічних рівнянь Гамільтона або їх можна скласти за методом Кейна [10]) та виконують аналітичне чи числове дослідження. Причому можна або отримувати відразу громіздкі результати [11], або йти шляхом поступового ускладнювання задач і самих систем, об'єднувати в математичні моделі динаміки КТЗ часткові математичні моделі його підсистем [12].

Варто відзначити також інтенсивний розвиток імітаційного моделювання. Для прикладу розглянемо такі програмні продукти: NEWEUL 83 [13] (для здійснення математичного моделювання зі змінами степенів вільності елементів системи і характеристик нелінійності); DYNA 3D, PAMCRASH і RADIOSS [14] (для дослідження коливань автомобіля, безпеки і структурної оптимізації); OPTIM [15] (для дослідження стійкості та керованості руху автомобіля чи автопоїзда); для вирішення різних питань динаміки та динамічного аналізу конструкції колісної системи використовують різноманітні програмні продукти – пакети завершеного елементного аналізу (Ansys, Nastran) або пакети аналізу кінематики механізмів (Adams), широко застосовують також продукти IMITA, COMPACT, Design Studio, Unigraphics, Most-7.2 та інші.

Інформацію з дослідження коливань КТЗ представлено від найпростіших математичних моделей (переважно розглядається лінійна одномасова модель з одним ступенем вільності [16] для переїзду через поодинокі [17] чи

періодично розташовані нерівності дороги [18]), до складних багатомасових математичних моделей з урахуванням підресорених та непідресорених мас [19], біодинамічної моделі тіла людини [20], впливу вантажу [21], жорсткісних та демпфівних характеристик підвіски [22] та шин [23]. Однозначних рекомендацій щодо вибору моделі коливань КТЗ немає, все визначається постановкою задачі і конструктивними особливостями. В одних випадках обмежуються дискретною моделлю [24], а в інших постає необхідність істотно ускладнити модель і враховувати низку інших чинників (наприклад, пружність несівної системи [25]).

Найбільший інтерес для моделювання становить дослідження динамічних і статистичних характеристик коливань у разі, якщо на систему діють випадкові збурення від дороги [26] (для відображення характеру коливань системи за випадкового збурення від дороги широко використовують статистичний метод дослідження, який розроблено і вдосконалено Я.М. Певзнером [27], А.А. Сілаєвим [28], А.А. Хачатуровим [1], І.Г. Пархіловським [29], Н.Н. Яценком [4]). Не менш важливим є дослідження впливу конструктивних параметрів на коливальні процеси і їх оптимізація [30], вивчення динаміки окремих ланок системи з метою отримання для опису їхньої роботи спрощених еквівалентних схем [31], об'єднання в єдиний комплекс окремих об'єктів системи "дорога – шина – автомобіль – водій (вантаж)" з моделями інших ланок системи [32]. До того ж цінність таких робіт полягає насамперед в реалізації остаточних підсумків у вигляді програмного продукту.

Дослідження виконують таким чином: КТЗ замінюють еквівалентною системою, для якої становлять рівняння руху, ці рівняння розв'язують і аналізують, а на основі отриманих результатів дають рекомендації.

Коливання відбуваються в широкому спектрі частот, їх можна умовно розділити на низькочастотні та високочастотні. Коливальні процеси, що відбуваються під час руху автомобілів і автопоїздів, характеризуються зазвичай частотами до 0-15-20 Гц [33]. Умовно прийнято вважати вібраціями коливання з частотами понад 17 Гц. Обмеження розгляду діапазону частот є основою для спрощення розрахункових схем. Дослідження в області плавності ходу КТЗ виконували або розв'язуванням задачі в детермінованій підстановці [34] (профіль дорожніх нерівностей описується наперед заданою функцією, найчастіше гармонійною), або з використанням статистичного підходу [35] (збурення від дороги є випадковою величиною).

Детермінований підхід виправданий у випадку розрахунку систем підресорення КТЗ, що призначені для експлуатації здебільшого ґрунтовими дорогами в умовах пересіченої місцевості, коли регулярно спостерігаються відриви коліс та пробой в підвісці, а також можливі удари корпусом об міжколіїний простір. У такому випадку оцінку плавності ходу здійснюють за максимальними значеннями прийнятих параметрів [36] (наприклад, коли виникають пробой в підвісці).

Статистичний підхід здебільшого застосовують для моделювання руху дорогами з твердим покриттям. Плавність ходу в такому випадку оцінюють за середньоквадратичними величинами вертикальних пришвидшень для підре-

сореної маси (ОСТ 37.001.275-84), у цьому разі допустимі значення залежать від частоти вертикальних коливань і призначення транспортної системи [37].

Таким чином, для оцінки плавності ходу КТЗ як динамічної системи найбільший інтерес становлять такі статистичні характеристики: функції розподілу вертикальних та кутових пришвидшень і переміщень підресорених та невідресорених мас, деформацій і швидкостей деформації пружних елементів; математичні очікування переміщень пружних елементів; середні квадратичні відхилення узагальнених координат кузова і мостів; імовірність відриву колеса від поверхні дороги; спектральні щільності і взаємні спектральні щільності пришвидшень та швидкостей мас, спектральні щільності прогинів пружних елементів; імовірність пробою підвіски.

Література

1. **Хачатуров А.А.** Динамика системы "дорога – шина – автомобиль – водитель" // Машиностроение, 1976. – 535 с.
2. **Хачатуров А.А.** Расчет эксплуатационных параметров движения автомобиля и автопоезда / А.А. Хачатуров, В.П. Афанасьев, В.С. Васильев. – М. : Транспорт, 1982. – 264 с.
3. **Ротенберг Р.В.** Подвеска автомобиля. – М. : Машиностроение, 1972. – 392 с.
4. **Яценко Н.Н.** Плавность хода грузовых автомобилей / Н.Н. Яценко, О.К. Прутчиков. – М. : Машиностроение, 1969. – 219 с.
5. **Яценко Н.Н.** Колебания, прочность и форсированные испытания грузовых автомобилей. – М. : Машиностроение, 1972. – 368 с.
6. **Динамика машин:** учебное пособие / Г.И. Гладков, А.М. Петренко. – М. : Изд-во МАДИ, 2001. – 139 с.
7. **Analiza dynamiczna uproszczonego** modelu przyczepy metoda elementow czasoprzestrzennych. Pieftzakowski Marek. "Pr. podstaw bud. masz. Pwarsz.". – 1984. – № 4. – С. 41-63.
8. **Кузьо І.В.** Вплив пружних властивостей вантажу на динаміку дволанкового автовозу / І.В. Кузьо, О.В. Житенко // Вісник НУ "Львівська політехніка": Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – Львів : НУ "Львівська політехніка". – 2008. – № 614. – С. 94-100.
9. **Кондрашкин И.С.** Принципы построения математических моделей динамики движения автомобиля / И.С. Кондрашкин, С.П. Контанисов, В.М. Семенов // Автомобильная промышленность. – 1979. – № 7. – С. 25-27.
10. **Compute** – okiented analytical dynamic for the formulation of equations of motion for complex vehicle systems / P.W. Clear, L. Xie // SAE Techn. Pap. Ser. – 1988. – № 881310. – P. 187-203.
11. **Григолюк Э.И.** О работах в области динамики и прочности конструкций автомобилей // Машиноведение. – 1989. – № 6. – С. 113–116.
12. **Modeling of complex** vehicle systems. Schiehlen O. Werner "Vehicle System Dynamic". – 1983. – 12. – № 1-3, 12-14.
13. **Ковицкий В.И.** Исследование на АВМ зависимостей между вертикальными реакциями на колесах и параметрами поддресоривания автомобиля / В.И. Ковицкий, В.И. Кольцов, Ю.В. Пирковский // Автомобильная промышленность. – 1972. – № 11. – С. 13-15.
14. **Berechnung im Automobilbau:** Fachtagung der VDI – Gesellschaft Fahrzeug-technik / Scharnhorst Von Thomas // Automobilfechn. Z. – 1990. – 92. – № 1. – P. 37-38.
15. **Optimization of dynamic** vehicle response / D.D. Furleigh, M.J. Vanderploeg // SAE Techn. Pap. Ser. – 1988. – № 881304. – P. 77-83.
16. **Лашков Ю.К.** Модульный принцип в имитационном моделировании динамики автомобиля / Ю.К. Лашков, Я.М. Остриков, В.М. Семенов // Пробл. машиностр. и надеж. машин. – 1990. – № 3. – С. 16-20.
17. **Truck pavement ineraction** – requisite research / C.L. Monismith, J. Lyster, J.K. Hedric // SAE Techn. Pap. Ser. – 1988. – № 881849. – С. 87-96.
18. **Roadhay elevation profile** generation for vehicle simulation / Red – fied R.C., D.C. Karpopp // Vehicle Syst. Dyn. – 1988. – 17 № 5. – С. 267-280.
19. **Динамика колесних и гусеничних машин** // Межвуз. темат. сб. / Ред. Г.М. Косолапов. – Волгоград : Волгоград. политехн. ин-т, 1980. – 190 с.

20. Островцев А.Н. О проблеме оптимизации взаимодействия человека и автотранспортной техники / А.Н. Островцев, А.Д. Дербаремдикер // Автомобильная пром-сть. – 1970. – № 7. – С. 12-15.

21. Крайник Л.В. Дослідження динаміки дволанкового автовоза / Л.В. Крайник, І.В. Кузьо, О.В. Житенко // Вібрації в техніці і технологіях. – 2007. – № 4. – С. 22-26.

22. Лукьянец Ю.И. Влияние типа подвески и жесткости рамы на плавность хода грузовых автомобилей / Ю.И. Лукьянец, К.Н. Димитраки // Автомобильный транспорт. – 1972. – № 9. – С. 130-132.

23. Обеспечение плавности хода при проектировании легкового автомобиля с учетом влияния потер на трение в подвеске : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук. – Тольятти, 2008. – 26 с.

24. Бартом В.С. Динамическая модель автомобиля в реальном времени / В.С. Бартом, М.М. Лаврентьев // Автотестирование. – 2000. – № 4. – С. 108-115.

25. Жигарев В.П. Сравнение различных расчетных схем упругих колебаний несущей системы автомобиля / В.П. Жигарев, А.С. Парасамьян, Хачатуров А.А. // Тр. МАДИ. – М. : МАДИ. – 1976. – Вып. 119. – С. 94-102.

26. Бугай О.В. Исследование колебаний трехосных автомобилей при случайных дорожных возмущениях : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. – Минск, 1977. – 20 с.

27. Певзнер Я.М. Колебания автомобиля / Я.М. Певзнер, Г.Г. Гридасов, А.Д. Конев и др. – М. : Машиностроение, 1979. – 208 с.

28. Силаев А.А. Спектральная теория поддресоривания транспортных машин. – М. : Машиностроение, 1972. – 192 с.

29. Пархиловский И.Г. Статистическое исследование колебаний автомобиля на электронной моделирующей машине / И.Г. Пархиловский, Н.Ф. Зайцева // Автомобильная пром-сть. – 1964. – № 1. – С. 9-14.

30. Кац Г.Б. Технично-економічний аналіз і оптимізація конструкцій машин / Г.Б. Кац, А.П. Ковалев. – М. : Машиностроение, 1981. – 214 с.

31. Семенов С.П. Анализ собственных частот колебаний динамической системы "двигатель – трансмиссия – движители – масса автомобиля на подвеске" / С.П. Семенов, С.С. Малов, В.Г. Киршин, С.П. Контанисов // Тр. Центр. научн.-исслед. автомоб. и автомотор. ин-та. – 1982. – № 185. – С. 34-51.

32. Designing Control into Mechanical Systems / Hite Tom / Mach. Des. – 1989. – 61. – № 16. – С. 104-107.

33. Хачатуров А.А. Расчет эксплуатационных параметров движения автомобиля и автопоезда / А.А. Хачатуров, В.П. Афанасьев, В.С. Васильев. – М. : Транспорт, 1982. – 264 с.

34. Малиновский Е.Ю. Динамика самоходных машин с шарнирной рамой / Е.Ю. Малиновский, М.М. Гайцгори. – М. : Изд-во "Маш-е", 1974. – 175 с.

35. Яценко Н.Н. Колебания подвески с учетом поглощающей способности шин / Н.Н. Яценко, Г.Н. Канадзе, С.П. Рыков // Автомобильная пром-сть. – 1977. – № 6. – С. 15-18.

36. Фаробин Я.Е. Теория движения специализированного подвижного состава: учеб. пособие / Я.Е. Фаробин, В.А. Овчаров, В.А. Кравцева. – Воронеж : Изд. ВГУ, 1981. – 160 с.

37. Борис М.М. Обґрунтування параметрів трельовально-транспортного засобу для підвищення його експлуатаційних властивостей : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. – Львів, 2007. – 20 с.