

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

БУР'ЯН МИХАЙЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 629.34

**ПЛАВНІСТЬ РУХУ АВТОБУСІВ У ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ З
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПІДВІСКИ ТА СИДІНЬ**

05.22.02 – автомобілі та трактори

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2020 р.

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Крайник Любомир Васильович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри автомобілебудування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дущенко Владислав Васильович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»,
професор кафедри інформаційних технологій та
систем колісних і гусеничних машин імені
О.О. Морозова.

кандидат технічних наук, доцент
Поляков Віктор Михайлович,
Національний транспортний університет,
професор кафедри автомобілів.

Захист відбудеться “15” грудня 2020 року о 11:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.20 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12, навчальний корпус 14, ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1 та на сайті Національного університету «Львівська політехніка» у розділі «Наука».

Автореферат розісланий “13” листопада 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 35.052.20



В.В. Ковалишин

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Підвищення комфортності пасажирських перевезень, в основі яких є насамперед віброколивна навантаженість пасажирів і водія, в Україні (зрештою як і загалом в країнах колишнього СРСР, а потім СНД) з недостатньо розвинутою мережею автомобільних доріг I категорії є актуальною задачею, насамперед для автобусів громадського транспорту, що домінують у загальному обсязі пасажирських перевезень.

Фактична відсутність законодавчої нормативної бази щодо допустимих рівнів віброколивань пасажирів автобусів (галузеві стандарти міністерства автомобільної промисловості СРСР втратили чинність) зумовили, насамперед, для автобусів малого та середнього класів, що становлять зараз біля 76-80% загальної чисельності парку громадського транспорту, домінанту використання більш масових у виробництві (і дешевших) ресорних підвісок вантажних автомобілів. У порівнянні навіть зі знятим з виробництва у 2002-03рр найбільш масовим середнім автобусом ЛАЗ-695, що базувався на агрегатній базі вантажівок ЗиЛ, однак підвіска суттєво відрізнялась – ресорно-пружинного типу. Така ситуація є певним технічним регресом щодо плавності руху, як експлуатаційної властивості, що і характеризує віброколивні навантаження на пасажирів, вантаж, водія. Втома останнього під впливом цих тривалих за час робочої зміни вібронавантажень безпосередньо пов'язана й з безпекою дорожнього руху.

Відповідно, дослідження у цій сфері та опрацювання сучасних методів оцінки віброколивних навантажень у взаємозв'язку з характеристиками системи «дорога-підвіска-сидіння» щодо автобусів є актуальними і просто необхідними, як з умов розвитку перспективних конструкцій, так і формування відповідної національної нормативної бази (тим більше в реаліях сучасного стану мережі автодоріг).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до наукової держбюджетної тематики кафедри автомобілебудування Національного університету «Львівська політехніка» – «Дослідження робочих процесів та оптимізація конструкцій автотранспортних засобів» (держреєстрація №0107UOO1683) в рамках концепції розвитку автомобілебудування в Україні, затвердженої розпорядженням КМУ №452-р від 03.08.2006р. та тематики держбюджетних робіт ВАТ «Укравтобуспром» з розробки та оновлення національної нормативної бази.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є покращення плавності руху – комфортності пасажирських перевезень автобусами громадського транспорту через розробку методики цілісної оцінки взаємозв'язку показників плавності руху (насамперед вертикальних прискорень, що діють на пасажирів) з характеристиками мікропрофілю дороги, підвіски та сидінь. Відповідно й опрацювання методичних засад проекту національного стандарту у цій сфері.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- огляд і аналіз існуючої зарубіжної та національної нормативної бази у сфері дії вібронавантажень/вертикальних прискорень на організм людини;

- обґрунтування порогових/гранично допустимих рівнів вібронавантаженості на пасажирів у залежності від середньої тривалості поїздки/типу перевезень (міських, міжміських і т.д.);

- розробка математичної моделі і дослідження вібронавантажень пасажирів в салоні автобусів у взаємозв'язку з різними типами і характеристиками підвіски, методами комп'ютерного моделювання;

- проведення дорожніх випробувань та експлуатаційна оцінка плавності руху автобусів і адекватності опрацьованої комп'ютерної моделі;

- розробка проекту національної нормативної бази щодо комфортності пасажирських перевезень стосовно плавності руху;

- опрацювання рекомендацій щодо підбору необхідних характеристик і конструктивних параметрів підвіски для різних класів автобусів.

Об'єкт дослідження – динаміка вертикальних прискорень пасажирів автобусів різних класів у взаємозв'язку з характеристиками підвіски і умов руху.

Предметом роботи є дослідження плавності руху автобусів з умов достатнього рівня комфортності перевезення пасажирів на маршрутах міжміського сполучення.

Методи дослідження. Для розв'язку поставлених задач застосовувались методи чисельного інтегрування та спектральної теорії, методи статистичної оцінки адекватності й точності експериментальних досліджень, вдосконалені методи проведення дорожніх випробувань і опрацювання результатів. Реалізація чисельних розрахунків виконувалась у програмному середовищі MATLAB Simulink

Наукова новизна отриманих результатів.

- вперше опрацьовано методика суміщення характеристик ресор та пневмоелемента пневморесорної підвіски з умов забезпечення кращої плавності руху для типового мікропрофілю автодоріг з твердим покриттям;

- вперше сформовано гранично допустимі (порогові) значення вертикальних віброприскорень для пасажирів залежно від частоти коливань та тривалості дії з розмежуванням щодо міського, приміського (місцевого) та міжміського сполучень та опосередкованих значень тривалості поїздки, що гармонізовані з нормами міжнародного стандарту ISO 2631-1;

- вдосконалено та реалізовано в програмному середовищі MATLAB Simulink математичну модель динаміки коливань автобуса стосовно вертикальних прискорень, що діють на пасажирів, які сидять та стоять у різних місцях салону, у взаємозв'язку з характеристиками підвіски, шин, сидінь та умовами руху, яка, на відміну від існуючих, дозволяє проводити імітаційні дослідження з урахуванням типового мікропрофілю дорожнього покриття;

- вдосконалено та отримано кількісну оцінку впливу типу і характеристик підвіски та пасажирських сидінь автобуса на показники плавності руху, комфортності перевезень та опрацьовано методи параметричної оптимізації підвіски і сидінь для автобусів різних класів.

Практичне значення отриманих результатів. Проведені на конкретних моделях автобусів дослідження дозволили:

- сформулювати проект національного стандарту – ДСТУ «Колісні транспортні засоби. Плавність руху. Методи проведення випробувань і оцінка вібронавантажень/комфортності пасажирських перевезень» з кількісною оцінкою

вимог для різних класів автобусів у рамках загальних рекомендацій ISO щодо допустимих рівнів і тривалості дії вібрацій на організм людини;

- опрацювати методикау оптимізаційного розрахунку необхідних характеристик і конструктивних параметрів підвіски та сидінь автобусів різних класів цільового призначення з умов забезпечення необхідного рівня плавності/комфортності руху.

Опрацьовані в даній роботі методики і результати прийняті та використовуються у дослідно-конструкторських роботах ВАТ «Укравтобуспром» (зокрема автобусів ТУР А407, А303, А097) та практиці дорожніх випробувань ТОВ «Укравтотест».

Особистий внесок здобувача. Основні результати, рекомендації та висновки, що наведені у дисертаційній роботі, отримані автором самостійно та опубліковані у фахових виданнях, зареєстрованих МОН України, та у двох зарубіжних виданнях. Серед них й аналізи наукових публікацій та зарубіжних нормативних баз, опрацювання математичної моделі та її реалізації в програмному середовищі MATLAB Simulink, виконання теоретичних досліджень та експериментальної оцінки адекватності моделювання, аналіз та інтерпретація отриманих результатів. В опублікованих у співавторстві наукових працях дисертанту належать: методика використання засобів супутникової навігації для додаткового контролю швидкісних режимів під час досліджень руху автомобілів/автобусів [1, 2]; оцінка взаємозв'язку вібронавантажень на пасажирів і комфортності перевезень [6, 7, 9-11]; обґрунтування вибору середовища імітаційного моделювання вібронавантажень, що діють на пасажирів та водія автобуса під час його руху [3, 13]; реалізація моделювання мікропрофілю дорожнього покриття у середовищі MATLAB Simulink [7]; розробка алгоритму експериментальних досліджень плавності руху автобусів [12]; розробка комплексу вимірювальної апаратури [8, 12]; опрацювання результатів імітаційного моделювання та натурних випробувань [5, 12, 14, 15].

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались на міжнародних і всеукраїнських конференціях: XV Міжнародній науково-практичній конференції «Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи» (м. Севастополь, 10-17 вересня 2012 р.); II Міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (м. Луцьк, 30 травня – 3 червня 2012 р.); Одинадцятому міжнародному симпозиумі українських інженерів механіків у Львові (Львів, 15-17 травня 2013 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні» (м. Львів, 24-25 вересня 2015 р.); Дванадцятому міжнародному симпозиумі українських інженерів механіків у Львові (Львів, 28-29 травня 2015 р.); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, 19-21 жовтня 2015р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (м. Луцьк, 6-10 червня 2016р.); II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні» (м. Львів, 17-18 березня 2016р.); XXVII Międzynarodowa Konferencja nt. "Systemy i środki transportu samochodowego" (m. Rzeszow, 14–17 września 2016r.); XXVIII Międzynarodowa Konferencja nt. "Systemy i środki transportu samochodowego" (m. Rzeszow, 20-23 września 2017r.);

III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні» (м. Львів, 22-23 лютого 2018 р.); 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM) (Polyana-Svalyava (Zakarpatya), Ukraine, February 26 – March 2, 2019)

Публікації. Основні результати опубліковано у 15 наукових працях, у тому числі 4 статті у фахових виданнях МОН України, 2 статті у закордонному виданні, в 9 тезах доповідей на всеукраїнських і міжнародних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації – 146 сторінок, зокрема 133 сторінок основного тексту, вона містить 56 рисунків, 13 таблиць, 2 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення одержаних результатів, інформацію про апробацію та публікації основних положень дисертації.

У **першому розділі** проведено огляд та аналіз відомих вітчизняних та зарубіжних досліджень у сфері плавності руху/віброколивань автомобілів/автобусів, зокрема Акоюна Р.А., Дуценка В.В., Крайника Л.В., Полякова В.М., Мицика Б.І., Кальченка Б.І., Ротенберга Р.В., Певзнера Я.М., Яценка М.М., M. Mitschke, D. Dieckmann, A. Radke, Дербарендікера А.Д., Мельникова А.А., Островцева А.Н., Силаєва А.А., Смірнова Г.А., Хачатурова А.А., Житенка О.В.

Виконано також порівняльний аналіз формування та розвитку відповідної нормативної бази, починаючи з 1960-х рр., в т.ч. і колишнього СРСР та міжнародної системи дозвільних стандартів ISO (прийняті щодо загального впливу коливань та вібрацій на організм людини). У англійській нормативній базі і дослідженнях плавність, чи комфортність руху в аспекті віброколивних навантажень на організм людини визначено як “ride vibration comfort”, у німецькомовній – “Fahrcomfort” (власне їздовий коливний комфорт). У нормативній базі СРСР/РФ під плавністю руху автотранспортних засобів слід розуміти їхню властивість забезпечувати віброзахист водія, пасажирів, вантажів і власних агрегатів від дії вібрацій, що виникають при русі (ОСТ 37.001.275-84). У прийнятому в Україні з 2004р. загальному ДСТУ ISO 2631-1 (через приєднання з англійського оригіналу) як «Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину». Галузеві державні санітарні норми ДСН 3.3.6.039-99 теж об'єднують низькочастотні (0-5 Гц, власне коливання) та високочастотні (від 15 до 80 Гц, власне вібрації) коливання у загальне визначення «вібрація» (останні використовувались до набуття чинності наказу Мінінфраструктури №521 від 17.08.2012р. у процесі сертифікації автомобілів для оцінки відповідності рівня вібронавантаженості робочого місця водія).

Загалом, слід констатувати значимість віброколивного комфорту автомобіля під час руху (як основа піраміди комфортності конструкції), насамперед в ЄС та США і практичну відсутність обов'язкових при сертифікації/схваленні типу автомобілів законодавчих норм у цій сфері в Україні (попри відчутно вищі коливання висот

мікропрофілю автодоріг, в т.ч. за державними будівельними нормами ДБН у порівнянні, наприклад, до стандартів DIN чи PLN).

На підставі розгляду та аналізу ситуації у цій сфері в зарубіжному автомобілебудуванні та фактичного регресу у національній базі були сформовані основні задачі дослідження та відповідні методичні підходи, гармонізовані з міжнародною практикою.

Другий розділ присвячено формуванню відповідної математичної моделі коливань/вібрацій у автобусі від нерівностей мікропрофілю під час руху. Опрацьовано деталізовану просторову модель (на прикладі найбільш складної конструкції – тривісного автобуса), що наведена у роботі. Однак, враховуючи, що в існуючій закордонній нормативній базі (очевидно з умов симетричного розподілу навантажень) увага зосереджується на лівому борту кузова автобуса, та практичну цілеспрямованість досліджень для проєктних робіт в галузі на етапі конструктивного синтезу необхідних характеристик і параметрів підвіски та сидінь, – в основу дослідження покладено використання двовимірної моделі (рис. 1, де: x_8 – вертикальні переміщення водія; x_5 – вертикальні переміщення непідресореної частини сидіння водія; x_7, x_4 – вертикальні переміщення пасажирів, сидіння яких розташовані в базі; x_6 – вертикальні переміщення сидінь у задньому звісі; x_1 – вертикальні переміщення центру мас кузова; x_2, x_3 – відповідно вертикальні переміщення коліс переднього та заднього моста автобуса; q_2, q_3 – збурення з боку дороги, що діють на передні та задні колеса автобуса; m_8, m_7, m_4, m_6 – маса водія та пасажирів; m_1 – маса підресорених частин автобуса; m_2, m_3 – маси непідресорених частин підвіски автобуса; m_5 – непідресорена маса сидіння водія; l_1, l_2 – відстань від центру мас до передніх та задніх коліс; d_1, d_2, d_3, d_4 – відстань від центру мас до сидінь водія та пасажирів; β – кутові переміщення автобуса навколо осі, що проходить перпендикулярно до площини рисунка).

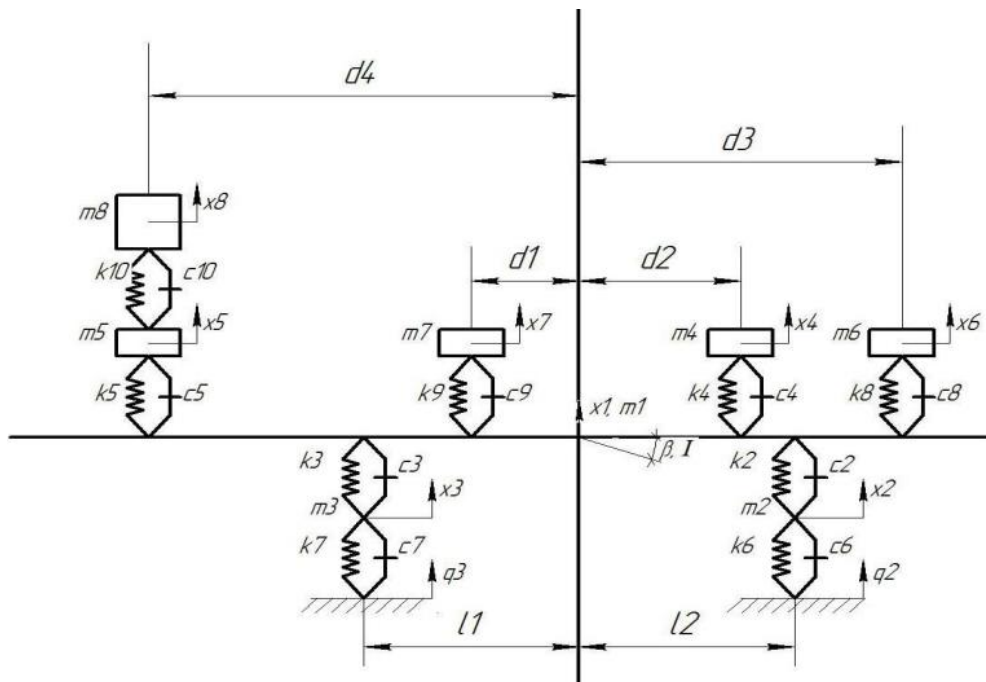


Рисунок 1 – Спрощена розрахункова схема підвіски автобуса з водієм та пасажирами

Аналітична модель щодо вертикальних переміщень/прискорень водія та пасажирів у характерних місцях салону базується на рівняннях Лагранжа і для реалізації у програмному середовищі MATLAB Simulink трансформована у систему дев'яти рівнянь:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 = \frac{1}{m_1} & [-k_5(x_1 - x_5 + d_4\beta) - c_5(\dot{x}_1 - \dot{x}_5 + d_4\dot{\beta}) - k_9(x_1 - x_7 + d_1\beta) - c_9(\dot{x}_1 - \dot{x}_7 + d_1\dot{\beta}) - \\ & k_4(x_1 - x_4 - d_2\beta) - c_4(\dot{x}_1 - \dot{x}_4 - d_2\dot{\beta}) - k_8(x_1 - x_6 - d_3\beta) - c_8(\dot{x}_1 - \dot{x}_6 - d_3\dot{\beta}) + k_3(x_3 - x_1 - \\ & l_2\beta) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1 - l_2\dot{\beta})] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \ddot{\beta} = \frac{1}{I} & [-d_4(-k_5(x_1 - x_5 + d_4\beta) - c_5(\dot{x}_1 - \dot{x}_5 + d_4\dot{\beta})) - d_1(-k_9(x_1 - x_7 + d_1\beta) - c_9(\dot{x}_1 - \dot{x}_7 - \\ & d_1\dot{\beta})) + d_2(-k_4(x_1 - x_4 - d_2\beta) - c_4(\dot{x}_1 - \dot{x}_4 - d_2\dot{\beta})) + d_3(-k_8(x_1 - x_6 - d_3\beta) - c_8(\dot{x}_1 - \dot{x}_6 + \\ & d_3\dot{\beta})) - l_1(k_3(x_3 - x_1 + l_1\beta) + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_1 + l_1\dot{\beta})) + l_2(k_2(x_2 - x_1 - l_2\beta) + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1 - l_2\dot{\beta}))] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{m_2} [-k_2(x_2 - x_1 - l_2\beta) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1 - l_2\dot{\beta}) + k_6(q_2 - x_2) + c_6(q_2 - \dot{x}_1)] \quad (3)$$

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{m_3} [-k_3(x_3 - x_1 - l_1\beta) - c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_1 + l_1\dot{\beta}) + k_7(q_3 - x_3) + c_7(q_3 - \dot{x}_3)] \quad (4)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{1}{m_4} [k_3(x_1 - x_4 - d_2\beta) + c_4(\dot{x}_1 - \dot{x}_4 + d_2\dot{\beta})] \quad (5)$$

$$\dot{x}_5 = \frac{1}{m_5} [k_5(x_1 - x_5 - d_4\beta) + c_5(\dot{x}_1 - \dot{x}_5 + d_4\dot{\beta}) - k_{10}(x_5 - x_8) - c_{10}(\dot{x}_5 - \dot{x}_8)] \quad (6)$$

$$\dot{x}_6 = \frac{1}{m_6} [k_8(x_1 - x_6 - d_3\beta) + c_8(\dot{x}_1 - \dot{x}_6 - d_3\dot{\beta})] \quad (7)$$

$$\dot{x}_7 = \frac{1}{m_7} [k_9(x_1 - x_7 + d_1\beta) + c_9(\dot{x}_1 - \dot{x}_7 + d_1\dot{\beta})] \quad (8)$$

$$\dot{x}_8 = \frac{1}{m_8} [k_{10}(x_5 - x_8) + c_{10}(\dot{x}_5 - \dot{x}_8)] \quad (9)$$

Дана еквівалентна модель дозволяє визначати віброприскорення/переміщення як у вертикальній площині Z , так і у поздовжній площині X – за напрямком руху, однак, як показав аналіз (у розділі 1) сучасних досліджень та нормативної бази, власне вертикальні віброприскорення формують оцінку плавності руху автобуса при загально-практичних рамкових умовах оцінки в умовах прямолінійного та усталеного руху (що підтвердилось надалі і власною оцінкою цього питання). Це є необхідною

та достатньою умовою для підбору/параметричної оптимізації пружно-демпфуючих характеристик підвіски та сидінь з умов комфортності/вібронавантаженості руху для проєктних робіт. При цьому, беручи до уваги обмежений асортимент та близькість пружно-демпфуючих характеристик шин, як передавальної ланки збурень мікропрофілю дороги до підвіски, характеристики цих елементів (рис. 1) задавались як типові для відповідного типорозміру шин і номінального тиску у них.

Окремою задачею є визначення еквівалентного центру маси кузова автобуса (підресорених мас), що формується як самою металоконструкцією кузова, так і забудовою систем і агрегатів та розміщенням і кількістю пасажирів (для автобусів III класу і багажу, згідно нормативів правил ЄЕК ООН №107). Однак значну перевагу у цьому випадку (у порівнянні з громіздким ітераційним методом розрахунку вертикальної та горизонтальної координат центру мас) є натурні виважування конкретної моделі автобуса з фіксацією зміни навантажень на осі залежно від кута нахилу кузова з пасажиронаповненням, еквівалентним вимогам нормативних баз експериментальної оцінки плавності руху. В сучасному процесі проектування автобуса дані параметри можна визначити з 3D моделі, використавши засоби САПР і задавши відповідні масові характеристики матеріалів.

Іншим важливим аспектом формування математичної моделі віброколивань автобуса є задання вхідного збурення від мікропрофілю дороги. Статистичні характеристики мікропрофілю дороги задаються дисперсією висот і загальним апроксимованим виразом

$$p_q(l) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\alpha_i |l|} \cos \beta_i l, \quad (10)$$

де A_i , α_i , β_i – коефіцієнти, що характеризують ступінь нерегулярності та вузькополосність випадкової функції мікропрофілю.

Як приклад, значення коефіцієнтів апроксимованої кореляційної функції для трьох типів доріг автополігону НАМИ, що використовуються і зараз для нормативної оцінки плавності руху автомобілів/автобусів, подано у табл. 1

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів апроксимації кореляційної функції, для кожного типу доріг

Тип дороги	Дисперсія висот мікропрофілю $D_q \cdot 10^4, \text{ м}^2$	A_1	A_2	м^{-1}			
				α_1	β_1	α_2	β_2
I	0,36	1,000	0	0,15	0	0	0
II	1,21	1,000	0	0,45	0	0	0
III	8,41	0,850	0,15	0,15	0	0,2	2,00

Природньо, що дані випробувальні ділянки для вітчизняного автомобіле/автобусобудування наразі є не актуальними і можуть слугувати тільки для оцінки адекватності моделювання в порівнянні з результатами випробувань автобусів ЛАЗ 4207/ЛиАЗ-5256, проведених ще за часів СРСР. Однак і інформації

щодо кількісної оцінки характеристик мікропрофілю аналогічних випробувальних ділянок у інших країнах недостатньо, зрештою вітчизняні дороги мають свою специфіку (у порівнянні з ЄС).

У загальному вигляді спектральна густина збурення задана відомими виразами:

$$G_q(\omega) = 4D_q g_q(\omega), \quad (11)$$

$$\text{де } g_q(\omega) = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \alpha_i V^2 ((\alpha_i V)^2 + (\beta_i V)^2 + \omega^2)}{\omega^4 + 2((\alpha_i V)^2 - (\beta_i V)^2) \omega^2 + ((\alpha_i V)^2 + (\beta_i V)^2)^2}$$

У третьому розділі опрацьована реалізація математичної моделі віброколиваний автобуса у програмному середовищі MATLAB Simulink та проведено дослідження взаємозв'язку вібронавантажень водія та пасажирів (у різних місцях салону) залежно від заданих пружно-демпфуючих характеристик підвіски та сидінь на прикладі конкретної моделі середнього автобуса ТУР А407 II та III класів з двома типами підвіски, що надалі і був предметом експериментальних досліджень.

Загальна структура математичної моделі прямолінійного руху автобуса у програмному середовищі MATLAB Simulink представлена на рис. 2.

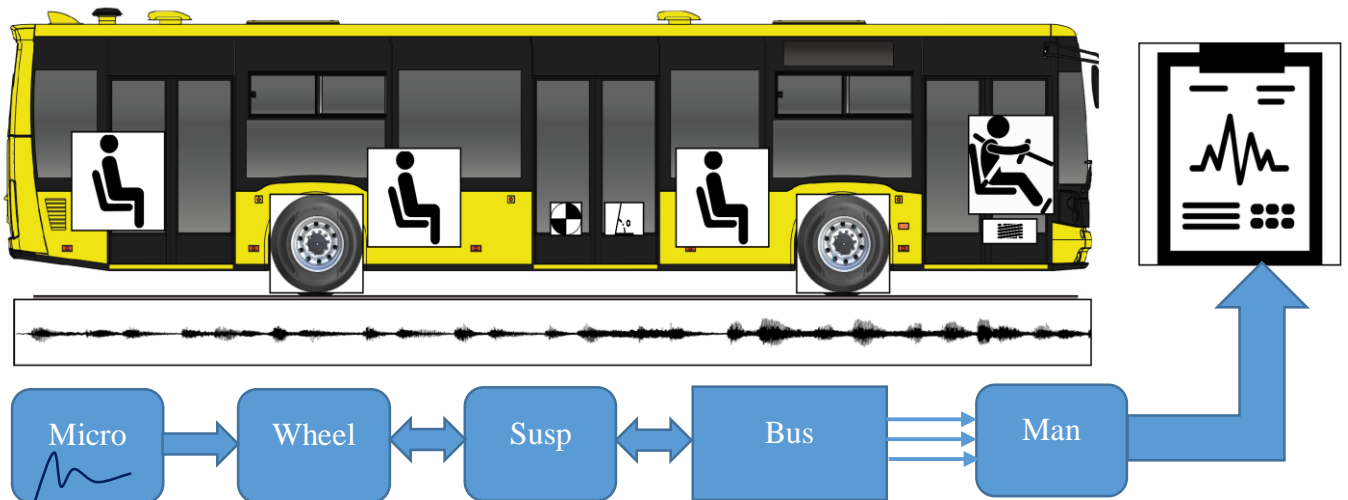


Рисунок 2- Загальна структурна схема імітаційної моделі руху автобуса по дорозі з визначеним мікропрофілем для отримання значень вібропоказників роботи підвіски

Вхідний сигнал – збурення від мікропрофілю дороги згідно (10) трансформується у блоці «Мікро» у вигляді функції випадкової величини:

$$\frac{d}{dt} z_R(t) = -\alpha V z_R(t) + \omega(t) \quad (12)$$

де $\omega(t)$ – дискретний білий шум з відповідною спектральною густиною; α – величина, обернена до сталої часу, що залежить від типу дорожнього покриття, рад/м; V – швидкість руху.

Залежність (12) зручно реалізувати засобами MATLAB Simulink у такому вигляді (рис. 3):

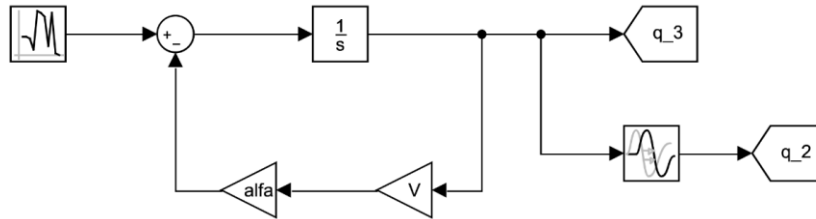


Рисунок 3 - Структурна схема реалізації мікропрофілю дороги в середовищі MATLAB Simulink

Дане збурення поступає на вхід блоку «Wheel» (для задньої осі автобуса з зсувом у часі що формується заданою швидкістю руху і колісною базою автобуса). Це дозволяє промодельовувати коливання непідресорених мас (з врахуванням характеристик шин та передньої і задньої підвісок). Блок «Susp» слугує двома вхідними сигналами для визначення поздовжнього кута коливання кузова (2) та вертикальних віброприскорень центру мас кузова (блок «Bus») з врахуванням характеристик сидіння водія та пасажирів та віддаленості від центру мас (d_1-d_4 , рис.1). У блоці «Map» визначається вібронавантаженість на сидінні водія та пасажирів у характерних точках (в т.ч. останнього ряду сидінь у задньому звисі). У блоці «Plt» здійснено представлення результатів досліджень у графічному вигляді.

Для побудови імітаційної моделі на базі диференційних рівнянь 1-9 достатньо базових блоків, доступних у програмному комплексі MATLAB Simulink. Таким чином, рівняння 2 для визначення кутових переміщень автобуса будується у вигляді:

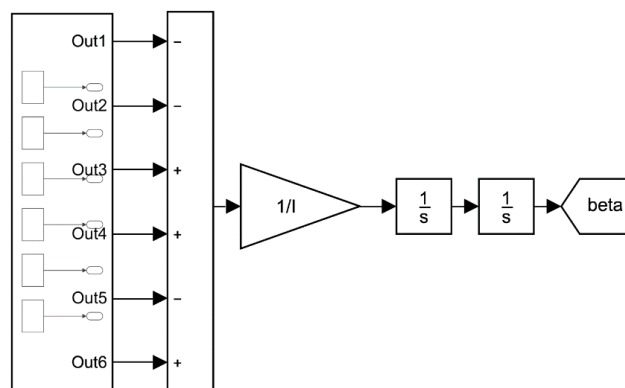


Рисунок 4- Визначення кутового переміщення автобуса навколо осі, що проходить перпендикулярно до площини рисунка 1.

Аналогічним чином формуються схеми і для визначення відповідних вібропоказників:

- для центру мас автобуса (рис. 5);
- для непідресорених мас задньої підвіски (рис. 6);

- для невідресорених мас передньої підвіски (рис. 7);
- для сидіння водія (рис. 8);
- для пасажирів в базі автобуса (рис. 9);
- для пасажирів у задньому звісі (рис. 10)

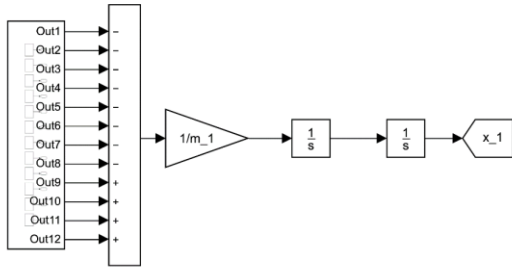


Рисунок 5- Визначення вібропоказників в точці, що відповідає центру мас автобуса

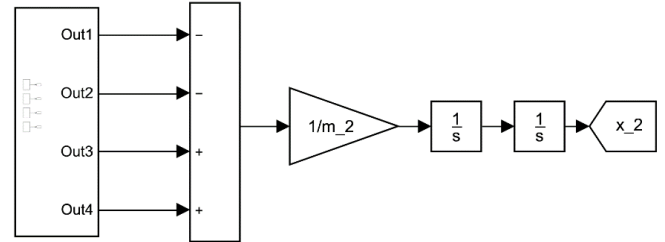


Рисунок 6 -Визначення вібропоказників для невідресорених мас задньої підвіски

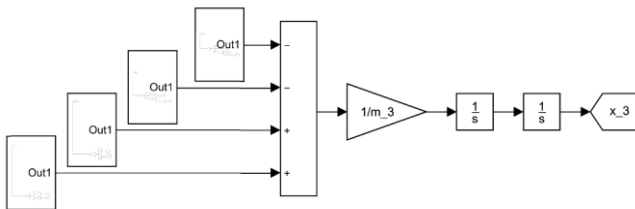


Рисунок 7- Визначення вібропоказників для невідресорених мас передньої підвіски

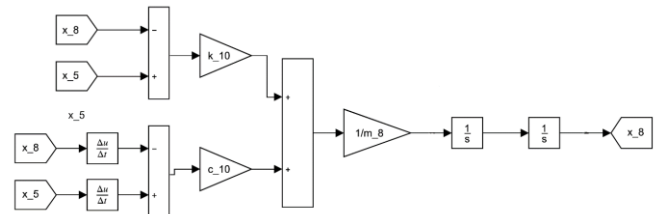


Рисунок 8 - Визначення вібропоказників на сидінні водія

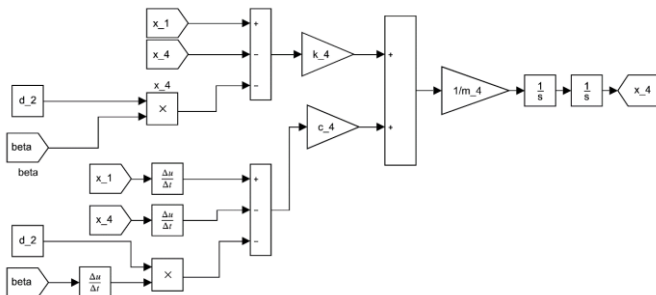


Рисунок 9 - Визначення вібропоказників на сидінні пасажирів в базі автобуса без фрагментів по водію та задньому звісу

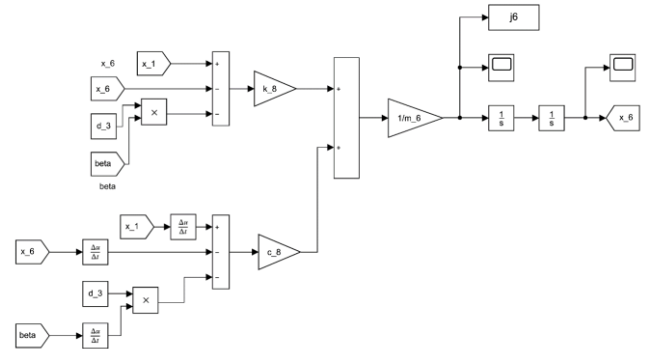


Рисунок 10 - Визначення вібропоказників на сидінні пасажирів в задньому звісі автобуса

І, відповідно, виведення результатів у графічному вигляді для наочної оцінки вібропоказників:

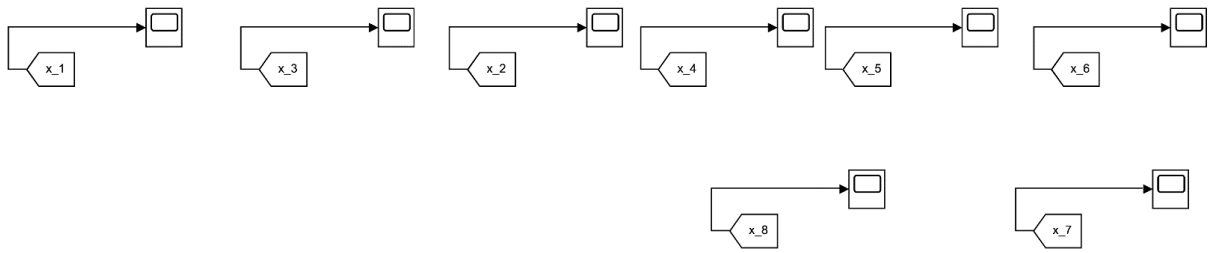


Рисунок 11 - Виведення результатів моделювання

На рис. 12, як приклад, представлено фрагмент результату розрахунку вібронавантажень, що діють на пасажира на останньому ряді сидінь у задньому звісі кузова на дорозі типу II (табл. 1), що практично є еквівалентною дорозі II категорії згідно ДБН. Дороги III категорії, де переважно експлуатуються автобуси II класу (місцеві, приміські перевезення) для оцінки плавності руху – комфортності перевезень не зовсім коректно використовувати, так як згідно нормативної бази автобуси загального призначення проектується під експлуатацію на дорогах I та II категорій. З іншого боку, оцінка плавності руху на дорозі типу I (табл. 2), близькій до нової дороги I категорії, є малоінформативною з точки зору оцінки якості підвіски, сидінь у порівнянні з дорогою II типу (II категорії), що практично позбавляє змісту оцінки відповідності для даного типу I, якщо обов'язковим є тип II

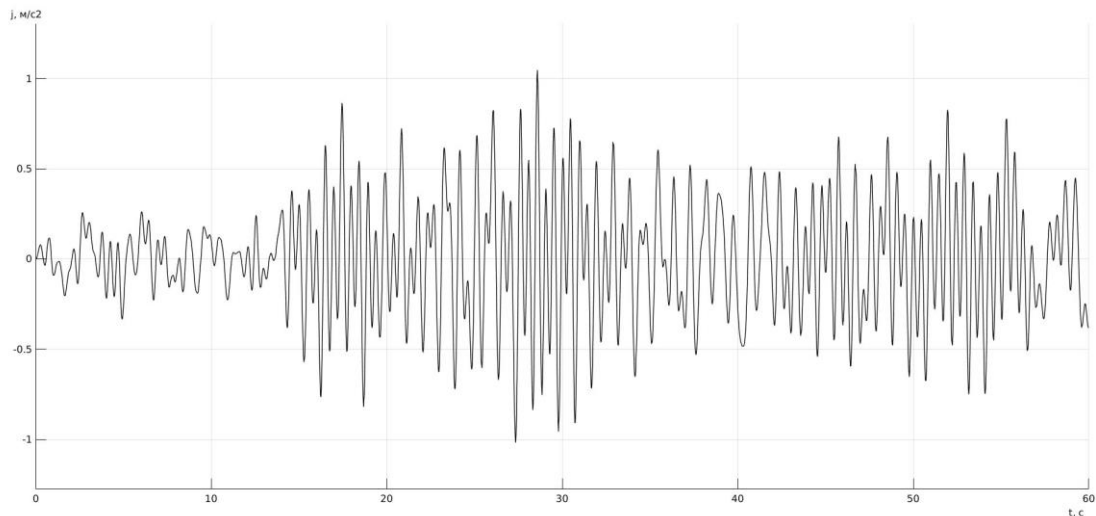


Рисунок 12 - Приклад розрахунку вібронавантажень на останньому ряді сидінь у задньому звісі (автобус ТУР А407 з ресорною підвіскою), імітація заїзду дорогою II категорії зі швидкістю 70 км/год

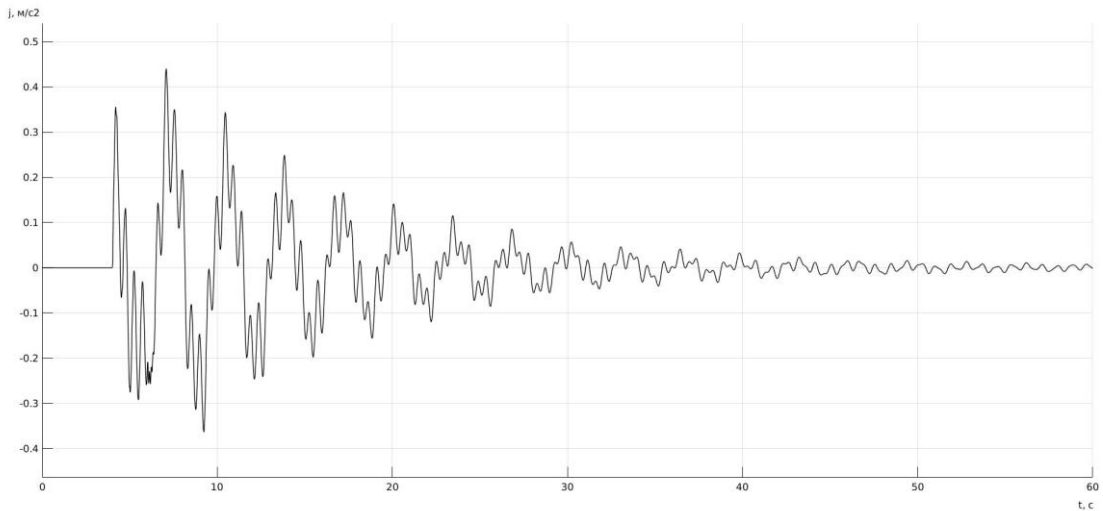


Рисунок 13 - Графік віброприскорень що діють на пасажира у задньому звісі кузова (автобус ТУР А407 з ресорною підвіскою) при переїзді лежачого поліцейського за швидкості 30 км/год

Разом з тим, поява у 2007р стандартизованих пристроїв примусового зниження швидкості (так званих «лежачих поліцейських») – ДСТУ 4123:2006 дозволяє в межах нормативно законодавчого поля ввести оцінку якості підвіски, сидінь, зрештою і шин, щодо пружно-демпфуючих характеристик. На рис. 5 представлено приклад результату моделювання переїзду даної порогової перешкоди тієї ж моделі автобуса ТУР А407 за швидкості руху 30 км/год (згідно ДСТУ 4123:2006 пристрої призначені для примусового зменшення швидкості руху нижче 40 км/год, а рекомендованою є 20-30 км/год, найбільш розповсюдженою є висота пристрою 50 мм).

Проведені дослідження (на прикладі автобуса ТУР А407) з двома типами задньої підвіски – ресорної та пневмо-ресорної дозволили констатувати:

- найбільш виразна оцінка вібронавантажень водія та пасажирів, а відповідно і підбір пружно-демпфуючих характеристик насамперед підвіски, є характерною для мінімального пасажирозаповнення автобусів. Слід констатувати доцільність проведення оцінки плавності руху автобусів на дорогах II категорії у ваговому стані, що відповідає 15% використання номінальної пасажиромісткості (та є реальним для 20-30% від загального часу роботи автобуса на маршруті);
- практично для обох типів підвісок значення віброприскорень у горизонтальній поздовжній площині (напряму руху) практично не виходять за межі 5-15% допустимих порогових значень з умов ДСТУ-ISO 2631-1, незалежно від типу підвіски і зміни її характеристик для умов усталеного руху дорогами як I так і II категорій. Відчутне зростання цих віброприскорень при проїзді одиначної перешкоди («лежачого поліцейського») все-таки є значно меншим у порівнянні до вертикальних. Фактично вертикальні віброприскорення і є домінуючими у формуванні оцінки плавності руху – вібронавантаженості водія та пасажирів. Віброприскорення у поперечній до напряму руху площині дана модель не

дозволяє оцінити. Разом з тим розпочата реалізація просторової 3D-моделі для оцінки останніх, втратила практичний зміст за результатами дорожніх випробувань автобуса, де максимальні значення цих віброприскорень в умовах усталеного прямолінійного руху, типових для закордонних нормативних баз у цій сфері, є ще менш вагомими, у 3-5 разів у порівнянні до віброприскорень у поздовжній площині (напряму руху);

- відповідний підбір характеристик і суміщення ресор та пневмоелемента дозволяє суттєво зменшити вібронавантаженість насамперед у зоні низьких і середніх частот збурень у порівнянні з ресорною. Переваги чисто пневматичної підвіски у порівнянні з пневморесорною відчутні у зоні часткового до 50% пасажиронаповнення, а також у діапазоні високих частот (більше 15-20Гц) практично незалежно від пасажиронаповнення
- випробування типу переїзду одиначної перешкоди («лежачий поліцейський») дозволяє найбільш яскраво оцінити нерівномірність розподілу вібронавантажень по поздовжній осі салону. Як приклад, для ресорної підвіски ТУР А407 (при пасажиронаповненні 6 пасажирів – 15% номінального значення) представлено в табл. 2 розподіл віброприскорень за октавними діапазонами для трьох характерних місць (швидкість руху 30 км/год)

Таблиця 2 - Середні значення віброприскорень в автобусі ТУР А407 при переїзді одиначної порогової перешкоди згідно ДСТУ 4123:2006

Середини октавних діапазонів, Гц	Середньоквадратичні значення віброприскорень, при швидкості 30 км/год, м/с ²		
	Водій	Пасажир в базі	Задній звис
1	0.1341	0.1962	0.2835
2	0.1455	0.2073	0.2976
4	0.2224	0.2857	0.3959
8	0.548	0.6385	0.8204
16	1.4134	1.3485	1.5221
31.5	0.321	0.2315	0.255
63	0.1031	0.0506	0.0979

Результатами по даному типу випробувань очевидно доцільно оцінювати за рівнем короткочасних пікових вібронавантажень за умов зниження працездатності – втоми згідно ДСТУ ISO 2631-1, вони не є визначальними з огляду на загальну тривалість поїздки пасажирів. Разом з тим очевидна більша практична інформативність (в т.ч. з огляду на формування характеристик підвіски) цього типу оцінки у порівнянні з паралельною до дороги типу II оцінкою на дорозі I.

У четвертому розділі представлена методика і вимірювальна апаратура та результати дорожніх випробувань середнього автобуса ТУР А407 з ресорною і двома

різновидностями пневмо-ресорної/пневмо-механічної підвісок, а також основні положення та пропозиції щодо проекту ДСТУ щодо регламентації вібронавантажень на пасажирів та водія автобусів міського, місцевого (приміського) та міжміського сполучення.

Значну практичну значимість має не тільки оцінка адекватності опрацьованої комп'ютерної імітаційної моделі, але і порівняльна оцінка класичної малолістової ресорної підвіски з двома варіантами пневмо-механічних задніх підвісок на відповідних модифікаціях однієї базової моделі автобуса – тут ГУР А407 III класу (рис.14, рис.15). Спеціально для даних досліджень було розроблено комплекс вимірювальної апаратури (рис. 16) з можливістю вимірювання/під'єднання до п'яти акселерометрів GY521, контролерів Arduino та ноутбука з наступним опрацюванням частотного спектру записаних віброколивань за допомогою відповідного програмного забезпечення.



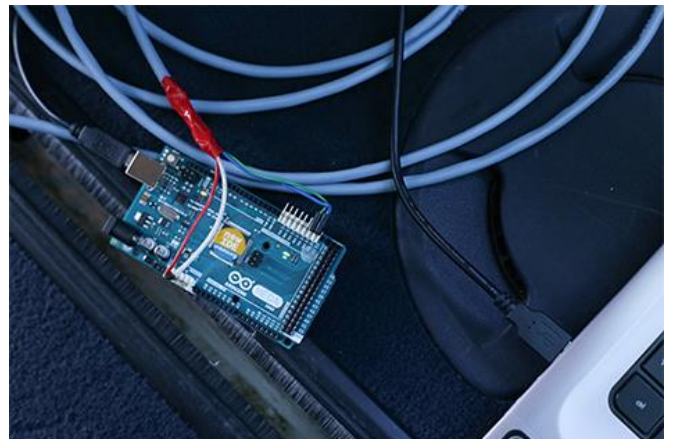
Рисунок 14 - Автобус ГУР А407, на якому проводились дорожні випробування на рівень вібронавантажених сидінь водія та пасажирів



Рисунок 15 - Схема оригінальної задньої пневмо-ресорної підвіски автобуса ГУР А407, конструкції ВАТ «Укравтобуспром»



Рисунок 16 - Фрагменти комплексу вимірювальної апаратури на базі контролера Arduino



Дорожні випробування проводились на двох типових ділянках автодоріг I категорії (відрізок 2 км на капітально відремонтованій ділянці автодороги Київ-Чоп

(14 км від Львова у напрямку Стрия) та II категорії (пряма ділянка вул. Луганська у м. Львові), в т.ч. як із умов наближення до тестових ділянок I та II категорії автополігону НАМІ (і оцінки співставимості результатів випробувань інших автобусів з різними типами підвісок, що проводились ВКЕІавтобуспром (Укравтобуспром) ще у 1980-х р.р.), так і з сучасної типовості умов руху для автобусів II, III категорій та В класу. Окрім цього, для порівняльного аналізу вище зазначених типів підвіски проведені також заїзди автобусів по одній ділянці брукованої дороги (у м. Львові вул. Ст. Бандери) та примусового обмежувача швидкості – «лежачого поліцейського» висотою 50 мм. На ділянці I категорії швидкість усталеного руху склала 90 км/год, для дороги II категорії – 70 км/год. Обидві мірні ділянки протяжністю 2 км. Окрім сидіння водія заміри віброприскорень здійснювались на пасажирських сидіннях вздовж лівої боковини – найближче до передньої осі (у колісній базі) та найменш комфортному – останньому ряді у задньому звисі. Сидіння були навантажені відповідно середньої маси людського тіла 75 кг. Для більш виразного прояву вібродемфуючих характеристик різних типів підвісок задньої осі дорожні випробування проводились за часткового завантаження автобуса, близькому до мінімального (еквівалент п'яти пасажирів) з триразовим дублюванням заїздів.

Як приклад на рис. 17 представлено запис віброприскорень для трьох вищезазначених точок заміру (включно підресорене сидіння водія) та кожного з трьох варіантів задньої підвіски (рис. 18 та 19 відповідно), а в табл. 3 – відповідно опосередковані значення у функції октавних діапазонів (від 1 до 63Гц) коливань/збурень.

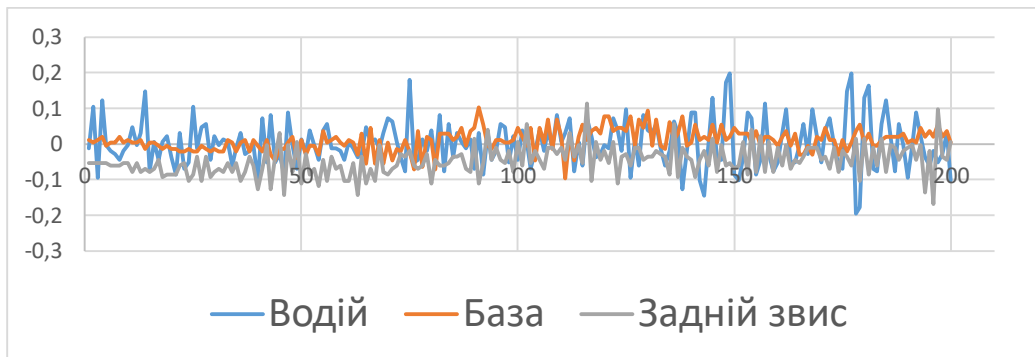


Рисунок 17 - Віброприскорення у салоні автобуса А407 з ресорною підвіскою, m/s^2

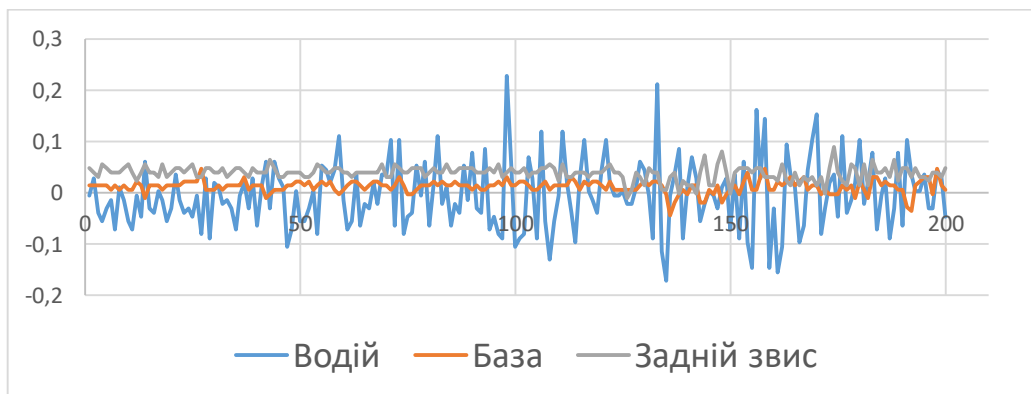


Рисунок 18 - Віброприскорення у салоні автобуса А407 з пневмо-ресорною підвіскою Daimler, m/s^2

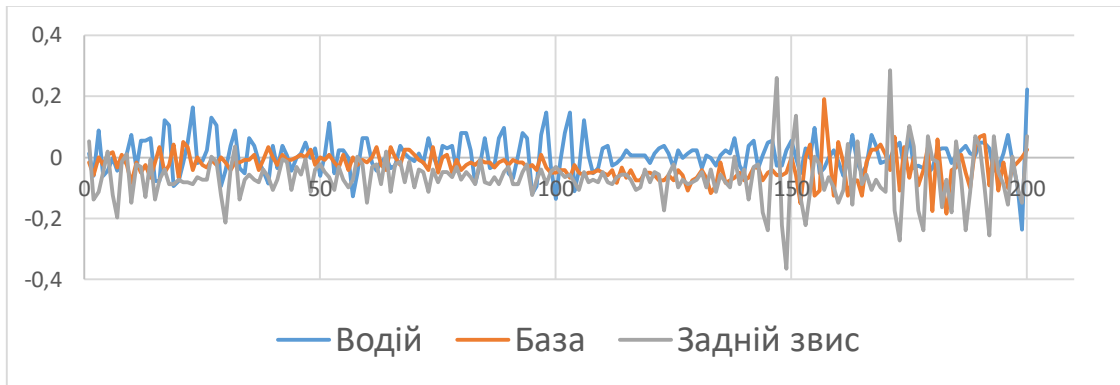


Рисунок 19 - Віброприскорення у салоні автобуса А407 з пневмо-ресорною підвіскою виробництва ВАТ Укравтобуспром, м/с²

Таблиця 3 - Результати дорожніх випробувань

Середини октавних діапазонів в Гц	Середньоквадратичні значення віброприскорень автобуса А407 з ресорною підвіскою, м/с ²			Середньоквадратичні значення віброприскорень автобуса А407 з пневмо-ресорною підвіскою Daimler, м/с ²			Середньоквадратичні значення віброприскорень автобуса А407 з новою пневмо-ресорною підвіскою ВАТ Укравтобуспром, м/с ²		
	Водій	Пасажири в базі	Задній звис	Водій	Пасажири в базі	Задній звис	Водій	Пасажири в базі	Задній звис
1	0.333	1.452	8.252	0.618	1.69	3.325	0.317	1.6	3.63
2	0.412	0.368	0.846	0.153	0.527	0.250	0.037	0.385	0.083
4	0.245	0.783	0.508	0.206	0.145	0.157	0.08	0.296	0.11
8	0.215	0.424	0.472	0.174	0.121	0.103	0.097	0.098	0.085
16	0.158	0.3	0.291	0.108	0.078	0.062	0.116	0.184	0.084
0,32	0.165	0.241	0.248	0.22	0.066	0.071	0.115	0.119	0.136
64	0.235	0.157	0.249	0.235	0.069	0.049	0.211	0.101	0.245

Порівняльний аналіз отриманих результатів дозволив констатувати (на прикладі дороги II категорії) суттєве покращення комфортності руху в аспекті середньоквадратичних значень вертикальних віброприскорень при використанні пневмо-ресорних підвісок. Якщо у зоні передньої осі (колісній базі) різниця відчутно проявляється починаючи з зони частот 4 Гц і більше (табл. 3), що значним чином обумовлено однотипною для всіх трьох модифікацій автобуса ТУР А407 передньою

ресорною підвіскою, то для зон задньої осі та особливо заднього звису кузова різниця особливо відчутна.

ВИСНОВКИ

1. У дисертаційній роботі розв'язана науково-прикладна задача підвищення комфортності пасажирських перевезень автобусів громадського транспорту з регламентування рівня вібронавантажень, що діють на пасажирів у залежності від класу призначення автобуса, і статистичного узагальнення середньої тривалості поїздок.

2. Опрацьовано аналітичну модель і методику комп'ютерного моделювання вібронавантажень у програмному середовищі MATLAB Simulink, що діють на пасажирів у взаємозв'язку з типом і характеристиками підвіски (ресорної, пневмо-ресорної, та пневматичної), та вібродемпфуючими характеристиками сидінь.

3. Отримано та реалізовано у проектній практиці рекомендації щодо підбору типу та характеристик підвіски та пасажирських сидінь у залежності від класу призначення автобуса (міські, місцеві та міжміські перевезення).

4. Експериментально підтверджена достатня адекватність (у межах 7-12%) комп'ютерного моделювання з результатами дорожніх випробувань автобуса за оцінкою вібронавантажень пасажирів у трьох характерних зонах салону (задній звис, у колісній базі, у районі передньої осі) для двох типових категорій доріг (I та II-ї категорій) з твердим покриттям.

5. З врахуванням різної середньостатистичної тривалості поїздки пасажирів в автобусах міського, місцевого та міжміського сполучення та рекомендацій ISO 2631-1:20 щодо порогових значень віброприскорень з умов комфортності (в функції тривалості дії та частотного діапазону), сформовано практичні рекомендації з підбору пружно-демпфуючих характеристик підвісок та сидінь для відповідних класів автобусів (з можливістю оцінки як порівняльної так і ефективності ще на етапі проектних робіт методами комп'ютерного моделювання для трьох типів доріг – асфальтобетонні, бруківка, ґрунтова).

6. Через послідовний підбір параметрів пневмо-ресорної підвіски (на прикладі середнього міжміського автобуса ГУР А407, виробник ВАТ «Автобуспром») забезпечено зниження у 2,4-3,6 рази середньоквадратичних вертикальних прискорень низькочастотних октавних діапазонів (1-8Гц), що діють на пасажира у задньому зvisі (найменш комфортній зоні салону) та у 1,7-2,6 рази у межах колісної бази у порівнянні до серійної малолистової ресорної підвіски машинокомплекту MB Vario 800-ого модельного ряду. У середньо - та високочастотних діапазонах ефективність дещо менша у 1,8-2,5 рази у задньому зvisі та у 1,5-2 рази у базі.

7. Створено сучасний комплекс вимірювальної апаратури одночасної оцінки вібронавантажень на пасажирів у 3-х характерних зонах салону шляхом дорожніх випробувань. Опрацьована методика вимірювань та статистичної обробки результатів з розмежуванням частотних діапазонів.

8. Опрацьовано проект національного стандарту ДСТУ "Колісні транспортні засоби. Вібронавантаження на пасажирів автобусів категорії М2 та М3 з умов комфортності та плавності руху. Загальні технічні вимоги та оцінка відповідності"

з формуванням 3-х рівнів порогових (граничних) значень віброколивних навантажень на пасажирів відповідно до класу призначення автобуса (міські, місцеві/приміські, міжміські).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Бур`ян М.В. Діагностування автотранспортних засобів на засадах використання GPS приймачів / М.В. Бур`ян, О.Л. Коляса, А.О. Коляса // Вісник СевНТУ: збірник наукових праць. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2012. – Випуск 135/2012. – С.173-175.

2. Крайник Л.В. Порівняльний аналіз типів акселерометрів для оцінки реальної характеристики двигуна на базі дорожніх випробувань автомобіля / Л.В. Крайник, М.В. Бур`ян, О.Л. Коляса // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк 2012. – Випуск № 37. – С. 183-186.

3. Бур`ян М.В. Оцінка плавності руху автобуса методом моделювання в системі matlab/simulink / М.В. Бур`ян, М.Ф. Боднар // Динаміка, міцність та проектування машин і приладів: Вісник НУ “ЛП”. – Львів: 2016. – Випуск № 838. – С.115-120.

4. Бур`ян М.В. Комплекс вимірювальної апаратури та оцінка плавності руху автобусів / М.В. Бур`ян // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк 2016. – Випуск № 55. – С. 49-53.

Стаття у виданні України, яке включено до міжнародної наукометричної баз даних Scopus:

5. Horbay O. Suitable Damping Control Methods for Semi-Active Dynamic Vibration Absorbers / O. Horbay, V. Diveyev, I. Kernytskyu, M. Burian, V. Opalko // Published in: 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). – IEEE, 2019. – P. 46-49

Статті у науковому періодичному виданні іншої держави:

6. Крайник Л.В. Оцінка рівня плавності руху автобуса з умов забезпечення комфорту пасажирів / Л.В. Крайник, М.В. Бур`ян, М.Ф. Боднар // Systemy I Srodki transportu samochodowego. Seria: Transport [Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza Lejda]. – Rzeszow 2016. – № 7. – С. 69-74.

7. Боднар М. Ф. Моделювання роботи підвіски автобуса з урахуванням мікропрофілю дорожнього покриття / М.Ф. Боднар, В. Р. Пасіка, М.В. Бур`ян // Systemy I Srodki transportu samochodowego. Seria: Transport [Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza Lejda]. – Rzeszow 2017. – № 8. – С. 7-12.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Бур`ян М.В. Перспективи використання засобів супутникової навігації для створення системи адаптивного керування режимами руху автомобіля. / М.В. Бур`ян, М.Ф. Боднар // Одинадцятий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: Тези доповідей. (Львів 15–17 травня 2013 р.) – Львів: КІНПАТРИ ЛТД.. – 2013. – С. 103.

9. Крайник Л.В. Плавність руху автобусів, як складова комфортності пасажирських перевезень / Л.В. Крайник, М.В. Бур`ян // Автобусобудування та

пасажирські перевезення в Україні: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (Львів 24-25 вересня 2015р.) – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2015. – С. 13-14.

10. Бур`ян М.В. Оцінювання плавності руху автобусів / М.В. Бур`ян // Дванадцятий міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові: Тези доповідей. (Львів 28–29 травня 2015р.) – Львів: КІНПАТРИ ЛТД.. – 2015. – С. 135.

11. Боднар М.Ф. Оцінка плавності руху автобусів з умови вібронавантажень на пасажирів / М.Ф. Боднар, М.В. Бур`ян // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: Тези доповідей. (Вінниця 19-21 жовтня) – Вінниця: ВНТУ. – 2015. – С. 55-57.

12. Бур`ян М.В. Методика та результати дорожніх випробувань автобуса з умов оцінки плавності руху – комфортності перевезення пасажирів / М.В. Бур`ян, Л.В. Крайник // Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції (Львів 17-18 березня 2016р.). – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка" 2016. – С. 11.

13. Бур`ян М.В. Математична модель оцінки вібронавантаженості пасажирських сидінь автобусів та її реалізація засобами програмного забезпечення на ПК / М.В. Бур`ян, М.Ф. Боднар // Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції (Львів 17-18 березня 2016р.). – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка" 2016. – С. 20-21.

14. Бур`ян М.В. Оцінка адекватності моделювання роботи підвіски автобуса у порівнянні з даними експериментальних випробувань / М.В. Бур`ян, М.Ф. Боднар, М.О. Щокін // Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції (Львів 22-23 лютого 2018р.). – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка" 2018. – С. 40-41.

15. Бур`ян М.В. Порівняльна оцінка якостей ресорної та пневморесорної підвісок на автобусі середнього класу / М.В. Бур`ян, Ю.І. Войчишин // Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні: матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції (Львів 22-23 лютого 2018р.). – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка" 2018. – С. 38-39.

АНОТАЦІЯ

Бур`ян М. В. Плавність руху автобусів у взаємозв'язку з характеристиками підвіски та сидінь. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.02 «Автомобілі та трактори». – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2020.

У дисертаційній роботі розв'язано науково-практичне завдання оцінки та оптимізації рівня вібронавантаження, що діють на пасажирів автобуса з умов плавності руху .

Зокрема, створена імітаційна модель, завдяки якій можна ще на стадії проектування оцінити значення вібронавантажень, що діють на пасажирів, тобто справляти безпосередній вплив на комфортність перевезень. Проведені імітаційні моделювання з кількома типами задньої підвіски за різних рівнів завантаження, з

визначенням кількісних значень в характерних місцях автобуса. Моделювання проведено з імітацією дороги II категорії, а також під час переїзду засобу примусового сповільнення швидкості.

Проведені експериментальні дослідження аналогічних автобусів на аналогічних типах покриття, після співставлення з результатами імітаційного моделювання, засвідчили адекватність моделі. Результати проведених досліджень є основою для формування нового державного стандарту - ДСТУ «Колісні транспортні засоби. Плавність руху. Методи проведення випробувань та оцінка вібронавантажень/комфортності пасажирських перевезень»

Ключові слова: автобус, підвіска, сидіння, вібронавантаження, віброприскорення, плавність руху, комфортність руху.

АННОТАЦІЯ

Бурьян М. В. Плавность хода автобусов во взаимосвязи с характеристиками подвески и сидений. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.02 «Автомобили и трактора». – Национальный университет «Львовська політехніка» Министерства образования и науки Украины. – Львов, 2020.

В диссертационной работе решена научно-практическая задача оценки и оптимизации уровня виброн нагруженности, что воздействует на пассажиров автобуса по условиям плавности хода.

В частности, создана имитационная модель, посредством которой еще на этапе проектирования можно оценить уровни виброн нагруженности, что воздействуют на пассажиров – т.е. производить непосредственное влияние на комфортность перевозок. Проведены имитационные моделирования с разными типами задней подвески при разных уровнях загрузки, с определением количественных значений в характерных местах автобуса. Моделирование проведено с имитацией дороги II категории, а также при переезде порогового препятствия - средства принудительного снижения скорости.

Проведенные экспериментальные исследования аналогичных автобусов на аналогичных типах покрытия, после сравнения, подтвердили адекватность модели. Результаты проведенных исследований стали основой для формирования нового государственного стандарта ДСТУ «Колесные транспортные средства. Плавность хода. Методы проведения испытаний и оценка виброн нагруженности/комфортности пассажирских перевозок».

Ключевые слова: автобус, подвеска, сидения, виброн нагруженность, виброускорения, плавность хода, комфортность перевозок.

ABSTRACT

Burian M.V. Ride comfort of buses in relation to the characteristics of the suspension and seats. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.22.02 "Cars and tractors". - Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2020.

Dissertation solves scientific and practical task of assessing and optimizing the level of vibration load acting on the bus passengers in depends of the smooth traffic conditions, class of the bus purpose, and statistical generalization of the average duration of passengers trips.

In particular, based on mathematical model, which consist of nine well known from theory equations, was created Matlab Simulink simulational model which allows to detrminate level of vibrational loads that affects on bus passangers at the stage of bus designing. Such approach allows to imapct directly on the ride comfort of passanger transportation.

Specific places in the bus salon - near the driver at front overhang, at the middle of the bus base and at the rear overhang was chosen to determine vibration loads. Another characteristic feature of the model consist in usage of equivalent function of statistical distribution to describe the real road profile. In such way quantitative values of vibrational loads in specific places in the bus salon for different types of rear suspension at different load levels was determined by using created simulation model. Obtained results were processed by methods of mathematical statistics and distributed by octave bands for the possibility of comparative estimation of RMS values of vibration loads.

According to the modeling results were received and implemented in the project practice recommendations for the selection of the type and characteristics of the suspension and passenger seats in depends on the class of purpose of the bus (urban, local and intercity transportation).

Also experimental road test were conducted for the similar buses on the appropriate types of road coverage, after comparison with the results of simulation, showed the adequacy of the model. For those test was created modern set of measuring equipment for simultaneous assessment of vibration loads on passengers from 3 characteristic areas of the bus salon as well as described method of measurements and statistic processing of results with delimitation of frequency ranges.

The results of those research are the basis for the creating of a new state standard - "Wheeled vehicles.. Test methods and assessment of vibration loads/comfort of passenger traffic".

Key words: bus, suspension, seats, vibration loading, vibration acceleration, ride comfort, smoothness of movement, comfort of movement.