

Юрій Міхлін¹, Юлія Сурганова², Денис Федотов³

¹професор, д.ф.-м.н., професор, Національний Технічний Університет «ХПІ»,
Харків, Україна, e-mail: Yuri.Mikhlin@gmail.com

²доктор філософії, асистент, Національний Технічний Університет «ХПІ»,
Харків, Україна, e-mail: surganova.julia@gmail.com

³студент, Національний Технічний Університет «ХПІ», Харків, Україна, e-mail:
denys.fedotov@infz.khpi.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ДВОРІВНЕВОЮ АМОРТИЗАЦІЄЮ

Анотація. Розглядається динаміка спеціалізованого транспортного засобу, що має три рівні: базову підвіску, вантажну платформу (або демпферну панель) і віброізоляційний об'єкт. Кузов автомобіля і додаткова демпферна панель над кузовом моделюються прямолінійними жорсткими пластинами у формі паралелепіпеда.

Ключові слова: підвіска автомобіля, демпферна панель, власні частоти, моди коливань, продовження за параметром.

Вступ. Оцінка динамічного стану транспортного засобу має важливе значення для проєктування систем, які підвищують характеристики безпеки та керування цих засобів. Транспортний засіб можна моделювати як складну динамічну систему з кількома степенями свободи. Часто дослідники обмежуються найпростішими моделями транспортного засобу, а саме, моделлю «чверті машини» (система з двома степенями свободи) для дослідження качки, або модель «напівмашини» (система з чотирма степенями свободи) для вивчення вертикальних рухів, качки та тангажу. Але значного поширення набула також модель з 7 степенями свободи, що дає змогу більш повно описати динаміку автомобіля, враховуючи динаміку коліс [1-3]. Коректність цієї моделі обґрунтовано порівнянням з експериментами.

У представленій роботі проведено модальний аналіз багатомасової системи, що представляє собою модель підвіски автомобіля, яка включає в себе як кузов автомобіля (що дозволяє описати вертикальні і похилі переміщення), так і його невіднесене маси (що дозволяє включити в дослідження зміщення коліс). До підвіски додано панель-амортизатор, що розміщена над цією панеллю. Основна мета полягала в дослідженні мод коливань отриманої системи, як в лінійному наближенні, так і з врахуванням



нелінійності в пружних елементах системи, що дозволяє краще зрозуміти механізми взаємодії кузова і підвіски автомобіля, а також панелі-амортизатора при різних режимах коливань. Такий аналіз може бути вельми корисним за наявності зовнішніх впливів.

Матеріал і результати досліджень. Досліджувану модель автомобіля (Рис. 1) можна умовно поділити на декілька складових частин, таких як непідресорені та підресорені маси, пружні і демпфуючі елементи. Вважаємо, що кузов, який моделюється жорсткою пластиною у вигляді паралелепіпеда, а також нижні, непідресорені маси, складають так званий *перший рівень* загальної моделі. Тут непідресорені маси – це колеса та елементи підвіски, які з'єднуються з кузовом через систему амортизаторів і пружин, що дозволяють поглинати і пом'якшувати дорожні нерівності. Так званий *другий рівень* представлено у вигляді додаткової панелі-амортизатора, що знаходиться над кузовом. Вона також моделюється жорсткою пластиною у вигляді паралелепіпеда, причому вважаємо, що геометричні розміри верхньої панелі-амортизатора менше, ніж розміри нижньої. *Третій рівень* це вантаж різного походження, який розміщено на панелі-амортизаторі, і який тут не представлено. Обмежуючись аналізом мод коливань, не враховується взаємодія транспорту та дорожнього покриття. Зазначимо, що в даній системі присутня значна дисипація.

На рис. 2 показана спрощена динамічна модель взаємодії кузова автомобіля та непідресорених мас із зображенням відповідних координат.

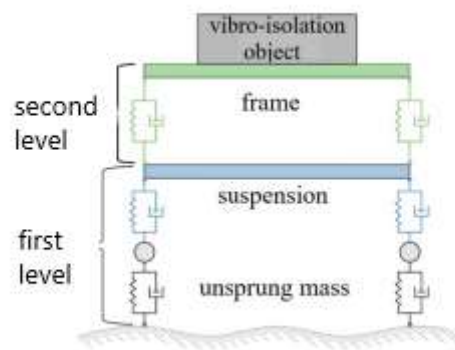


Рисунок 1 – Загальна схема транспортного засобу з двома рівнями підвіски



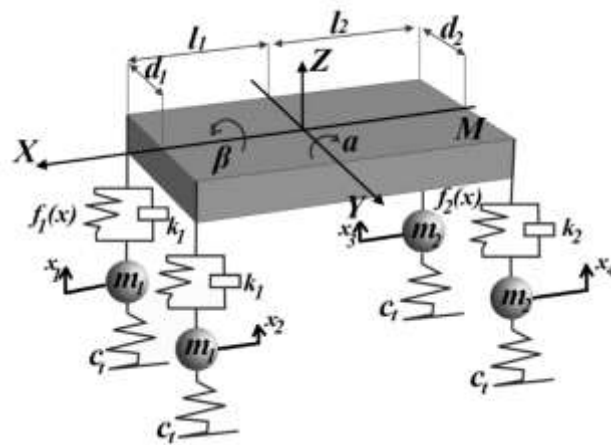


Рисунок 2 – Спрощена модель взаємодії кузова автомобіля та невідресорених мас

Система, що розглядається, має 10 ступенів свободи. На першому етапі, як для важкого за масою, так і для легкого автомобілів, отримано власні частоти та моди коливань системи в лінійному наближенні. Оцінено, наскільки значними є амплітуди коливань для різних узагальнених координат. Далі проведено дослідження мод коливань з врахуванням нелінійності в пружних характеристиках транспортного засобу. Нелінійні моди коливань [4] отримано як шляхом чисельного моделювання, так і з використанням концепції Шоу-П'єра.

Висновки. Проведене дослідження демонструє наявність декількох мод коливань з різним розподілом амплітуд між узагальненими координатами, що вказує на комплексну взаємодію кузова і коліс автомобіля в підвісці та пластини-амортизатора. Це підтверджує складну природу коливальних процесів в автомобільній підвісці та відкриває перспективи для подальшої оптимізації конструкції і настройки підвісок з метою поліпшення динамічних характеристик автомобіля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kim Hyo-Jun, Yang H. S., Park Young-Pil (2002) Improving the vehicle performance with active suspension using road-sensing algorithm. *Computers and Str.* (80), 1569–1577.
2. Hemantha K. et al. (2021) Study the dynamic behaviour of seven DOF of full car model with semi-active suspension system. *Int. J. Vehicle Performance*, 7 (1/2), 21-40.
3. Palli S., Sharma R. C. (2072) Dynamic behaviour of a 7 DoF passenger car model // *Int. J. Vehicle Structures & Systems*, 9(1), 57–63.
4. Mikhlin Y., Avramov K. (2024) Nonlinear Normal Modes of Vibrating Mechanical Systems: 10 Years of Progress. *Appl. Mech. Rev.*, 76(5), 050801.

