



Підгайний Т. Ю.

Національний  
університет  
„Львівська політехніка”

Войтків С. В.

Харгелія Р. Р.

Войтків О. С.

НТЦ „Автополіпром”

УДК 629.113.001

## ВПЛИВ ОБШИВКИ ТА ЗАСКЛЕННЯ КУЗОВА АВТОБУСА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЙОГО ДЕФОРМІВНИХ КОЛИВАНЬ

*Рассчитано первые десять собственных частот и форм колебаний кузова автобуса без обшивки и застекления и с ними. Обнаружено возможность возникновения резонанса вследствие совпадения одной или нескольких собственных частот кузова с другими колебательными системами автобуса. Определено влияние обшивки и застекление на собственные частоты и формы.*

*Firsts ten proper frequencies and forms of vibrations of a body of the bus without sheeting and glassing and with them are calculated. The possibility of occurrence of resonance owing to coincidence of one or several proper frequencies of body with other vibration systems of the bus is revealed. Influence of sheeting and glassing on proper frequencies and forms is defined.*

**Постановка проблеми.** Кузови автобусів є складними механічними системами, динамічний аналіз яких пов'язаний із значними труднощами. Під час проектування кузовів важливим завданням є визначення їхніх власних частот і форм з метою уникнення резонансних явищ, що можуть виникнути внаслідок збіжності власної частоти механічної системи з:

- частотою вільних коливань силового агрегату або інших підресорених чи невідресорених елементів, що можуть розглядатися як тверді тіла;

- частотою вимушених коливань системи, збуджених роботою двигуна чи іншого обладнання, встановленого на кузові;

- частотою крутильних коливань трансмісії;

- частотою обертання коліс;

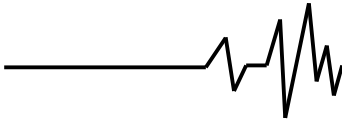
- частотою вимушених коливань транспортного засобу, спричинених нерівностями дорожнього покриття.

Частотні характеристики кузова транспортного засобу суттєво впливають на його втомну міцність, корозійну стійкість, та на рівень створюваного ним під час руху шуму, що не повинен перевищувати значень, встановлених відповідними нормативними документами.

Забезпечення таких частотних характеристик кузова автобуса, які унеможливають виникнення явища резонансу, суттєво підвищить надійність, довговічність та комфортабельність автобуса, дозволить збільшити гарантійний термін безремонтного пробігу кузова, що є особливо важливим в сучасних умовах жорсткої конкуренції на ринку транспортних засобів.

Визначення власних частот коливань кузова автобуса є утрудненим через велику кількість елементів та вузлів несівної конструкції і потребує значних затрат часу. Застосування для розв'язку цієї задачі методу скінчених елементів, реалізованому у вигляді спеціальних програмних комплексів, таких як Ansys, Nastran, Cosmos, Catia та ін., також потребує значних часових і фінансових ресурсів. Тому практичного значення набуває методика спрощеного розрахунку нижчих власних частот кузова автобуса [1]. Для оцінки точності цієї методики та для визначення впливу обшивки та застеклення на характеристики коливань кузова автобуса у даній праці проводиться модальний аналіз несівної конструкції методом скінчених елементів.

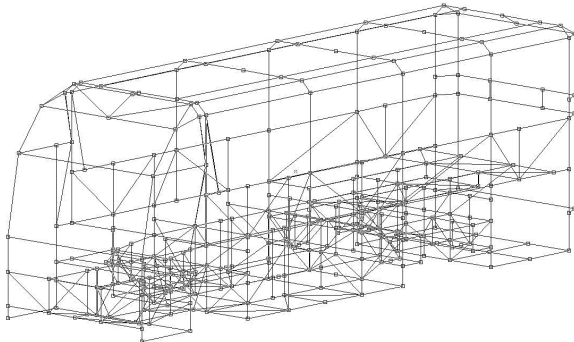
**Аналіз відомих досліджень і публікацій.** Метод скінчених елементів широко



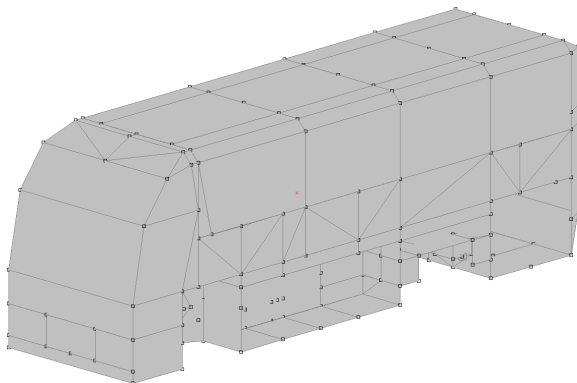
використовується у багатьох галузях науки та промисловості. В автобусобудуванні цей метод застосовують для оцінки напружено-деформованого стану кузова автобуса чи тролейбуса [2, 3], однак, модальному аналізу кузовів, як наприклад в праці [4], ще не приділяється належної уваги.

**Постановка задачі.** У даній статті розглядаються результати визначення власних частот і форм кузова автобуса методом скінчених елементів в одній з програм САПР і досліджується вплив обшивки кузова панелями та застосування кузову на його частотні характеристики.

**Основний матеріал.** Об'єктом дослідження вибрано кузов туристичного автобуса середнього класу. Каркас даного кузова є несівною просторовою стрижневою конструкцією. Нижчі власні частоти визначались для двох випадків. Перший: кузов без обшивки металевими панелями і без застосування, тобто лише каркас. Розрахункова схема зображена на рис. 1. Другий випадок: кузов обшитий металевими панелями і застосований. Розрахункова схема зображена на рис. 2.



**Рис. 1.** Розрахункова схема кузова без обшивки металевими панелями і без застосування

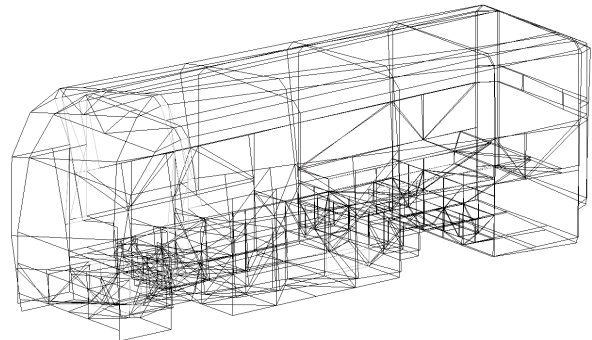


**Рис. 2.** Розрахункова схема кузова обшитого металевими панелями і застосованого

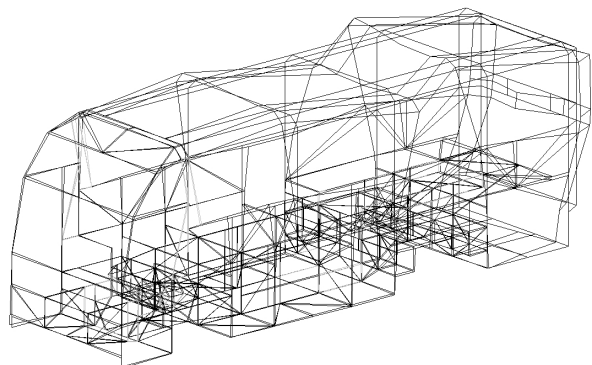
У розрахункових схемах труби каркасу кузова зображені стрижнями. Кожен стрижень представлений його геометричною віссю та параметрами поперечного січення. Вважається, що стрижні, які утворюють вузол, сходяться своїми кінцями в одній точці – центрі вузла. Металеві панелі обшивки та скла вікон представлені пластинами з відповідними фізичними характеристиками. Кути пластин знаходяться в центрах вузлів. Програма виконує розрахунок власних частот з врахуванням розподіленої матриці мас. Розрахунок полягає в розв'язку узагальненої задачі на власні значення

$$(K - (2\pi \cdot \nu)^2 \cdot M) \cdot \bar{\Delta} = 0 \quad (1)$$

де  $\nu$  – шукана власна частота,  $M$  – матриця мас,  $K$  – матриця жорсткості конструкції,  $\bar{\Delta}$  – вектор власної форми. Розв'язок виконувався методом ітерацій Арнольді, а також методом ітерацій підпростору, що дало однакові результати. В результаті розрахунків отримано перші десять власних частот для двох випадків розрахунку, які наведено в таблиці 1, а також відповідні власні форми коливань, деякі з яких зображено на рис. 3, 4, 5 і 6.



**Рис. 3.** 1-а власна форма кузова без обшивки і застосування.



**Рис. 4.** 10-а власна форма кузова без обшивки і застосування

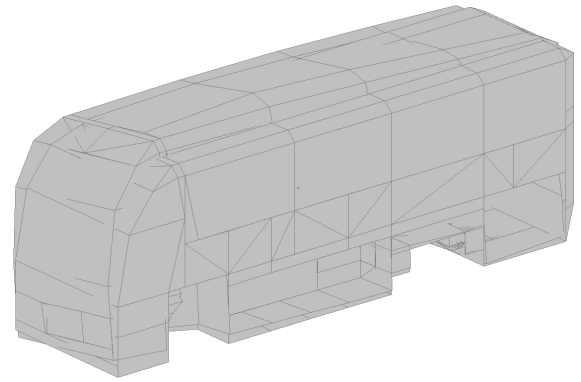


Рис. 5. 1-а власна форма обшитого і зашкленого кузова

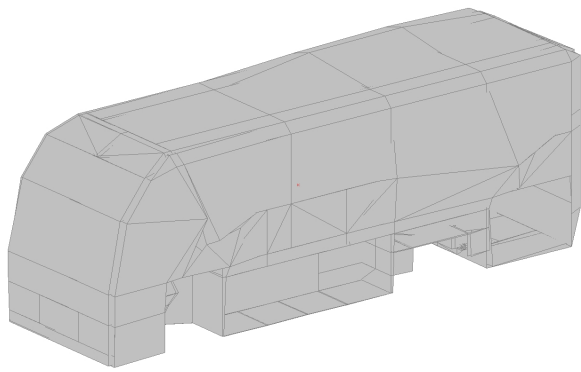


Рис. 6. 10-а власна форма обшитого і зашкленого кузова

Також визначено коефіцієнт впливу обшивки і зашклення кузова на власні частоти

$$k_i = v_{2i} / v_{1i} \quad (2)$$

де  $v_1$  – власна частота коливань необшитого і незашкленого кузова,  $v_2$  – власна частота коливань обшитого і зашкленого кузова,  $i=1, 2, 3, \dots, 10$  – порядковий номер власної частоти. Результати цього розрахунку наведені в таблиці 1.

Для аналізу впливу обшивки і зашклення на власні частоти побудовано графік залежності  $k$  від  $i$ , який зображено на рис. 7.

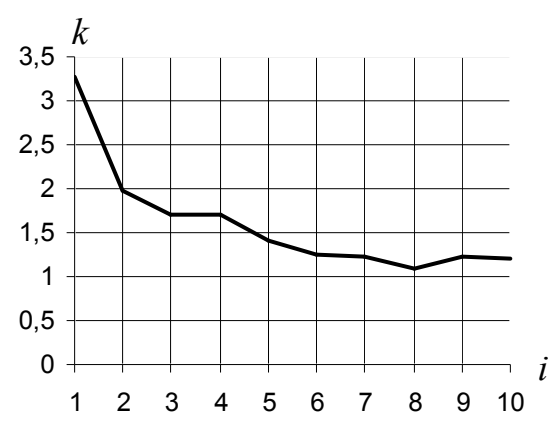


Рис. 7. Графік залежності  $k$  від  $i$

Таблиця 1

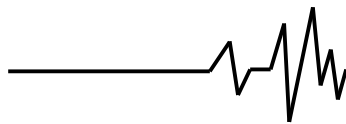
Результати розрахунків власної частоти коливань необшитого і незашкленого кузова  $v_1$ , власної частоти коливань обшитого і зашкленого кузова  $v_2$  і коефіцієнта впливу обшивки і зашклення кузова на власні частоти  $k$

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$v_1$ , Гц	4,58	8,18	11,05	12,79	15,71	18,04	20,63	23,82	24,35	25,07
$v_2$ , Гц	15,00	16,22	18,85	21,69	22,20	22,56	25,08	25,74	29,93	30,23
$k$	3,28	1,98	1,71	1,70	1,41	1,25	1,22	1,08	1,23	1,21

Аналізуючи отримані значення частот, оцінюємо, чи можливе виникнення резонансних коливань кузова на частотах вібрацій інших елементів автобуса. Діапазони частот, на яких переважно відбуваються парціальні коливання підсистем машини, подані в таблиці 2 згідно з [5].

Як бачимо, резонанс можливий на всіх розрахованих нижчих частотах. Необхідно відмітити, що під час розрахунку використовувалась розрахункова модель кузова, яка враховує реальні довжин стрижнів та розміри пластин з деяким відхиленням. Довжина стрижня приймалась від вузла до вузла розрахункової схеми, кути пластин

приймались в центрах вузлів. При цьому розрахункова жорсткість кузова дещо зменшується у порівнянні з фактичними значеннями і розрахункові деформації одержуються більшими від фактичних приблизно на 20% [6]. Відповідно, реальні значення нижчих власних частот є більшими ніж отримані. Крім того, слід зауважити, що реальну жорсткість кузова підвищать такі елементи, як поручні, багажні полиці, кронштейни кріплення різноманітного обладнання, зварні шви, тощо. Це також підвищує реальні значення нижчих власних частот.



Таблиця 2  
Діапазони частот  
коливальних систем автобуса

Коливальні системи	Діапазон частот коливань, Гц
Підресорені елементи	1 – 3
Силовий агрегат, вільні коливання	6 – 20
Мости, вільні коливання	6 – 20
Силовий агрегат, вимушені коливання (Перша і друга гармоніки)	10 – 75
Колеса, вимушені коливання	0 – 8
Вимушені коливання від нерівностей дороги	0 – 22

Отже, отримані розрахункові значення нижчих власних частот є дещо меншими за фактичні. Наступні експериментальні дослідження повинні визначити, наскільки саме вони є меншими. Проте, одержані результати дають можливість оцінити вплив обшивки та засклення на частотні характеристики кузова. Як бачимо з рисунка 7, обшивка і засклення найбільш суттєво підвищують значення частоти для найнижчих за порядком власних частот (більш ніж в три рази для першої власної частоти), а зі зростанням порядкового номеру власної частоти цей ефект плавно зменшується. Нерівномірність зменшення коефіцієнта  $k$  із зростанням порядкового номеру частоти можна пояснити несиметричністю та складністю будови кузова. Визначаючи  $k_i$  для  $i > 10$ , встановлено, що значення  $k$  залишаються в межах 1...1,2. Враховуючи отримані результати, можна з певною вірогідністю зробити висновок, що під час розрахунків власних частот з порядковим номером  $i \leq 6$  необхідно враховувати вплив обшивки та засклення, а під час розрахунків власних частот з порядковим номером  $i \geq 7$  цим впливом можна нехтувати, отримуючи похибку приблизно 20%.

Аналізуючи отримані власні форми коливань кузова (рис. 3, 4, 5, 6), бачимо так звані вузли і пучності, а також вплив на них обшивки та засклення. Як відомо, суперпозиція всіх форм є загальним розв'язком і дає уявлення про характер деформацій під час коливань. Проте, практичне значення мають лише нижчі власні форми. Необхідно наголосити, що ми отримуємо уявлення про характер деформацій кузова автобуса в динаміці, що вагомо доповнює результати типових досліджень статичних деформацій на

згин і кручення, та відповідає реальним деформаціям під час експлуатації автобуса. Така інформація дає змогу виявити місця недопустимих деформацій та вжити необхідних заходів для їх уникнення ще на етапі проектування.

**Висновки.** У даній статті визначено перші десять нижчих власних частот і форм коливань кузова перспективного автобуса без обшивки та засклення і з ними. Виявлено можливість виникнення резонансу внаслідок збіжності однієї чи декількох власних частот з частотами інших коливальних систем автобуса. Визначено, що вплив обшивки і засклення на власні частоти кузова є тим суттєвішим чим менший порядковий номер власної частоти. Отримано уявлення про характер деформацій під час коливань та про вплив на нього обшивки та засклення кузова.

Результати та методика досліджень можуть бути використані з метою вдосконалення конструкцій кузовів автобусів і методів їх проектування.

#### Література

1. Харченко Є. В., Підгайний Т. Ю. Визначення власних частот крутильних коливань кузова автобуса ЛАЗ А152 / Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях», – 2009. – №1(53).
2. Колтунов В. А., Орлов Л. Н. Расчетный анализ прочности кузова автобуса. Сб. Труды ВКЭИавтотранспорта. Львов, 1986.
3. Любин А. Н., Кулаков Н. А., Бида М. И. Исследование напряженно-деформированного состояния кузова автобуса ЛиАЗ-5256 с учетом обшивки при изгибе статической нагрузкой. Сб. Труды ВКЭИавтотранспорта. Львов, 1986.
4. Клименко В. И., Богомолов В. А., Дячук М. В. Перспективы повышения расчетной точности показателей колебательной динамики грузового автомобиля на основе конечноэлементного моделирования/ Новини науки Придніпров'я. Науково-практичний журнал. Серія: інженерні дисципліни. – Дніпропетровськ. – 2004. – Вип. 6. – С. 68 – 75.
5. Техническая акустика транспортных машин: Справочник / Л. Г. Балишанская, Л. Ф. Дроздова, Н. И. Иванов и др.; Под ред. Н. И. Иванова. – СПб.: Политехника, 1992. – 365 с.
6. Исследования напряженно-деформированного состояния кузова междугородного автобуса большой вместимости 5258. Технический отчет ВКЭИ. Львов. 1992.