

К.Е. Голенко, О.З. Горбай, Л.В. Крайник
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автомобілебудування

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КАРКАСА КУЗОВА АВТОБУСА ТИПУ LOW-ENTRY

© Голенко К.Е., Горбай О.З., Крайник Л.В., 2008

Проведено комп'ютерне моделювання та аналіз каркаса кузова автобуса типу Low-entry, подано оцінку його рівномірності за умовами визначення перевантажених зон із недопустимими значеннями напружень та деформацій. За результатами аналізу визначено особливості спільної поведінки класичної задньої та низькопідлогової міжосьової і передньої частини автобуса середнього класу типу Low-entry під дією різних навантажень.

It was made a computer modelling and analysis of Low-entry type bus body structure, given the mark of equal strength from conditions of the overloaded zones definition with inadmissible results of pressure and deformations. The presented analysis has allowed to define features of common behaviour classical back and lowfloor an interaxal and forward part of the middle Low-entry type class bus under the action of different kind loadings.

Постановка проблеми. Оскільки до вітчизняного автобусобудування висунуто чинні в країнах ЄС нормативні вимоги забезпечення перевезення у міському транспорті людей з обмеженими фізичними можливостями, це потребує створення класу середніх і малих автобусів так званого типу Low-entry. Понад 60% довжини салону в таких автобусів має рівень підлоги завтовшки 340–360 мм (вхід без сходинок), а зона ведучого моста непортального типу та задній звис характеризуються переходом на 1–2 сходинки з підйомом підлоги на 250–400 мм та формуванням відповідної несівної ферми. Така нова для вітчизняного ринку структура каркаса є проміжною між повністю низькопідлоговими конструкціями великих міських автобусів (де використовуються осі портального типу) та класичними каркасами автобусів місцевого і приміського сполучення (з домінуючою нижньою несівною фермою кузова), а тому потребує проведення аналізу напружено-деформованого стану в середньому класі автобусів типу Low-entry із загальною довжиною від 8 до 10 м.

Аналіз відомих досліджень. В умовах сучасного автобусобудування, окрім цінових показників вартості продукції, дедалі більшу роль відіграють експлуатаційні характеристики автобусів, насамперед, надійність та довговічність конструкції, максимально раціональне використання внутрішнього об'єму салону, його відповідність вимогам безпеки та комфорту. При гострій ринковій конкуренції схожі технологічні можливості вітчизняних підприємств транспортної галузі, обмеження бюджету та термінів проведення проектувальних робіт стимулюють до побудови нової моделі автобуса на базі існуючих рішень класичної компоновки кузова автобуса без використання низькопідлогової схеми. Змішана компоновка кузова із низьким рівнем підлоги міжосьової і передньої частини у найпопулярнішому середньому та малому класі автобусів ще не досліджена в умовах вітчизняного автобусобудування і може бути реалізована лише при грамотній і економічно ефективній побудові етапів проектувальних робіт конструкторських бюро з використанням програмних пакетів для попереднього аналізу та розрахунку виробів [1]. Такий спосіб дає змогу

уникнути значних помилок та недоліків конструкції з погляду їх міцнісних характеристик та оптимізувати параметри за допомогою «важких» програмних пакетів [2].

Постановка задачі. Метою цієї статті є проведення аналізу міцності просторової конструкції кузова автобуса середнього класу типу Low-entry, визначення запасу міцності каркаса із можливістю проведення подальшої оптимізації за рівномірністю при скороченні спорядженої маси шляхом підбору інших профілів та альтернативних їх сполучень у вузлі.

Основний матеріал. Сучасний ринок програмного забезпечення для проведення досліджень на міцність представлений великою кількістю розрахункових комплексів, основаних на використанні методу кінцевих елементів за вже спроектованою об'ємною моделлю, проте автором застосовано розрахунковий комплекс для попередніх розрахунків стрижневих конструкцій із автоматизованим переведенням у тривимірну модель [3]. За допомогою цього комплексу є можливість змоделювати і розрахувати тривимірну модель конструкції каркаса кузова, що складається із стрижнів довільного поперечного перерізу, оболонок і об'ємних деталей. За необхідного навантаження і закріплення з'єднання елементів у вузлах може бути як жорстким, так і шарнірним [4]. У результаті виконаних системою розрахунків одержимо необхідну для нас інформацію для окремих стрижнів і всієї конструкції:

- навантаження на кінцях елементів конструкції;
- карту напружень за елементами конструкції;
- загальну деформацію тривимірної конструкції;
- карту розподілу напружень у довільному перетині стрижня;
- епюри згинних і крутних моментів, поперечних і осьових сил;
- коефіцієнт запасу стійкості конструкції за Ейлером;
- напружено-деформований стан конструкції при великих переміщеннях.

Каркас кузова низькопідлогового автобуса подамо тривимірною стрижневою моделлю, яка містить такі типи елементів: стрижень, балка (розтягування/стиснення, згин, кручення), ферма (розтягування/стиснення), 4-кутова пластина, 3-кутова пластина, 8-вузловий октаедр, 6-вузлова трикутна призма, 4-вузловий тетраедр. Кожен елемент конструкції має власну локальну систему координат. Для зручності всі системи координат правосторонні. Орієнтація локальних систем координат для різних елементів показана на рис.1. Систему координат у вузлі можна орієнтувати довільно, повертаючи її в просторі (рис.1). У локальній системі координат задаються такі атрибути вузла: закріплення мір свободи, пружні закріплення, шарніри, переміщення у напрямі фіксованих ступенів свободи. Система координат стрижня орієнтована завжди таким чином, що вісь X направлена вздовж його осі. Орієнтація перетину стрижня жорстко прив'язана до його системи координат. Окрім цього, навантаження на стрижень також задаються в локальній системі координат стрижня.

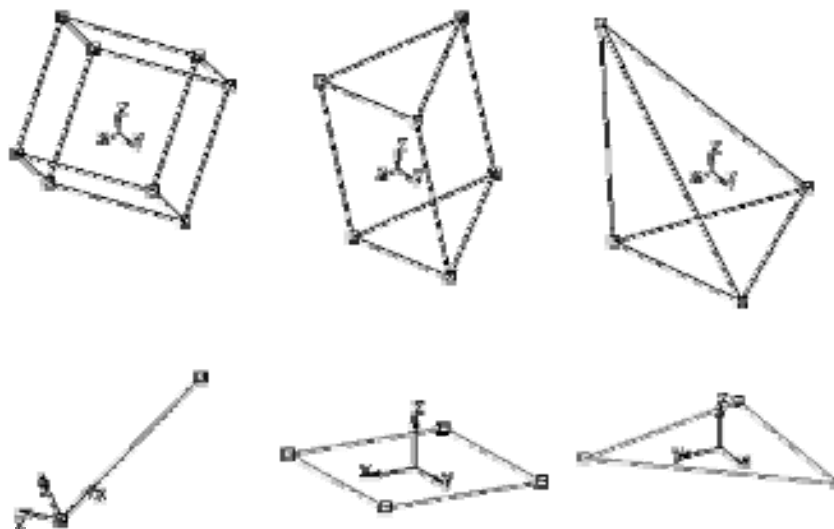


Рис. 1. Системи координат об'ємних елементів

Система координат пластини орієнтована так, що вісь Z напрямлена за нормаллю до площини пластини, вісь X паралельна одній із сторін пластини, а вісь Y доповнює систему векторів до правосторонньої. У локальній системі також задається нормальне розподілене навантаження на пластину. Система координат об'ємного елемента збігається з глобальною системою координат.

Міри свободи: вузол має шість мір свободи, стрижень – 12 мір свободи, пластина – 18 або 24. Об'ємні елементи мають 12, 18 або 24 міри свободи, по три (лінійні переміщення) у кожному вузлі (рис. 2).

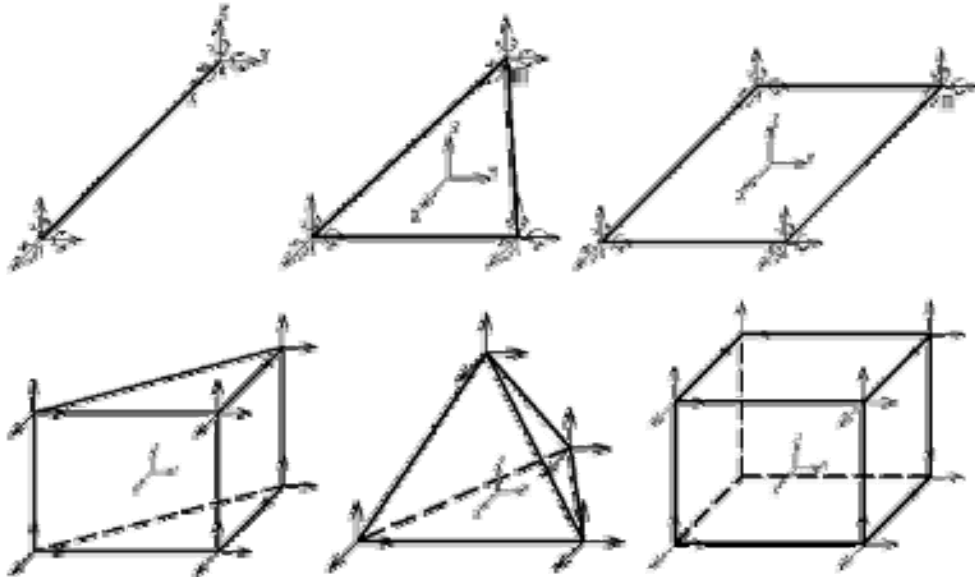


Рис. 2. Міри свободи пластини та об'ємного елемента

Враховуючи специфіку низькопідлогової схеми зварного кузова автобуса середнього класу типу Low-entry, у розрахунку прийняті такі профілі стрижнів: 63x32x2.5, 63x45x3, 80x40x3, 100x54x4 ГОСТ 12336-66 [5], а тривимірна стрижнева модель каркаса, створена на основі ескізних креслень, представлена на рис. 3.

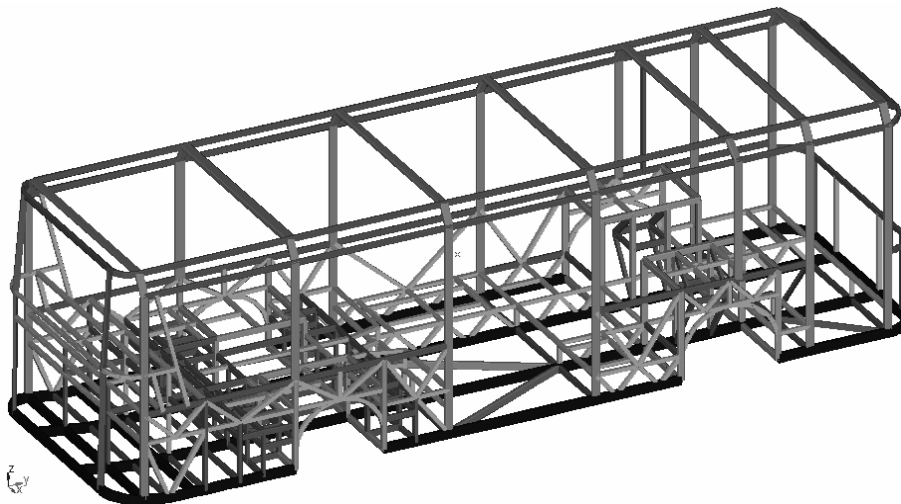


Рис. 3. Просторова конструкція каркаса кузова міського автобуса типу Low-entry

Середній клас автобусів представлений моделями із габаритною довжиною від 8 до 10 м, очевидно, що із збільшенням кількості прольотів, які складаються із поперечин боковин, шпангоутів даху і структурних елементів основи, зростає загальна кількість елементів і вузлів у

конструкції. Закономірно, що кожний додатковий проліт додає від 20 до 50 вузлів, а відтак загальна кількість вузлів у конструкції коливається в діапазоні 3200–3900 відповідно до довжини автобуса. Досліджувана модель автобуса завдовжки 8340 мм складається із семи поперечних та чотирьох повздовжніх елементів даху, сполучених у вузли із боковинами і каркасом передньої та задньої частини. Передня частина, накопичувальна площадка і задня припіднята зона складаються із майже втричі більшої кількості елементів і вузлів [4]. За цією стрижневою комбінацією просторова конструкція кузова автобуса налічує 3684 вузли. Обмеженнями на переміщення каркаса кузова в розрахунках є точки кріплення підвіски автобуса. Конструктивно кріплення передньої підвіски виконано у вигляді кронштейна, привареного до каркаса арки переднього колеса з однією площадкою кріплення верхнього фланця пневмоелемента. Специфіка встановлення підвіски заднього моста передбачає наявність двох пневмобалонів, а відповідно – і двох площин кріплення верхніх фланців пневмобалонів до каркасу кузова. Прикладені в'язі для коліс правої сторони автобуса позначені крапками на рис. 4.

Кручення є одним з видів статичного розрахунку і полягає в імітації повної зупинки автобуса або його руху з малою швидкістю при переїзді через нерівності дороги (горби, вибоїни, бордюри, ями і т.д.), в результаті чого одне з коліс автобуса втрачає контакт із поверхнею.

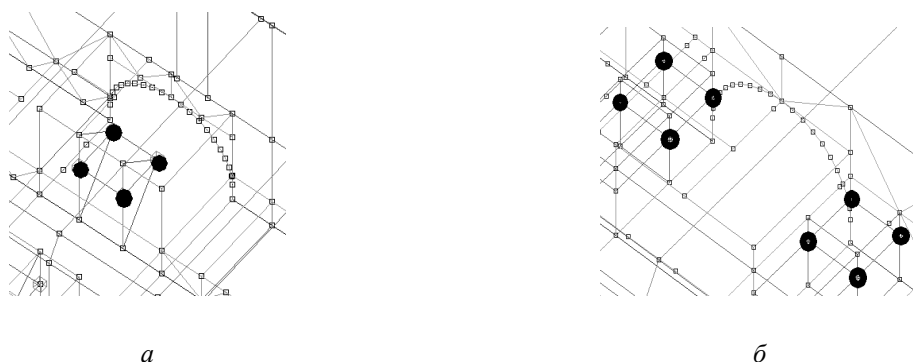


Рис. 4. Точки кріплення підвіски автобуса:
а – передньої частини автобуса; б – задньої частини автобуса

У цьому випадку все навантаження автобуса сприймають тільки 3 колеса. Вивішеним колесом може бути одне з коліс найменш завантаженої осі (у розглядуваному автобусі – передньої). Оскільки відносно довготривале вивішення одного з коліс автобуса може відбутись при дуже малій швидкості або при його повній зупинці, то для цього виду розрахунку коефіцієнт динамічності не враховується.

При розрахунку на згин прикладаються всі можливі навантаження за їхніми максимальними значеннями з врахуванням коефіцієнта динамічності. Враховуючи специфіку експлуатації автобусів, особливості їх навантаження, коефіцієнт динамічності було прийнято 2.5.

Висновки. За результатами розрахунків на згин найбільше значення напружень величиною 169,8 МПа зафіксовано у задній частині (рис. 5). Найбільше значення напружень при крученні становило 82,26 МПа. Близьке до нього значення має ряд стрижнів (стійок та поперечин) в центральній та задній частинах автобуса (рис. 6). Враховуючи, що максимально допустиме напруження становить 200 МПа, забезпечено необхідний запас міцності, але із збільшенням навантажень чи зміни вагових параметрів спроектована конструкція потребує оптимізації у вигляді підбору інших перерізів для стрижнів та альтернативних комбінації сполучень їх у вузли. При обох видах розрахунків задня частина отримала дещо вищі напруження, що є результатом значних навантажень від силових агрегатів автобуса (рис. 6).

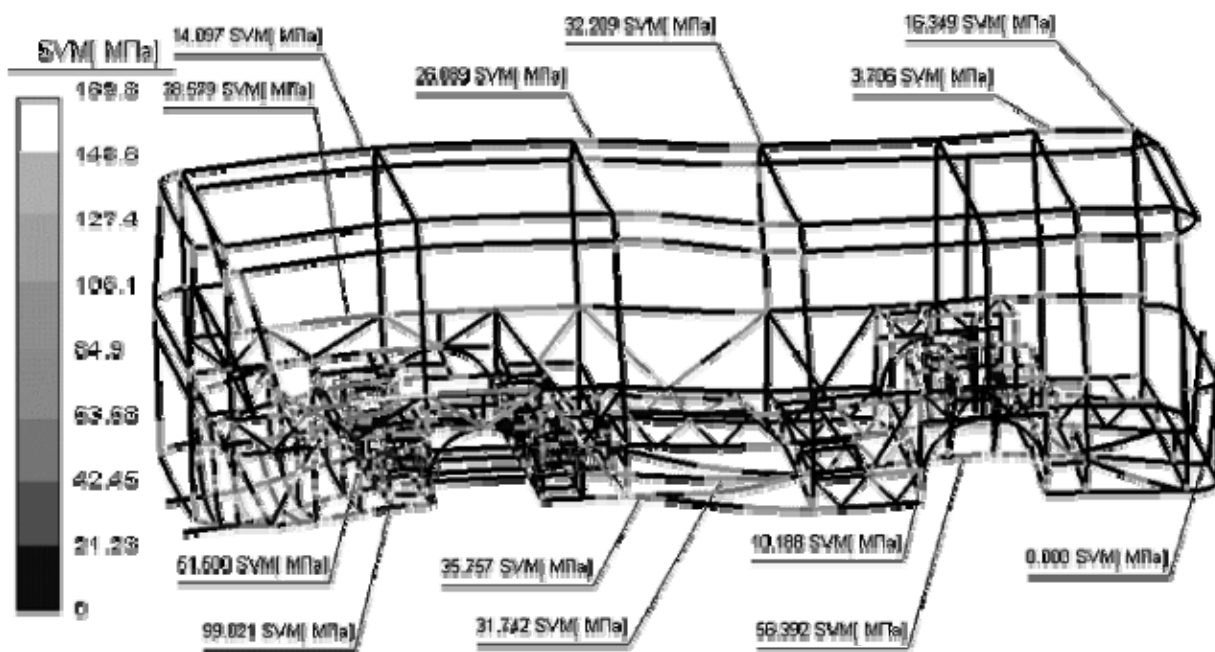


Рис. 5. Значення напружень каркаса автобуса типу Low-entry при розрахунку на згин

Найбільше значення переміщень – 5,8 мм також виявлено в задній частині – коли переміщення передньої частини становлять близько 4 мм. Переміщення стрижнів, що є вертикальними стійками даху та проїмами вікон одночасно, є допустимим (становить менше 3,5 мм) і гарантує безпечне використання вікон у процесі експлуатації автобуса. Отриманий запас за міцністю у передній частині дає змогу попередньо гарантувати безпечність лобового удару. Максимальні переміщення вузлів також знаходяться у межах норми, що забезпечує достатню крутильну жорсткість, яка є важливим параметром для сумісної роботи силових агрегатів. У цій стрижневій конфігурації автобус може успішно експлуатуватись на другорядних дорогах з нерівним дорожнім покриттям.

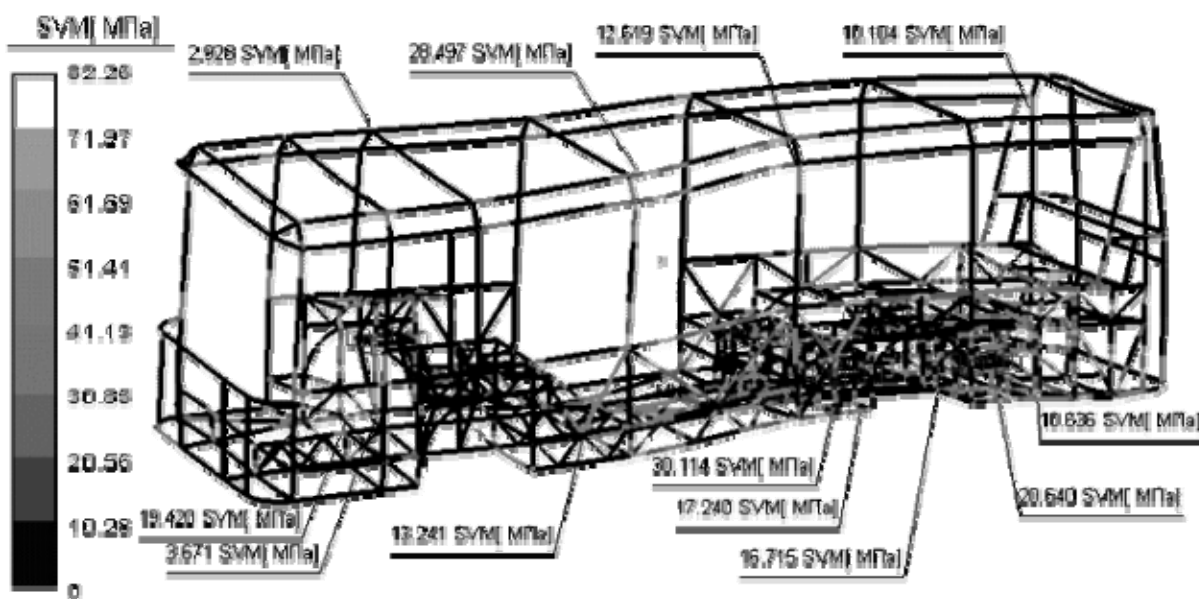


Рис. 6. Значення напружень каркаса автобуса типу Low-entry при розрахунку на кручення

Певної уваги з боку оптимізації поперечних перетинів поздовжніх стрижнів потребують передні колісні арки. Можливим є підсилення центральної секції автобуса з боку дверей та водія. Асиметричність каркаса автобуса при структурно різних боковинах потребує детальнішого аналізу середньої секції даху низькопідлогової частини автобуса, проте і за цією стрижневою комбінацією міцнісні характеристики знаходяться в допустимих межах.

Завдяки представленому рівню попереднього аналізу з'являється можливість завчасного попередження виникнення перенавантажених зон із недопустимою величиною переміщень, а також недовантажених зон із надлишком матеріалу, що веде до збільшення спорядженої маси автобуса. Попередній етап аналізу каркаса кузова автобуса є важливим кроком на шляху досягнення рівномірності кузова автобуса, а отже, його довговічності і комерційної ефективності експлуатації.

1. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448с. 2. Басов К.А. ANSYS справочник пользователя. – М.: ДМК пресс, 2005.-640с. 3. Шелофаст В., Чугуновой Т.Б. Новые возможности инженерного проектирования в системе АРМ WinMachine 8.5. – М.: Изд. АПИМ, 2000. – 211с. 4. Потемкин А.В. Трехмерное твердотельное моделирование. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 296с. 5. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. – Т. 2. – М.: Машиностроение, 2001 – 864с.

УДК 621.825

А.І. Головатий, Я.М. Новіцький*

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра САПР,
*кафедра деталей машин

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАЗИТНИХ КОЛИВАНЬ НА КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ МЕМС ГІРОСКОПІВ

© Головатий А.І., Новіцький Я.М., 2008

Розглянуто проблеми, які виникають в конструкціях МЕМС гіроскопів внаслідок дії паразитних коливань робочого органа гіроскопа, наведено способи розрахунків параметрів коливань для їх врахування при проектуванні параметрів конструкції та шляхи зменшення амплітуд.

Problems which arise up in constructions of the MEMS gyroscopes as a result of action of vermin vibrations of working gyroscope are considered, the methods of calculations of parameters of vibrations for their account at planning of parameters of construction and ways of diminishment of amplitudes are resulted.

Вступ. Розвиток технологій мікроелектроніки, методів глибокого травлення та тримірного формоутворення привів до створення малогабаритних і дешевих мікроелектромеханічних пристроїв (МЕМС).