

О.З. Горбай, К.Е. Голенко, М.С. Козак
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автомобілебудування

ОЦІНЮВАННЯ МІЦНОСТІ КУЗОВІВ МІКРОАВТОБУСІВ ЗА УМОВ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ

© Горбай О.З., Голенко К.Е., Козак М.С., 2010

Проведено комп'ютерне моделювання та аналіз поведінки каркаса кузова мікроавтобуса для підтвердження відповідності міцності його верхньої частини нормативним документам при отриманні офіційного затвердження типу транспортного засобу. Проаналізовано існуючі методи випробувань міцності верхньої частини кузовів автобусів і на основі одного з них визначено найімовірніші зони появи критичних значень напружень та деформації верхньої частини кузова мікроавтобуса А 049 ВАТ “Укравтобуспром”.

A computer simulation and analysis of behavior roofing of minibus is conducted for confirmation of accordance of durability to normative documents at the receipt of official verification the type of vehicle. The analysis of existent methods of tests of durability roofing of busses is given and on the basis of one of them certainly the most credible areas of appearance of impermissible values of tensions and deformations of roofing of minibus model A 049 produced by Ukrbusprom”.

Постановка проблеми. Зростаюча кількість жертв внаслідок незбереження життєвого простору під час ДТП в мікроавтобусах підтверджує тенденції до поширення дії правил UN/ECE R66 [1] теж на цей клас автобусів. Для мікроавтобусів категорії М2 загальною пасажиромісткістю до 22 осіб (використовуються переважно як маршрутні таксі) пасивна безпека перевіряється за правилами ДСТУ UN/ECE R52-01[2] для створення передумов забезпечення виживання і мінімізації наслідків травмування пісажирів під час і після ДТП. Для того, щоб автобус відповідав складним комплексним вимогам безпеки, необхідно провести певну кількість експериментальних випробувань, і їх результати повинні при отриманні офіційного підтвердження типу транспортного засобу забезпечити зокрема відповідність міцності її верхньої частини кузова існуючим міжнародним нормативним документам. З метою здешевлення таких випробувань доцільно розробити еквівалентні експериментальні і розрахункові методи перевірки міцності верхньої частини кузова для різних класів автобусів, оскільки останні між собою значно відрізняються.

Аналіз відомих досліджень. Обмеження бюджетних витрат та термінів проведення проектувальних робіт стимулюють при отриманні офіційного підтвердження типу транспортного засобу до пошуків методів здешевлення проведення всіх етапів випробувань. Найдорожчими видами випробувань автобусів належать підтвердження відповідності міцності верхньої частини кузова існуючим міжнародним нормативним документам. Кожний модельний ряд одноповерхових транспортних засобів категорій М2 і М3 для перевезення 22 сидячих чи теж стоячих пасажирів, повинен бути випробуваний на відповідність одним з методів, обраним заводом-виробником або відповідним компетентним органом.

Існують такі типи випробувань з перевірки міцності верхньої частини конструкції кузова: перекидання повнокомплектного екземпляру типоряду [3, 4], перекидання секцій або секції кузова (характерної для модельного ряду, представленого типоряду) [5], навантаження секції або секцій

кузова на маятниковому копрі, розрахунковим методом [6, 7]. Без сумніву, найдостовірніші дані стосовно міцності верхньої частини конструкції кузова отримують при випробуванні повнокомплектного екземпляру, але останній розрахунковий метод дає змогу уникнути значних помилок та недоліків конструкції вже на етапі проектних робіт.

Постановка задачі. Метою цієї статті є проведення аналізу міцності конструкції верхньої частини кузова мікроавтобуса ТУР А049 на відповідність нормативним вимогам ДСТУ UN/ECE R52-01 з проведенням подальшої оптимізації за рівномірністю каркаса при скороченні спорядженої маси шляхом підбору профілів та альтернативних варіантів їх сполучень у вузли.

Основний матеріал. Одними з шляхів підвищення економічної ефективності використання автобусів є зниження їх власної маси та покращання їх ресурсних показників і довговічності кузовів. Для вирішення питань покращання корозійної стійкості в сучасних технологічних умовах автобусного виробництва все частіше проводять заміну на значній площі кузова традиційної обшивки сталевими листами, що приварюються до трубних профілів, на склопластикові панелі або облицювальні листи з оцинкованої сталі, що натягуються і приклеюються по контактних площинах до профілів.

Що стосується зменшення ваги кузова, цього досягають, оптимізуючи вагові параметри, застосовуючи нові матеріали, а також раціоналізуючи загальноприйняті традиційні конструктивні схеми силового каркаса за умови збереження параметрів регламентованого життєвого простору в ньому. Останні регламентуються правилами ЄЕК ООН, ДСТУ, визначаються за величиною мінімально можливого залишкового простору в об'ємі пасажирського салону, отриманого шляхом переміщення по прямій чи прямим лініям поперечної вертикальної площини заввишки 750 мм від точки "R" так, щоби вона переміщувалась від "R" зовнішнього заднього сидіння через "R" кожного зовнішнього проміжного сидіння до "R" зовнішнього переднього пасажирського сидіння. Точка "R" визначається за методикою [8] і незалежно від розміщення площин підлоги всередині автобуса "R" розміщена на відстані 500 мм вище рівня підлоги під ногами пасажирів та на відстані 100 мм вперед від спинки сидіння на центральній лінії зовнішніх сидінь. Загальний об'єм життєвого простору визначається відносно просто знизу і зверху, а саме – знизу площиною, паралельною підлозі, що проведена через точки "R", згори – площиною, паралельною нижній площині на відстані 750 мм. Площина об'єму життєвого простору з внутрішнього боку салону є специфічною, оскільки має прив'язку до параметрів салону лише єдиною лінією, утвореною при її перетині з нижньою площиною життєвого простору. Ця лінія утворюється точками після проведення через точку "R" кожного з крісел пасажирів, відрізків прямих паралельних підлозі автобуса і перпендикулярних до бокової стінки, обмежених відстанню 100 мм від внутрішньої обшивки бокової стінки салону. Кут нахилу цієї площини відносно горизонтальної площини є постійним і не залежить від кута нахилу бокових стійок. З врахуванням даних вимог зона безпеки пасажирського салону досліджуваної на міцність верхньої частини каркаса кузова в рамках даної публікації моделі автобуса А-049 ВАТ "Укравтобуспром" представлена на рис.1.

Ймовірні експериментальні варіанти перевірки каркаса даху транспортного засобу на міцність, які представлені на рис.2, поділяються на динамічні 2 а, б і статичні 2 в, г випробування. До динамічних належать варіанти, коли кузов вдаряють в один з кутів, утворених дахом і боковою стороною під певним наперед визначеним кутом рівномірно розподіленим по довжині вантажем, або автобус в спорядженому стані перевертають на бік з естакади висотою 800 мм [1]. Вони представлені на перших двох позиціях рисунка і при таких видах випробувань кузов автобуса зазнає серйозних пошкоджень і надалі його експлуатувати неможливо. Одним з варіантів отримання офіційного підтвердження типу транспортного засобу стосовно міцності верхньої частини конструкції кузова є розрахунковий метод. Оскільки вплив деяких факторів при випробуваннях згідно з методологією проведення динамічних випробувань на перекидання на відповідність ДСТУ UN/ECE R66-02 [1] описано в попередніх роботах авторів розглянемо методологічні основи проведення експеримен-

тального і розрахункового методів досліджень статичних випробувань з дотриманням виконання умов правил ЄЕК ООН R 52 [2] для мікроавтобусів.

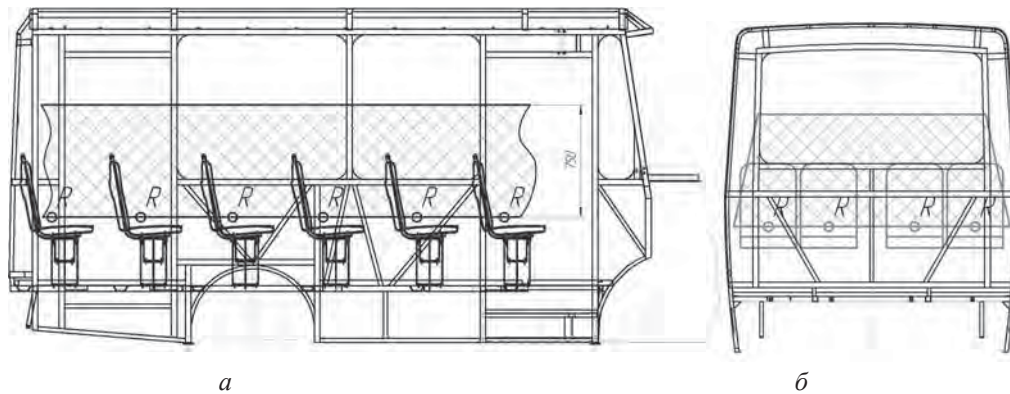


Рис.1. Об'єм регламентованого залишкового простору салону автобуса: а – поздовжній площині, б – переречній площині

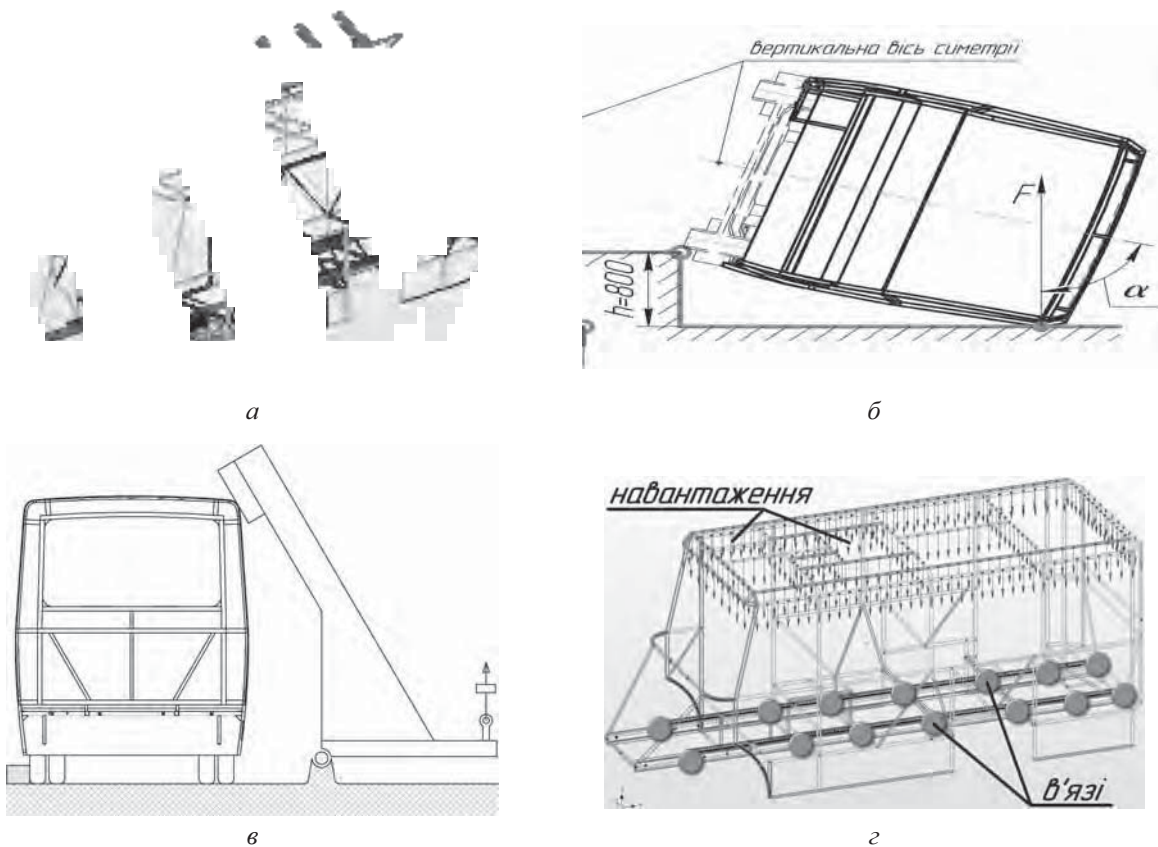


Рис.2. Динамічний (а) і (б) та статичний (в) і (г) методи випробувань міцності верхньої частини кузова автобуса

На основі апарату енергетиченої теорії міцності розроблено метод такої оцінки, що не передбачає руйнації як всього кузова, так і його складових. Метод передбачає три етапи проведення робіт: експериментальне дослідження міцності кузова при напруженнях матеріалу в пружній зоні; аналіз кінематики переміщень частин конструкції за умови, що вони виготовлені з матеріалів з лише пластичними властивостями; аналіз величини енергії деформації кузова автобуса за умови, що конструкція виконана з пружно-пластичного матеріалу. З метою отримання інформації про напружено-деформований стан каркаса навантаження здійснюють під час роботи матеріалу в пружній зоні або до граничного стану до втручання в регламентований залишковий

простір. Одночасно фіксують параметри навантаження, переміщення і напруження в елементах шпангоута і зміни діагональних розмірів переднього і заднього віконних проїмів кузова. Заміряють висоти розміщення пластичних шарнірів на кожній шпангоутній рамці, переміщення стійки на рівні 1250 мм, переміщення боковини на висоті 500 мм від підлоги кузова та відповідні напруження. Граничними умовами призупинення збільшення статично прикладеного навантаження є досягнення в досліджуваних шпангоутах навантаження 0,8 межі текучості матеріалу або коли діагональний розмір переднього або заднього віконних проїмів змінюється на 3 мм [9]. Цей метод перевірки в першій частині, коли випробування проводяться до початку настання пластичних деформацій конструкції, є економічно вигідним, але потребує наявності декількох експериментальних зразків, а внесення відповідних змін до конструкції даху автобуса потребують наступного експериментального зразка або трудомісткої заміни елементів каркаса даху з/без переміщення їх по довжині.

Для цього виду випробувань при підтвердженні типу на початкових етапах, як правило, використовують спрощені моделі і методи, що ґрунтуються на основі уявлень будівельної механіки. На наступних етапах у процесі проектування використовують складніший математичний апарат, одним з яких може бути розрахунок кузова автобуса методом кінцевих елементів (МКЕ). Напружено-деформований стан таких складних конструкцій, як каркас кузова, аналізують за уточненими комбінованими моделями, які містять ряд даних за стрижневими і пластинчастими елементами. Залежності від виду прикладання еквівалентного навантаження в отриманні результатів можуть брати участь ряд програмних комплексів, серед яких ANSYS, ADAMS, NASTRAN, COSMOS, STAAD, Altair Hyper Works, SCAD, MicroFE, GIFTS, LS-DYNA, APM WinMachine і інші. Проведемо короткий аналіз потенційних можливостей частини комплексів з вищезазначеного програмного забезпечення.

ANSYS – це кінцево-елементний пакет, що охоплює максимальну кількість явищ фізичної природи: міцність, теплофізику, гідрогазодинаміку та електромагнетизм; забезпечує інтеграцію та двосторонній обмін даними з більшістю CAD/CAE/CAM-систем. Він дає змогу працювати з новоствореними геометричними моделями в його оболонці, а також імпортувати об'єкти, попередньо побудовані в інших 3D-продуктах. У програмі використано спеціальні кінцеві елементи, що мають, окрім переміщень та поворотів у вузлах, ступені вільності за температурою, напруженням, а також можливість зміни типу елемента. Завдяки цій особливості, реалізовано можливість проведення комплексного складального аналізу, що дає змогу провести розрахунки з врахуванням особливостей перебігу ряду фізичних явищ.

ADAMS – визначення параметрів руху системи, що складається як із абсолютно жорстких ланок, так і з рухомих; отримання значень зусиль у з'єднаннях, реакцій в опорах, зусиль на елементи керування, переміщень та кутів повороту у шарнірах, з можливістю задавати вимушені коливання та рухи елементів системи з прикладанням активних зовнішніх сил, моментів. Дає можливість проводити статичний, динамічний та кінематичний аналіз системи з імпортованими об'єктами форматів IGES, STEP, DXF, DWG, STL та твердотілими елементами Parasolid.

GIFTS – процесор пакета, який проводить лінійний розрахунок моделі зі стрижневих елементів із заданим перерізом та три-чотирикутних пластинчастих елементів, але не вирішує динамічних контактних завдань, кінематики руху тіл, великі пластичні деформації та має значні обмеження щодо параметрів моделі та об'єму введеної інформації.

HyperMesh фірми Altair Computing дає змогу істотно скоротити процес створення кінцево-елементної моделі під час роботи з об'єктами зі складними геометричними формами і здійснити імпорт цієї геометрії з різних CAD-комплексів через формати IGES, VDAFS, PDGS, DES, INCA, DXF, STL та інші ефективні засоби автоматичної генерації сіток та використовувати один процесор для робіт з різним забезпеченням.

LS-DYNA є сьогодні найбільш передовим комплексом пакетів, що оцінює безпеку кузовних конструкцій у будь-яких аварійних ситуаціях, при статичному і ударному навантаженні, з врахуванням фізичної і геометричної зміни характеристик конструкції. Пакет дає змогу

враховувати депланацию тонкостінних профілів у процесі руйнування конструкції, оцінюючи безпечність конструкції за всіма критеріями і умовами. При цьому руйнівне навантаження та енергоємність конструкції визначаються в заданому діапазоні їх зміни. Але розв'язання цих практичних задач можливе лише для моделі, що складається з великої кількості кінцевих елементів. Для її створення необхідна відповідна обчислювальна техніка (що може собі дозволити не кожна проектна організація) протягом значного часу. Маючи на меті можливість оперативного внесення до технічної документації змін в конструкцію кузова автобуса із значно меншим часовим і технічним ресурсом для імітації статичних випробовувань розраховано верхню частину каркаса кузова мікроавтобуса А-049 з програмним комплексом на базі APM WinMachine. Він може розрахувати змодельовану тривимірну конструкцію, що складається із стрижнів довільного поперечного перерізу, оболонок і об'ємних деталей при необхідному навантаженні і закріпленні з значно меншою кількістю опорних точок порівняно з програмним комплексом LS-DYNA. Це програмне середовище методу кінцевих елементів для аналізу та побудови тримірних beam-моделей дає змогу отримати:

- карту розподілу напруги у довільному перетині стрижня;
- навантаження на кінцях елементів конструкції;
- карту напруги за довжиною стрижнів і по поверхні пластин;
- епюри згинних і крутних моментів, поперечних і осьових сил і т.д. для окремого стрижня і для конструкції загалом;
- деформацію довільної крапки;
- напружено-деформований стан конструкції при великих переміщеннях (геометрично нелінійне завдання);
- частоти і форми власних коливань конструкції;
- зміну напружено-деформованого стану конструкції під дією довільно змінних у часі навантажень.

Каркас кузова мікроавтобуса А-049 подано тривимірною стрижневою моделлю, яка містить такі типи елементів: стрижень, балка (розтягування/стиснення, згин, кручення), ферма (розтягування /стиснення), 4-кутова пластина, 3-кутова пластина. Кожен елемент конструкції має власну локальну систему координат. Для зручності прийнято всі системи координат правосторонніми. Тривимірна стрижнева модель каркаса, створена на основі ескізних креслень, складається з 662 стрижнів, 792 пластин (товщина листа облицювання = 1 мм), 1093 вузлів, 271 вузлових навантажень, 16 опор (фланці кріплення лонжеронів основи підлоги з каркасом кузова) при 9 типах сортаменту труб і представлена на рис. 3.

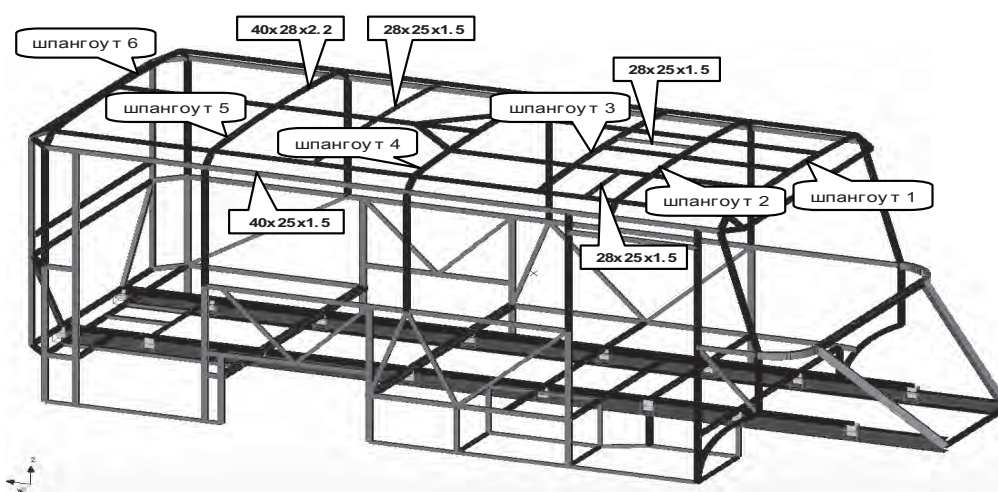


Рис. 3. 3D-модель каркаса кузова автобуса А-049 ВАТ "Укравтобуспром" з сортаментом труб

Досліджувана модель складається із шести поперечних та трьох поздовжніх елементів даху, сполучених у вузли з боковинами і каркасом передньої та задньої частини. Після аналізу декількох варіантів виконання каркаса в його передню частину введено додатково два поздовжні елементи. Каркас даху з лівої сторони зав'язаний у вузлові з'єднання з чотирма віконними прорізами, а з правої є лише два прорізи та пасажирські й аварійні двері. До розрахункової моделі закладено матеріал – сталь 10 і вага каркаса кузова становитиме 424,5 кг. В одному з секторів каркаса даху передбачено аварійно-вентиляційний люк. Тому для розрахунків площу даху умовно поділено на чотири сектори, і сумарне навантаження 34335 Н розподілено по площині ферми даху так, як це наведено у таблиці.

Розподіл загального навантаження по секторам

№ сектора	1	2	3	4
К-ть точок прикладання навантажень	65	71	86	49
Питоме навантаження на сектор, Н	150,9	138,2	114,1	100,1
Сумарне навантаження на сектор, Н	9810	9810	9810	4905

На основі отриманих карт напружень запропонованих варіантів каркасів після оптимізації мінімізовано максимальні напруження до 324 МПа та виявлено, що найбільше навантажені 4 і 5 шпангоути та стійки середньої частини каркаса. Максимальні величини напружень зафіксовані на кутах, де проведена корекцію підбору профілю труб. Розподіл напружень за довжиною шпангоутів даху кузова автобуса моделі А-049 наведено на рис. 4.

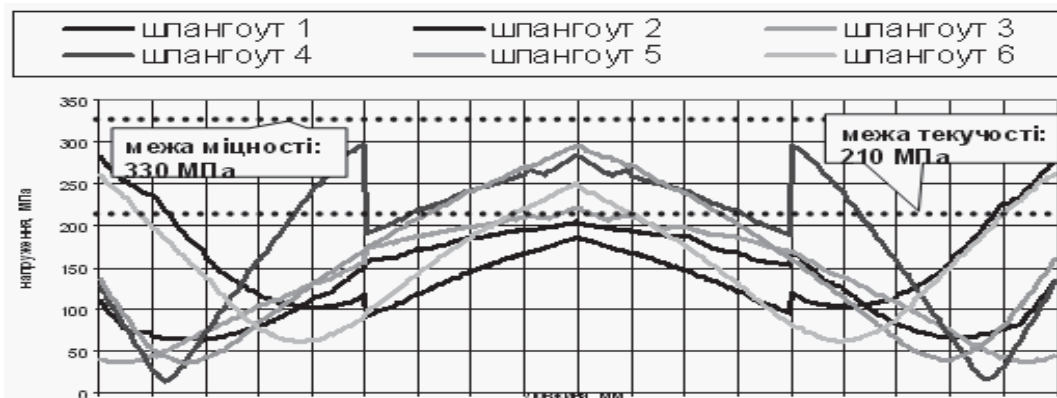


Рис.4. Графік розподілу напружень за довжиною шпангоутів даху кузова автобуса моделі А-049

У двох із запропонованих варіантів спостерігалось перевищення межі текучості сталі 10 в середній частині 3, 4, 5 шпангоутів, задній і середній стійках лівої та середній стійці правої сторони. Як інтуїтивно передбачалося, сектор, в якому знаходиться аварійний люк, має найбільшу кількість точок з найвищою напруженістю за шпангоутами. Картою напружень каркаса по межі текучості виявлено також відносно високий рівень напружень в місцях фіксації каркаса кузова до лонжеронів. Наближення до граничних значень межі міцності зафіксовано на середині шпангоута 5 – 296,1 МПа, верхній точці кріплення 3-ї стійки лівої сторони – 298,2 МПа, правого заднього кута аварійного люка 284,2 МПа.

Для вибраного варіанта при прикладанні по площині ферми даху сумарного навантаження величиною 34335 Н він максимально прогнеться в другому і третьому секторах. Максимальна величина прогину 40, 69 мм зафіксована на лівій частині другого сектора (рис.5).

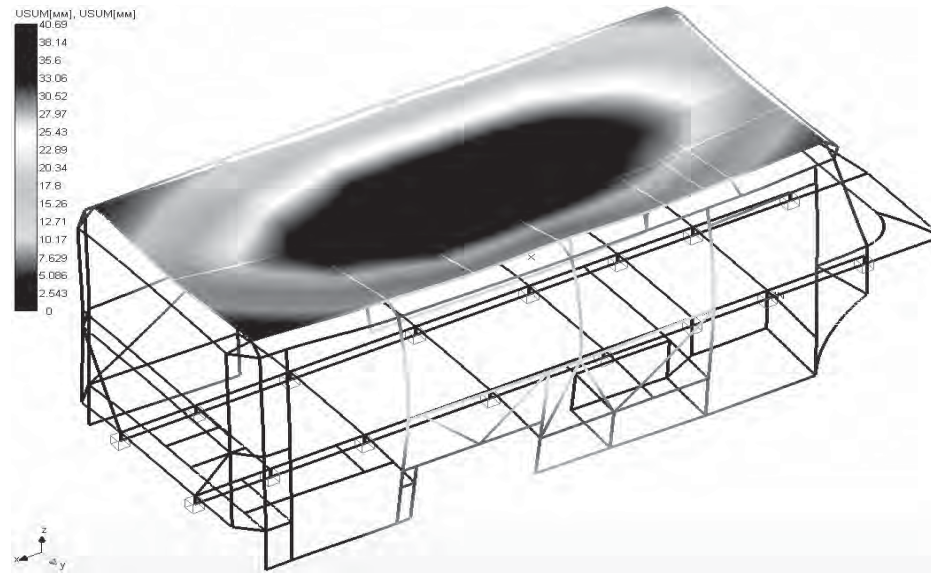


Рис. 5. Карта деформацій каркаса кузова автобуса моделі А 049

Зменшити навантаження до 224 МПа можна, застосувавши схему, наведену на рис.6, з Х-подібними напрямками розміщення поздовжніх елементів.

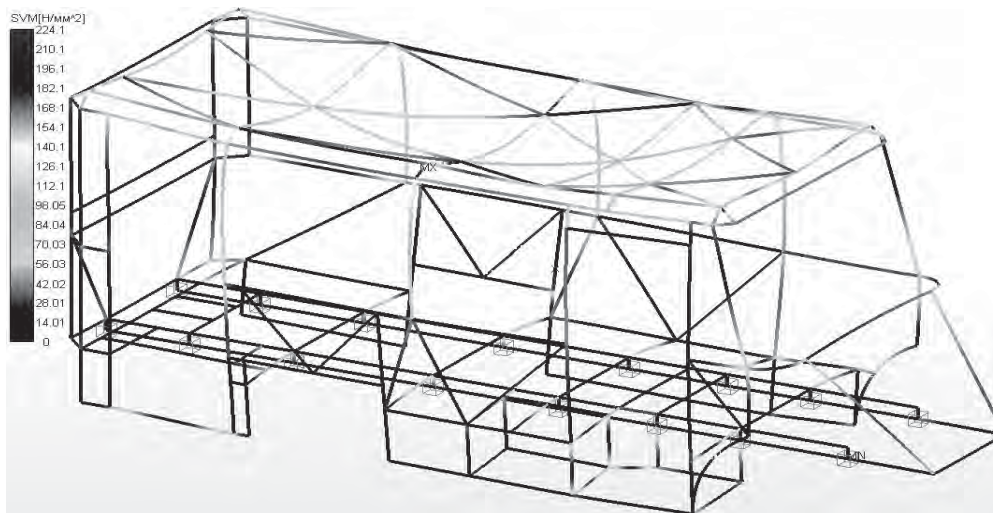


Рис. 6. Карта напружень каркаса кузова автобуса моделі 049

Результати досліджень:

- загалом рівень напружень по фермі даху знаходиться в допустимих межах та не перевищує межу міцності матеріалу виготовлення (Сталь 10);
- конструкцію ферми даху загалом можна визначити як успішну, враховуючи мінімальний рівень напружень (у межах 170 МПа), зафіксованих на стику надвіконного бруса з центральними шпангоутами;
- завдяки обхідним стрингером скоротився рівень напружень даху (біля центрального люка) нижче межі текучості, а також досягнуто ступінчастого характеру розподілу напружень за довжиною шпангоутів;
- ступінчатий характер розподілу напружень за довжиною шпангоутів у центральній частині забезпечує нормальну роботу люка даху;
- конструкція каркаса кузова автобуса А 049 витримує (не руйнуючись) рівномірно розподілене по даху навантаження, яке дорівнює повній масі автобуса (3500 кг);

– каркас кузова автобуса моделі А 049 “Укравтобуспром” за міцністю відповідає вимогам ДСТУ UN/ECE R 52-01:2005.

1. 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). 2. ДСТУ UN/ECE R52-01:2005 Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження маломісних колісних транспортних засобів категорій M_2 та M_3 стосовно їхньої загальної конструкції. 3. Matolcsy, M. A grave bus rollover accident and its lessons. Proc. of IAT'03 Conference on Innovative automotive Technology, Koper, Slovenia, 2003. p. 525-533. 4. Matolcsy M. Bus research and development at AUTÓKUT Research Institute, Hungary Conf. On Design, Construction and Operation of PSV-s. Cranfield (1977) ImechE, UK. Paper No. C145/77 p.113-138. 5. Mayrhofer E., Steffan H., Hoschopf H. ENHANCED COACH AND B US OCCUPANT SAFETY Graz University of Technology, Vehicle Safety Institute, Austria Paper Number 05-0351 <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0351-O.pdf> 6. Elitok K. Bus Rollover Analysis with LS-DYNA. www.technet-alliance.com_Dyna_Bus_Rollover_au_IP_1-05.pdf. P.32-335. 7. Голенко К.Е., Горбай О.З., Крайник Л.В. Аналіз відповідності правилам ЄЕК ООН №66 каркасу кузова автобуса типу LOW-ENTRY / Сільськогосподарські машини: Зб. наук. статей. – 2008. – Вип. 17. – С. 14–22. 8. ГОСТ 28261-89 Автотранспортні засоби. Порядок визначення положення точки Н і фактичного кута нахилу спинки сидіння посадкових місць водія та пасажирів. 9. Калмыков Б.Ю., Овчинников Н.А. Критерии оценки прочности кузова автобусов // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. – 2008. – №7 (125). – С.252–254.

УДК 621.01

В.М. Гурський, І.В. Кузьо, О.В. Ланець

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра механіки та автоматизації машинобудування

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДВОЧАСТОТНИХ РЕЗОНАНСНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНОГО СТОЛА ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТНОСУМІШЕЙ

© Гурський В.М., Кузьо І.В., Ланець О.В., 2010

Наведено конструктивну схему та розрахунок параметрів двочастотного резонансного вібраційного стола з електромагнітним приводом для ущільнення бетоно-сумішей. Промодельовано амплітудно-частотні характеристики і часові залежності коливальних мас та отримано задані двочастотні коливання робочого органу.

The article examined the structural chart and order of calculation of parameters of twofrequency resonance the vibratory table with electromagnetic drive for the compression of concrete mixture. The analysis of gain-frequency descriptions and sentinel dependences of the vibratory masses is conducted and got the set twofrequency vibrations of worker mass.

Вступ. Адаптація вібраційного технологічного обладнання до вимог новітніх нанотехнологій у таких галузях промисловості, як будівельна, переробна, хімічна тощо здійснюється модернізацією традиційного устаткування або створенням нового, із використанням принципів енергоощадності у його роботі [1], які можуть забезпечуватися відповідним розрахунком оптимальних параметрів