

УДК 629.45.027.35

О.З. Горбай, Б.М. Дівеєв, І.В. Коник, М.М. Осташок, Я.М. Пелех
Національний університет «Львівська політехніка»
УДАРОПОГЛИНАЧИЙ ДАХ ДЛЯ ПЕРЕКИДАННЯ АВТОБУСА

Обговорюються проблеми передачі удару пасажиром при перекиданні автобусів. Розглянуто дах, що поглинає удари та включає в себе енергопоглинаючі елементи. Елементи що поглинають енергію, виготовляються у вигляді просторової системи стержнів, що складається з стержнів, з'єднаних між собою ударопоглинаючим композитним стержнем з регульованим поглинанням енергії. Досліджено впливи параметрів ударного поглинача на динамічні властивості автобуса. Визначено оптимальні параметри поглинача удару

Ключові слова: перекидання автобуса, передача удару, поглинач удару, композит, оптимальні параметри

O. Horbay, B. Diveyev, I. Konyk, M. Ostashuk, Y. Pelekh
THE SHOCK-ABSORBING ROOF FOR BUS ROLLOVER

The problems of shock transition by the bus rollover to the passengers are discussed. The shock-absorbing roof of the bus comprising energy-absorbing elements is provided. The energy-absorbing elements are made in the form of a spatial rod system consisting of rods, interconnected by a power absorbing composite rod with adjustable energy absorption. The influences of impact absorber parameters on the dynamic properties for the bus are investigated. Optimal impact absorber parameters are determined

Key words: bus rollover, shock-absorbing element, composite, optimal parameters

О.З. Горбай, Б.М. Дівеєв, І.В. Коник, Н.Н. Осташок, Я.М. Пелех
УДАРОПОГЛОЩАЮЩАЯ КРЫША ДЛЯ ОПРОКИДЫВАНИЯ АВТОБУСА

Обсуждаются проблемы передачи удара пассажирам при опрокидывании автобусов. Рассмотрена крыша, которая поглощает удары и включает у себя энергопоглощающие элементы. Элементы что поглощают энергию, изготавливаются в виде пространственной системы стержней, которая состоит из стержней, соединенных между собой ударопоглощающим композитным стержнем с регулируемым поглощением энергии. Исследовано влияния параметров ударного поглотителя на динамические свойства автобуса. Определены оптимальные параметры поглотителя удара

Ключевые слова: опрокидывание автобуса, поглотитель удара, композит, оптимальные параметры

Вступ. Ступінь пошкоджень транспортного засобу та травматичність пасажирів при аваріях залежить від здатності структури поглинати максимальну кінетичну енергію, зберігаючи при цьому цілісність пасажирського салону. Для забезпечення структурної цілісності транспортного засобу та його здатності поглинати енергію удару, важливо вивчити характер руйнування, щоб зменшити пікові сили та покращити енергетичну здатність поглинання удару.

Аналіз останніх досліджень. Ці фактори можна зменшити за допомогою спеціальних енергопоглинаючих пристроїв. Перекидання автобуса – це одна із серйозних аварій. Риск фатальних наслідків при перекиданні більший від інших випадків. Визначено, що хоч частка аварій з перекиданням автобусів менша, та фатальних наслідків (31%) і серйозних пошкоджень (21%) більше ніж при інших аваріях [1].

З того часу небезпека при перевертанні автобусів лише зростає. Адже зросли швидкості та, особливо, висота автобусів, що сприяє збільшенню сили удару при перевертанні. Загроза для людини при цьому виді аварії навіть подібне до авіакатастроф. У випадку автобуса можливе значне зменшення загрози за допомогою ударозахисних пристроїв (хоча такі пристрої пропонують навіть для літаків).

Відомі різноманітні конструкції протиударних пристроїв Для колісних машин найширше застосування знайшли пристрої, принцип роботи яких полягає у пластичному деформуванні матеріалів, під час якого відбувається поглинання енергії удару за рахунок зм'ягття конструкції [2]. Широко застосовуються композитні матеріали [3]. В останні часи як енергопоглинаючі застосовуються функціонально-градієнтні матеріали [4].

У аварійній ситуації під час зіткнення автомобіля з перешкодою енергія удару поглинається за рахунок пластичної деформації елементів кузова. Такі елементи спеціально передбачені у конструкції і до певного рівня навантаження виконують роль каркаса машини. При збільшенні навантаження понад передбачене порогове значення енергопоглинаючі елементи починають працювати як протиударні пристрої.

Проте, більшість цих пристроїв працює за рахунок сплюснення різного роду балок. Це не дає змоги рівномірно поглинати енергію удару. Не дають вони можливості поглинати енергію удару

при боковому перевертанні автобуса, що часто супроводжується масовим травмуванням пасажирів. Прикладом подібної ударопоглинаючої конструкції може служити ударопоглинаюча ферма для сидіння автомобіля [5] яка містить енергопоглинаючі елементи – стержні. Однак, у даному пристрої немає можливості використання кутових інерційних властивостей стержнів, що могло б значно покращити енергопоглинаючі властивості ферми, також не передбачена можливість регулювання ефективної ударопоглинаючої маси. При цьому ферма не виконує функції несучої конструкції (при навантаженнях менших за критичні), а вся енергія удару поглинається виключно в одному малогабаритному елементі, ефективність поглинання енергії – низька. В даній роботі досліджується новий тип енергопоглиначих пристроїв

Для дослідження механіки руйнування машин розроблено низку моделей [6]. Ці моделі прості, переважно одномасові. Для точнішого результату необхідно розглянути узагальнену дискретно-континуальну розрахункову схему [7-10].

Розрахунок та оптимізація ударопоглинаючого даху. В даному дослідженні поставлено завдання створення ударопоглинаючого даху автобуса, нове конструктивне виконання якого дозволило б підвищити ефективність поглинання енергії удару при боковому перевертанні, зберегти об'єм автобуса і тим самим – рівень безпеки.

Ударопоглинаючий дах автобуса, що містить енергопоглинаючі елементи, де енергопоглинаючі елементи виконані у вигляді несучої просторової стержневої системи, яка складається з несучих стержнів, один з яких шарнірно закріплений до бокової стійки, сполучених між собою енергопоглинаючим композитним стержнем з регульованим енергопоглинанням та ударопоглинаючими муфтами, встановлених в місцях кріплення несучих стержнів. Таке виконання пристрою забезпечує поглинання енергії в разі ударного навантаження несучої конструкції кузова при боковому ударі без істотної його деформації, так як реалізується механізм багатоточкового та керованого поглинання енергії, який характеризується високою ефективністю, дозволяє забезпечити мінімальну просторову деформацію кузова транспортного засобу і таким чином істотно підвищує рівень його безпеки в аварійних ситуаціях. За рахунок зміни площі композитного прошарку та його форми можна керувати процесом розсіяння енергії при адгезивному руйнуванні стержня.

Ударопоглинаючий дах автобуса містить (рис. 1): 1 – енергопоглинаючий композитний стержень, енергопоглинаючі елементи, які виконані у вигляді несучої просторової стержневої симетричної системи, яка складається з несучих стержнів 2, сполучених між собою розпираючим стержнем 3 та з'єднаної з одним ударопоглинаючим композитним стержнем 1 та ударопоглинаючі муфти 5. Ударопоглинаючий дах автобуса приєднується до основної конструкції – кузова автотранспортного засобу, наприклад, автобусу. На рис. 2 зображено конструкцію у деформованому (післяударному) стані.

Ударопоглинаючий дах автобуса працює так, що принцип роботи його передбачає наявність механізму багатоточкового поглинання енергії удару. Під час перекидання автобуса 1 у процесі ударного навантаження, наприклад, лівої стінки 1 (рис. 1) відбувається зім'яття оболонки лівої бічної або правої бічної стійки 4 і подальше переміщення лівого або правого несучого стержня 2, яке викликає переміщення композитного стержня 3, що, в свою чергу, викликає деформацію розтягу композитного стержня 4 (відшарування одного шару від другого) (рис. 2,4) та прокручування ударопоглинаючих муфт 5, зминаючи їх внутрішню забудову, та випучування всієї конструкції даху при повороті відносно шарніру 6 вгору, що суттєво підвищує ефективність поглинання енергії, забезпечує мінімальну просторову деформацію кузова автотранспортного засобу (у напрямку пасажирського салону) та підвищує рівень безпеки в аварійних ситуаціях.

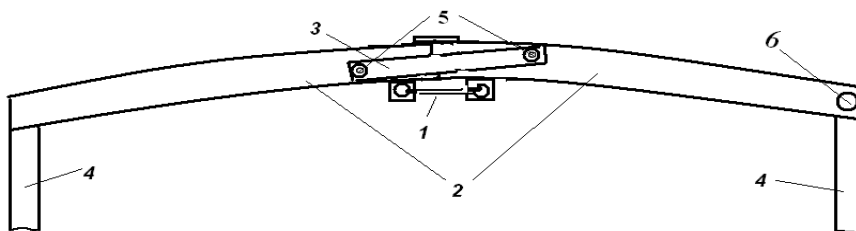


Рис. 1. Ударопоглинаючий дах автобуса (до зіткнення)

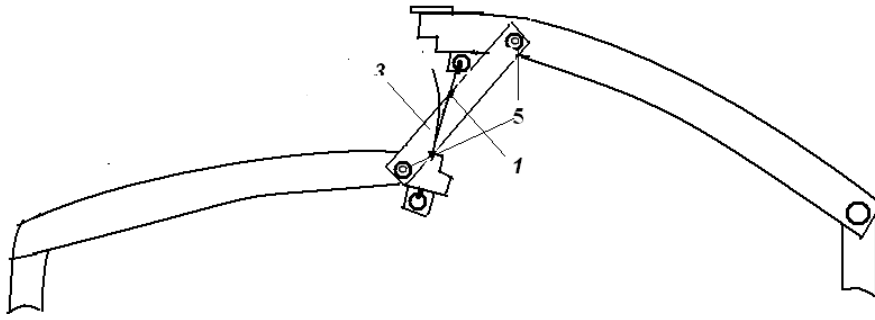


Рис. 2. Ударопоглинаючий дах автобуса (після досягнення критичного значення зусилля)

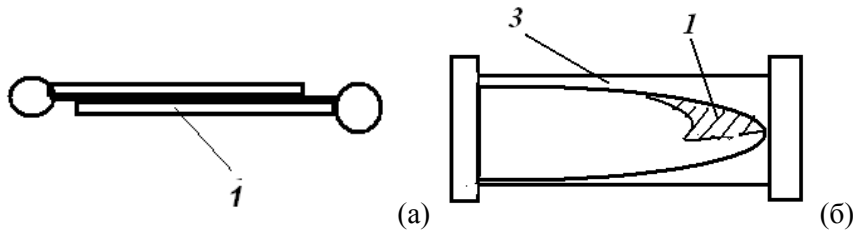


Рис. 3. Енергопоглинаючий композитний стержень, вид збоку – (а) і зверху – (б)

На рис. 4 показані розподіли напружень.

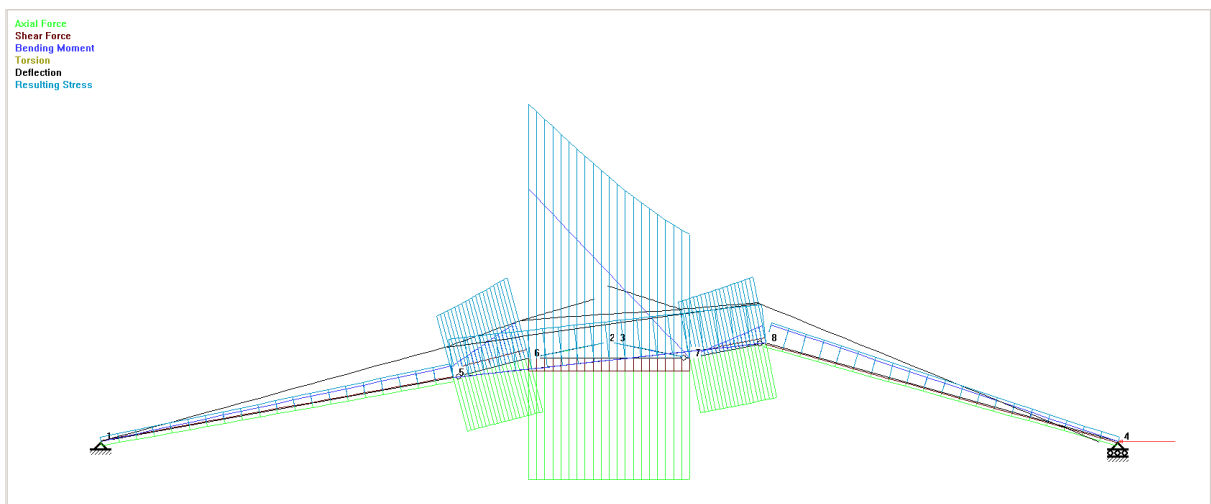


Рис. 4. Розподіли напружень

Центральний композитний стержень найбільш навантажений.

Для дослідження динаміки системи: базисна конструкція – пасажирів застосуємо відносно просту двомасову модель (рис. 5). Рівняння динаміки у цьому випадку будуть:

$$\begin{aligned}
 m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + k_1 x_1 + c_1 \frac{dx_1}{dt} - k_2 (x_2 - x_1) - c_2 \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) - c_{t2} \operatorname{sign} \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) &= \\
 = k_1 x_0 + c_1 \left(\frac{dx_1}{dt} - \frac{dx_0}{dt} \right) + c_{t1} \operatorname{sign} \left(\frac{dx_1}{dt} - \frac{dx_0}{dt} \right) &, \\
 m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + k_2 (x_2 - x_1) + c_2 \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) + c_{t2} \operatorname{sign} \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) &= 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

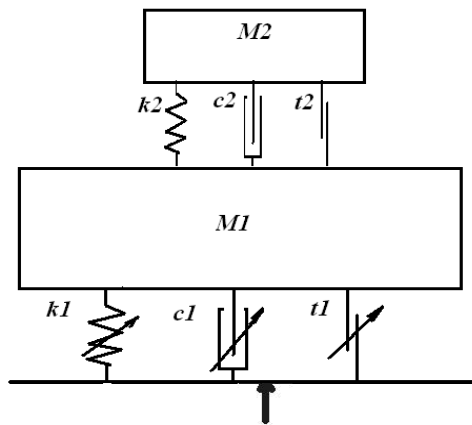


Рис. 5. Двомасова модель

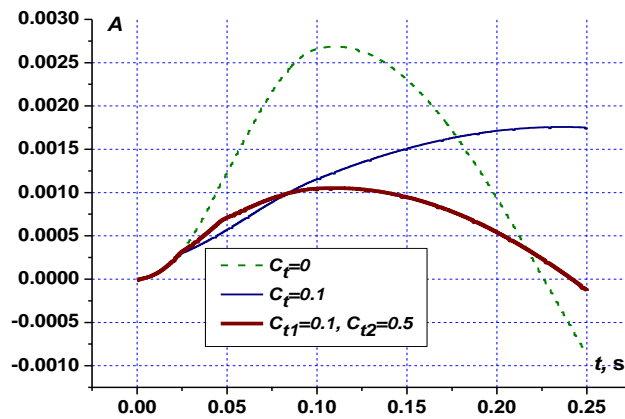


Рис. 6. Результати оптимізації з незмінним демпфуванням та з керованим тертям

Тут розглядається кінематичне збурення з деяким законом зміни $x_0 = A(t)$. Коефіцієнти k_1 , c_1 , c_{t1} тепер змінні по часу і змінюються по деяким правилам згідно механіки абсорбера

$$\text{sign}\left(x_1\left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt}\right)\right) > 0 \quad c_2 = c_{2A}, \quad \text{sign}\left(x_1\left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt}\right)\right) \leq 0 \quad c_2 = c_{2B}. \quad (2)$$

На рис. 6 показані результати оптимізації з незмінним демпфуванням та з керованим тертям.

Висновки. За допомогою ударопоглинаючого даху автобуса можна значно покращити безпеку пасажирів при боковому перекиданні. Дана конструкція даху не містить якихось габаритних елементів, наприклад, амортизуючих подушок. У докритичному режимі такий дах працює в звичайному режимі, як елемент міцності конструкції автобуса. Тертя, а особливо, кероване тертя у дисипативному елементі даху зменшують прискорення пасажирів, а тим самим і їх травматичність при перекиданні автобуса.

Література

1. Report FTA-002, "Mass Transit Crashworthiness Statistical Data Analysis" National Institute of Aviation Research, USA, 12 Dec 2005.
2. Zhe Yang, He Yan, Chenguang Huang, Xingzhong Diao, Xianqian Wu, Shaohua Wang, Lingling Lu, Lijuan Liao, Yanpeng Wei, Experimental and numerical study of circular, stainless thin tube energy absorber under axial impact by a control rod. *Thin-Walled Structures* 82(2014)24–32
3. Jovan Obradovic, Simonetta Boria, Giovanni Belingardi, Lightweight design and crash analysis of composite frontal impact energy absorbing structures *Composite Structures* 94 (2012) 423–430
4. Guangyao Li, Fengxiang Xu, Guangyong Sun, Qing Li, A comparative study on thin-walled structures with functionally graded thickness (FGT) and tapered tubes withstanding oblique impact loading, *International Journal of Impact Engineering* 77 (2015) 68-83
5. Патент WO 01/40015 A1 від 07.06.2001. – Shockabsorbing vehicle seat frame, автор Cröse, Corwin L.
6. Huang, M. (2002), *Vehicle Crash Mechanics*, CRC Press, Boca Raton, London & New York, p. 100 -320.
7. Дівеєв Б.М., Горбай О.З., Керницький І.С., Коник І.В., Пелех Я.М., Вібро- та шумозахисні пристрої з дгк для колісних машин Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки», вип. 55, 2016 р. Луцьк, С. 122-126.
8. Kernytskyu I., Diveyev B., Horbay O., Hlobchak M., Kopytko M., Zachek O. Optimization of the impact multi-mass vibration absorbers, *Scientific Review, Engineering and Environmental, Sciences*, Vol. 26 (3), 2017, Nr 77, 394-400.
9. Bohdan Diveyev, Orest Horbay, Ivan Kernytskyu, Roman Pelekh, Igor Velhan, Dynamic Properties and Damping Predictions for Laminated Micro-Beams by Different Boundary Conditions, *MEMSTECH*, 20-23 April, 2017, Polyana, Proceeding, 2017, 30-34.
10. Bohdan Diveyev. Impact and particle buffered vibration absorbers optimization and design. *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Material Science*. Vol.1., №2 pp. 35-50.