

УДК 629.114.5.

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДУЛЬНИХ СЕКЦІЙ ДЛЯ АВТОБУСНИХ КУЗОВІВ ТИПУ LOW-ENTRY

О.З. Горбай, доц., д.т.н., К.Е. Голенко, асист., к.т.н.,
Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Проведено порівняльний аналіз та досліджено економічну доцільність розширення методом секційних модульних систем сімейства автобусів типу Low-entry порівняно з побудовою нових моделей вищого середнього класу.

Ключові слова: низькопідлоговий автобус, автобус із низьким входом, компоновка, секційний модуль, уніфікація.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДУЛЬНЫХ СЕКЦИЙ АВТОБУСНЫХ КУЗОВОВ ТИПА LOW-ENTRY

О.З. Горбай, доц., д.т.н., К.Е. Голенко, асист., к.т.н.,
Национальный университет «Львовская политехника»

Аннотация. Проведен сравнительный анализ и исследована экономическая целесообразность расширения методом секционных модульных систем семейства автобусов типа Low-entry по сравнению с построением новых моделей высшего среднего класса.

Ключевые слова: низкопольный автобус, автобус с низким входом, компоновка, секционный модуль, унификация.

EVALUATION OF EFFICIENCY OF MODULAR SECTIONS FOR LOW-ENTRY BUS BODY

O. Horbay, Assoc. Prof., D. Sc. (Eng.), K. Golenko, T. Asst., Cand. Sc. (Eng.),
Lviv Polytechnic National University

Abstract. Comparative analysis is carried out, and economical feasibility of extension by the method of sectional modular systems of a family of low-entry type buses in comparison with building new models of higher medium class is studied.

Key words: low-floor bus, low-entry bus, salon configuration, section, module, unification.

Вступ

Тенденція розвитку вітчизняного автобусобудування продиктована необхідністю відповідності міських автобусів діючим у країнах ЄС нормативним вимогам Правил №107 ЄЕК ООН [1]. Рівень підлоги у цих автобусах має відповідати висоті тротуару та знаходитись у межах 340–360 мм, що дозволяє забезпечити прохід у салон без сходинок у передній частині кузова та базі. Передня пневматична підвіска автобуса може бути доповнена системою підйому та опускання

кузова (kneeling), яка сприяє зручності входу в салон та виходу пасажирів на тротуар. Тип кузова з низьким рівнем підлоги по всій його довжині має назву Low-floor і характеризується наявністю дверних проходів без сходинок. Він застосовується переважно у класі тахі із загальною довжиною до 12 м.

Ще однією особливістю міських варіантів Low-floor є наявність широких накопичувальних площадок. Автобуси цього типу передбачають обов'язкове застосування порталних мостів та потужної ферми даху.

Остання, на відміну від класичного компонування з рівнем підлоги 610–730 мм, відіграє роль основної силової структури та дозволяє встановлення стандартних мостів. Каркас даху Low-floor має традиційно складну багаторівневу структуру, сформовану з поздовжніх несівних труб $100 \times 40 \times 2$ або $100 \times 40 \times 3$, що виступають як основні лонжерони та додаткові посилюючі труб $40 \times 28 \times 2$, $40 \times 28 \times 3$ або $40 \times 40 \times 2$, які проходять паралельно до лонжеронів уздовж ребер сходження поверхонь боковин і даху. Поперечні шпангоути $40 \times 2,5$ продовжують віконні стійки боковин, замикаючи силові контури секцій автобуса. Створення автобусів Low-floor класу таксі є економічно вигідним за великих обсягів виробництва і в основному орієнтоване на фінансово забезпечені муніципальні автопарки.

Однак у сучасних умовах України основна частка пасажироперевезень забезпечується приватними перевізниками, серед котрих все більшої популярності набуває середній клас автобусів так званого типу Low-entry, де більше 60 % довжини салону рівень підлоги становить 340–360 мм із входом без сходенок, а зона ведучого моста непортального типу та задній звис характеризуються переходом на 1–2 сходинки з підйомом підлоги на 250–400 мм. Таким чином, за загальної довжини автобуса близько 9 м та кількості пасажирів менше 70, згідно з діючими нормативними правилами, встановлення задніх дверей не є обов'язковим, що значно спрощує конструкцію та позитивно впливає на кінцево вартість продукту.

Аналіз публікацій

Рациональний вибір компонування схеми при проектуванні автобуса продиктований, в першу чергу, показниками ефективності його експлуатації та продуктивністю роботи і визначається кінцевою собівартістю виробу. Конкуренція на ринку машин типу Low-entry на сьогодні загострюється з кожним наступним виходом нової моделі, що несе у собі характерні особливості, визначені різними школами автобусобудування. Теоретичні засади вибору компонування міських автобусів великого та середнього класу доступні для ознайомлення у роботах [2–4], де відображено об'єктивні результати порівняльного аналізу моделей автобусів виробництва різних країн світу.

Мета і постановка завдання

Метою нашого дослідження є визначення економічної доцільності використання секційних модульних систем для розширення автобусного типоряду. Основним завданням дослідження є проведення порівняльного аналізу використання секційних модулів з побудовою нових моделей вищого середнього класу.

Результати досліджень

Одним з визначальних факторів під час розробки нової моделі автобуса є дотримання умов «сімейства». Під цим терміном розуміють сукупність типових пар міських та приміських автобусів із різними габаритними довжинами, які спроектовані з використанням ідентичних конструктивних принципів і відповідають сучасним вимогам щодо експлуатації транспорту в міській та приміській зонах. Конструктивними та технологічними принципами сімейства є: а) єдиний закон побудови форм, застосування однакових вікон, штампованих кузовних панелей, місць розташування органів керування та інших елементів конструкції; б) застосування спільного сортаменту труб, типів арматури у просторовій конструкції сімейства автобусів; в) ідентична інсталяція уніфікованих вузлів та агрегатів у межах сімейства; г) дотримання спільної технології виготовлення автобуса шляхом застосування єдиного виробничого цеху, кондукторних плит та іншого оснащення, спільних ліній зборки та фарбування. Low-entry характеризується своєю структурною складністю в результаті симбіозу зазначених низькопідлогової та класичної схем (рис. 1), а тому потребує проведення аналізу ефективності компонування та оцінювання напружено-деформованого стану, з метою отримання рівномірності та зменшення ваги.

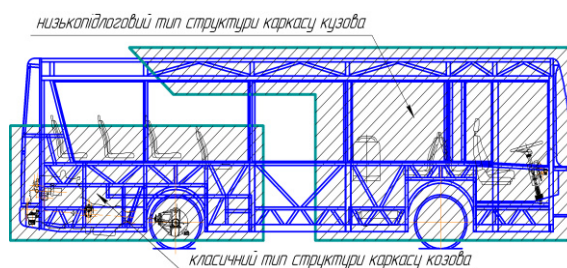


Рис. 1. Структурне подання концепції кузова типу Low-entry

Для аналізу було обрано нову розробку ВАР «Укравтобуспром» – модель 4289 типу Low-entry, яка являє собою скорочену версію автобуса 5236 пахі-класу типу Low-floor. З метою максимальної уніфікації, в ній збережені структура та зовнішнє облицювання передньої частини, робоче місце водія та конструкція даху, який зменшено на відповідну кількість секцій. Водночас просторова рама автобуса передбачає встановлення непортальних мостів у задній несучій забудові класичного типу (висота – 610–730 мм), де розміщені двигун і трансмісія з параметрами, що відповідають класу міди (загальна довжина – 8–10 м). Передня низькопідлогова частина основи характеризується незначним пандусом у зоні переднього моста. У рамках порівняльного аналізу до переліку досліджуваних моделей включені прототипи міських машин типу Low-entry: А 101 та А 102 ВАР «Укравтобуспром».

Виходячи з тенденції максимальної економії при виробництві автобусів в умовах ринкової конкуренції, принцип уніфікації сімейства автобусів із різними габаритними довжинами використовується переважно більшістю виробників [5]. Поставлене завдання вирішується за допомогою методу модульної системи, котра являє собою наперед задану періодичність розташування кузовних секцій автобуса, визначених поперечинами, боковими та міжвіконними стійками, а також рамою даху. Сімейство автобусів, як правило, характеризується використанням двох або трьох секцій із заданими довжинами. Місце розташування основного модуля завжди визначається розміщенням двостулкових дверей, які забезпечують прохід шириною не менше 1200 мм та відповідають чинним Правилам №107 ЄЕК ООН [1]. У результаті сукупної оцінки рівномірності конструкції, виконання вимог щодо осевого навантаження від агрегатної та вузлової бази, технологічності та легкості виготовлення, виділяються оптимальні форми модульної системи компонування автобусів у сімействі. У випадку міського та приміського типів міди-автобусів «Low-entry» можна відзначити зображені на рис. 2 компонувальні схеми.

До розгляду береться компонувальна схема базової версії автобуса сімейства А101 з міжколісною базою 4000 мм (рис. 2, а), що є початковою формулою для інших модифікацій; схема (рис. 2, б), що характери-

зується наявністю додаткового модуля 1, розташованого між передньою віссю та двостулковими дверима; схема (рис. 2, в) з модулем 2 для встановлення додаткового ряду сидінь на приміських рейсах. Для останнього варіанта габарити модуля визначаються вимогами Правил №107 ЄЕК ООН [1] за відстанню між сидіннями та простором для сидячих перед накопичувальною площадкою пасажирів. До модульної схеми у варіанті виконання 1 (рис. 2, а) найчастіше вдаються, коли необхідно досягти максимальної місткості накопичувальної площадки при низькопідлоговій схемі автобуса, що значно збільшує ефективність експлуатації у міських умовах. Якісне оцінювання зростання ефективності доцільно провести за відносними показниками: K_{Gq} – коефіцієнтом відношення повної маси до пасажиромісткості та K_{Lq} – відношенням габаритної довжини до пасажиромісткості.

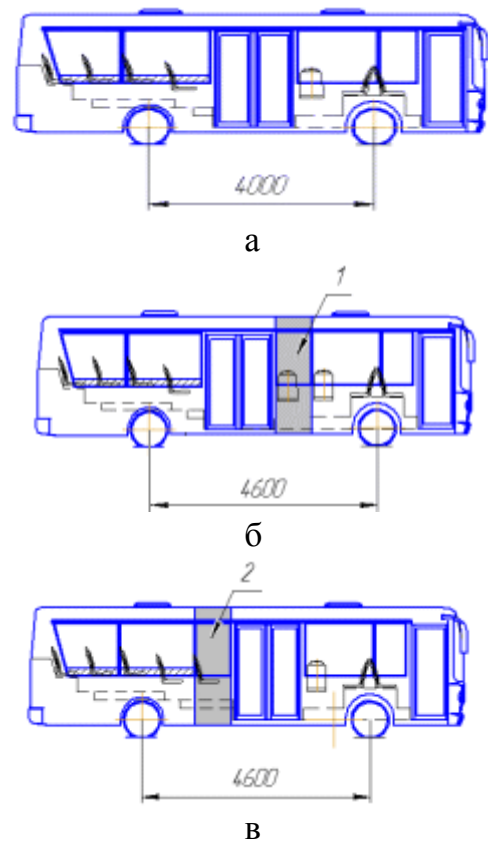


Рис. 2. Компонувальні схеми автобуса А101: а – базовий варіант; б – із додатковим модулем 1; в – із додатковим модулем 2

Експериментальна модель А101 належить до першого класу автобусів, а тому слід задава-

тися значенням $S_{Sp} = 0,125$, згідно з Правилами №107 ЄЕК. Це означає, що інтеграція модуля 1 корисною площею $1,0 \times 2,0$ збільшує загальну пасажиромісткість з 60 до 76. Очевидно, що габаритна довжина при цьому зростає з 8335 до 9335 мм та остаточно впливає на коефіцієнт відношення довжини до пасажиромісткості. Досліджуючи коефіцієнт K_{Gq} , слід врахувати, що додатково введена в кузов секція збільшує споряджену масу автобуса приблизно на 220–250. Відтак, повна маса автобуса з модулем 1 становить 11838 кг та визначається як сума: 10500 кг базової моделі; 250 кг інтегрованої секції; 1088 кг сумарної маси додаткових 16 пасажирів ($16 \times 68 = 1088$ кг).

За результатами досліджень інтеграції секції, повністю відведеної під стоячі місця, встановлено, що коефіцієнт K_{Gq} склав 155,76 (скорочення на 10,99 %), а K_{Lq} – 122,83 (скорочення на 11,58 %) (табл. 1).

Таблиця 1 Розрахункові значення оцінних коефіцієнтів для базової та подовженої модифікацій автобуса А101 (варіант 1)

Модель автобуса	G_n , кг	$L_{таб}$	q_H^1	K_{Gq}	K_{Lq}
A101 (базова)	10500	8335	60	175	138,92
A101 (з мод. 1)	11838	9335	76	155,76	122,83
A101 (з мод. 2)	11022	9035	32	344,44	282,34

Таким чином, перехід у вищій середній клас міди моделі А101 за відносно економного переоснащення виробництва слід вважати виправданим в умовах замовлень автопарків густонаселених міст.

У запропонованій компоувальній схемі на рис. 2 в додатковий модуль 2 розміщений між задньою віссю та центральними двостулковими дверима, що в кінцевому результаті збільшує об'єм салону, дозволяючи встановлення додаткового ряду пасажирських крісел і підвищуючи ефективність експлуатації вказаної модифікації автобуса на приміських рейсах. У силу того, що модифікація А101 у варіанті модульного виконання 2 розрахована на значно довші маршрути, порівняно з

безпосередньо міською модифікацією (рис. 2, а), то оцінювання ефективності компонування автобуса слід проводити не за сумарною кількістю пасажирів, а лише за часткою посадкових (сидячих місць).

Критеріями оцінювання залишаються попередньо розглянуті K_{Gq} та K_{Lq} , але значення пасажиромісткості в них візьмемо відповідно до кількості сидінь автобуса. Повна маса модифікації автобуса А101 з інтегрованим модулем 2 становить 11022 кг та визначається як сума: 10500 кг повної маси базової моделі; 250 кг інтегрованої секції; 272 кг сумарної маси додаткових 4 пасажирів ($4 \times 68 = 272$ кг).

При цьому значення $L_{таб}$ слід підбирати з умов Правил №107 ЄЕК, беручи до уваги, що перед додатковим рядом сидінь необхідно забезпечити достатній запас місця для стоячих пасажирів. Відтак довжина модуля 2 повинна бути не менше 700 мм.

Як видно з результатів досліджень інтеграції секції у варіанті виконання 2, повністю відведеної під 4 сидячих місця, коефіцієнт K_{Gq} склав 344,44 (скорочення на 8,15 %), а K_{Lq} – 282,34 (скорочення на 5,15 %). Очевидно, що нарощування колісної бази, з метою отримання додаткових 4 посадкових місць, є виправданим в умовах розширення сімейства автобусів моделі А101.

Слід звернути увагу, що габаритна довжина за заданої колісної формули автобуса не може бути визначена довільно при інтеграції додаткового модуля у структуру каркаса кузова, а тому міжколісна база (рис. 2 а, б) буде різною за означенням. Концептуально розробка ВАТ «Укравтобуспром» все ще залишається у середньому класі автобусів за своїми показниками і кінцевою вартістю, але при цьому створює значний тиск на представників машин вищого класу.

Із другого боку, складається неоднозначна ситуація з порівняльною оцінкою видовженої версії А101 та моделлю 4289, що вже займає вищій середній клас. Якщо розглянути коефіцієнт відношення габаритної довжини до пасажиромісткості, перевага залишається на боці автобуса 4289: $K_{Lq} = 111,76$ проти $K_{Lq} = 122,83$ для моделі А101 зі збільшеною

до 9335 мм загальною довжиною. Аналіз коефіцієнта K_{Gq} виявляє, що його значення для моделі A101 є нижчим від 4289: 155,76 проти 164,7 відповідно. Таким чином, автобус A101 під час експлуатації: перевозить менше своєї власної маси, а більше корисної; проявляє кращу ошадливість пального; має нижчу матеріаломісткість та собівартість.

Підсумовуючи оцінні дані коефіцієнтів K_{Gq} та K_{Lq} , можна впевнено констатувати, що модифікація A101 зі збільшеною габаритною довжиною здатна створити гідну конкуренцію представникам так званих «taxi-midi» автобусів типу Low-entry.

Окрім показника середньорічної продуктивності експлуатації (2.1), порівняльну оцінку ефективності конструкції є можливим визначати на базі інтегрального показника [6]

$$Ver = K_B \cdot K_{\Pi} \cdot K_3 \cdot K_d, \quad (1)$$

де $K_B = k_{\Delta G} = \frac{\Delta G}{G_c}$ – коефіцієнт використання вантажності; K_{Π} – коефіцієнт ефективності використання площі, $\frac{F_k}{F_r}$; F_k – так зв. корисна площа салону, що використовується для розміщення пасажирів; F_r – геометрична площа по периметру салону; $K_d = \frac{B}{A}$ – коефіцієнт використання силового привода; B – питома потужність, віднесена до повної маси, кВт/т; A – умовний коефіцієнт типу привода: $A=1,0$ – привід з механічною трансмісією; $A=1,2$ – привід з гідромеханічною трансмісією; $K_3 = \frac{N}{M}$ – коефіцієнт ефективності використання пасажиромісткості; N – заявлена пасажиромісткість; M – теоретична пасажиромісткість, відповідно до норми площі $0,125 \text{ м}^2$ на 1 пасажир.

Власне подібні за своєю суттю показники були запропоновані і в інших наукових роботах, присвячених оцінюванню ефективності конструювання автобусів [7–10].

Нерівномірність складових залежності (1) не дозволяє взяти інтегральний показник як достатньо об'єктивний. Технічно сумнівним є і

спеціальне корегування за типом механічної трансмісії K_d та доцільність його врахування при аналізі ефективності, оскільки традиційно вважається, що силові показники (питома потужність) не фігурують з габаритними та ваговими в одному рівнянні [11, 12].

Для більшої об'єктивності встановлення оцінювання ефективності експлуатації автобусів за допомогою інтегрального показника його пропонується доповнити відносним критерієм – коефіцієнтом питомої маси одиниці габаритної довжини

$$K_{gl} = \frac{G_{\Pi}}{L_r}. \quad (2)$$

Первісно показник K_3 є пропорційним до теоретичної площі, виходячи з норми $0,125 \text{ м}^2$ на одного стоячого пасажирів (1), хоча будь-який автобус оснащений посадковими місцями, оцінювання площі під якими не підлягає вказаній нормі. На підставі таких міркувань доцільно видозмінити K_3 до такої залежності

$$K_3 = \frac{X}{Z}, \quad (3)$$

де X – заявлена кількість стоячих місць; Z – розрахункова кількість стоячих пасажирів, виходячи з норми $0,125 \text{ м}^2$ на пасажир.

Параметр X фактично є різницею між сумарною пасажиромісткістю та кількістю сидячих пасажирів (q_{CH})

$$X = q_{\Pi}^1 - q_{CH}. \quad (4)$$

Параметр Z вираховується як відношення корисної площі автобуса, відведеної під стоячі місця (S_{kk}), до норми $0,125 \text{ м}^2$ на пасажир

$$Z = \frac{S_{kk}}{0,125}. \quad (5)$$

З робочих креслень визначимо геометричне значення S_{kk} для моделей A101 з інтегрованим модулем (варіант 1) та базової машини 4289 (рис. 3, а, б). Відповідні значення геометричної площі по периметру салону (довжина x ширина автобуса) – F_r , корисної

площі, відведеної під стоячих пасажирів, – $S_{\text{кк}}$ та загальної корисної площі $F_{\text{к}}$ подано у табл. 2.

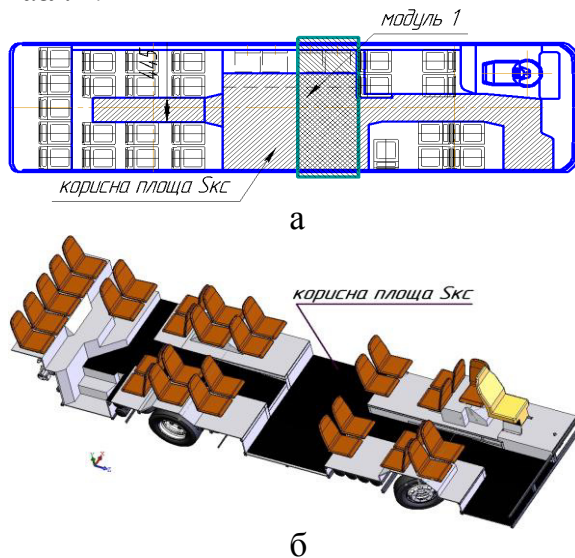


Рис. 3. Геометричне визначення корисної площі $s_{\text{кк}}$: а – А101 з інтегрованим модулем (варіант 1); б – базової моделі 4289

Таблиця 2 Значення загальної та корисної площі автобусів типу Low-entry

Модель автобуса	$F_{\text{г}}, \text{м}^2$	$S_{\text{кк}}, \text{м}^2$	$F_{\text{к}}, \text{м}^2$
А101 з інтегрованим модулем (варіант 1)	21,01	7,15	18,14
4289 базова	21,5	8,7	19,37

На підставі даних табл. 2 розраховано значення відносного коефіцієнта K_3 для вищезазначених моделей автобусів. Він досягає 0,84 для А101 з інтегрованим модулем (варіант 1) і 0,79 – для базової 4289.

У випадку з моделлю А101 у запропонованій модульній модифікації для справедливості розрахунку слід розглядати два випадки:

- додатково введена накопичувальна площадка довжиною 1 м повністю відведена під стоячих пасажирів, що збільшує пасажиромісткість до 76;
- зазначена накопичувальна площадка оснащена додатковими двома посадковими місцями вздовж лівої боковини.

Перерахувавши значення останнього варіанта, який передбачає сумарно 30 посадкових місць, коефіцієнт K_3 становить 0,8. Таким чином, доходимо висновку, що інтеграція модуля 1 в базову модель автобуса А101,

принаймні за даним оцінним критерієм, є доцільною, впритул наближаючись за ефективністю до базової машини 4289.

На підставі вищезазначених положень інтегральний показник оцінювання ефективності експлуатації автобусів типу Low-entry остаточно запишеться у вигляді

$$Ver = K_{\text{в}} \cdot K_{\text{п}} \cdot K_3. \quad (6)$$

Складові коефіцієнти, що формують вираз (6) оцінювання моделі А101 з інтегрованим модулем, базуються на таких технічних даних: корисне навантаження становить 5488 кг, а споряджена маса – 6350 кг, враховуючи 250 кг маси модуля. Отримано значення 0,63 для А101 з інтегрованим модулем (варіант 1) та 0,45 – для базової 4289. Показники ефективності компонування є важливими для досліджень та подальшого аналізу, оскільки впливають на пасивну безпеку автобусів [13].

Підбиваючи підсумки результатів досліджень запропонованого в роботі інтегрального показника, слід зауважити, що модифікована модель А101 у варіанті виконання з модулем 1 характеризується як більш ефективна в експлуатації порівняно з автобусом 4289.

Висновок

Якщо дотримуватись запропонованої оцінної методології в умовах вітчизняного автобусобудування, то впливає, що економічно більш доцільним є розвиток сімейства автобусів з подальшою появою їх подовжених версій методом секційних модульних систем, порівняно до побудови нових моделей вищого середнього класу.

Література

1. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження транспортних засобів категорій М2 та М3 стосовно їхньої загальної конструкції: ДСТУ UNECE R 107-01:2008. (Правила ЕЭК ООН № 107-01:2004, IDT). – Введ. 2009–01–07. – К.: Держспоживстандарт. – 21 с.
2. Смирнов И. В. К вопросу о выборе компоновки внутригородского автобуса большого класса / И.В. Смирнов, П.И. Присяжний, Ю.В. Ярынич // Труды ГСКБ по автобусам. – 1983. – С. 3–19.

3. Осепчугов В.В. Выбор конструктивных схем перспективных городских автобусов / В.В. Осепчугов, А.В. Чанков // ЭИ «Конструкции автомобилей». – 1973. – №8. – С. 30–40.
4. Смирнов И.В. Перспективный городской автобус / И.В. Смирнов, А.В. Чанков, П.И. Присяжный // Автомобильная промышленность. – 1976. – №7. – С. 15–16.
5. Горбай О.З. Оцінка експлуатаційної ефективності компоновальних схем автобусів типу low-entry/ О.З. Горбай, К.Е. Голенко, Л.В. Крайник // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту: наук. журн. – 2010. – №1. – С. 66–75.
6. Zahn E. Kritische Betrachtung neuer Omnibusse / E. Zahn // Verkehr + Technik. – 1996. – №3. – 196 p.
7. Горбай О.З. Формування розрахункової моделі автобуса з напівнесвіним і несвіним типом кузова / О.З. Горбай, К.Е. Голенко, О.В. Дубяньський // Наукові нотатки: зб. наук. пр. – 2012. – Вип. 37. – С. 58–63.
8. Горбай О.З. Моделювання режиму кручення каркаса кузова міського автобуса типу Low-entry / О.З. Горбай, К.Е. Голенко // Динаміка, міцність та проектування машин і приладів: вісник Нац. ун-ту «Львів. політехніка». – 2011. – Вип. 701. – С. 3–12.
9. Горбай О.З. Моделювання режиму згину каркаса кузова міського автобуса / О.З. Горбай, К.Е. Голенко // Вісник Східноукраїнського НУ ім. В. Даля: наук. журн. – 2012. – Ч. 1, №9 (180). – С. 6–11.
10. Горбай О.З. Особливості конструкцій та компоновок накопичувальних площадок в мікроавтобусах / О.З. Горбай, К.Е. Голенко // Вісник Східноукраїнського НУ ім. В. Даля: наук. журн. – 2010. – Вип. 6 (148). – С. 29–35.
11. Атоян К.М. Автобусы / К.М. Атоян. – М.: Машиностроение, 1969. – 256 с.
12. Осепчугов В.В. Статистический анализ загруженности городского автобуса / В.В. Осепчугов, Ю.И. Куликов // Труды ГСКБ по автобусам. – 1969. – Вып. 1. – 338 с.
13. Горбай О.З. Фактори впливу на величину енергії абсорбції удару при випробуваннях на відповідність Правилам №66 ЄЕК ООН / О.З. Горбай, К.Е. Голенко // 9-й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові: тези доповідей. – Львів: КНПАТРИ ЛПД, 2009. – С. 254–256.

Рецензент: С.Й. Ломака, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 30 червня 2016 р.