

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ УНІФІКАЦІЇ АРХІТЕКТУРНИХ ФОРМ КУЗОВІВ АВТОБУСІВ

© Нємий С. В., 2017

Висвітлено особливості техніко-економічного підходу до уніфікації архітектурних форм автобусів, конструктивна концепція яких ґрунтується на типорозмірних рядах, основою яких є інтегральні модулі. Обґрунтовано, що у експлуатаційному аспекті для максимальної уніфікації архітектурних форм міських, міжміських та туристичних автобусів доцільно віддавати перевагу обтічним формам передньої частини їх кузовів, близьким до міжміських аналогів.

Ключові слова: кузов автобуса, уніфікація, інтегральні модулі.

S. Niemyi

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECT OF THE UNIFICATION OF ARCHITECTURAL FORMS OF BUS BODY

The specific features of the technical and economic approach are elucidated to unification buses architectural forms, which constructive concept is based on dimension-type series, which are based on integrated modules. It is proved, that in the operational aspect of unification for maximum architectural forms of urban, intercity and tourist buses, it is advisable to prefer the sleek front of their bodies close to long-distance counterparts.

Keywords: bus, unification, integral modules.

Формулювання проблеми. Важливою складовою експлуатаційної ефективності автобусів є їх паливна ощадність, яка певною мірою залежить від витрат енергії на подолання опору повітря, на що, своєю чергою, впливають параметри архітектурних форм зовнішнього облицювання кузовів. Сьогодні з метою покращення експлуатаційної ефективності автобусів розробляють прогресивні концептуальні підходи до максимальної уніфікації їх конструкцій, зокрема так звані типорозмірні ряди модульно-уніфікованих конструкцій [1, 2]. З огляду на цю концепцію виникає питання щодо особливостей уніфікації кузовів автобусів зокрема параметрів їх архітектурних форм як у межах окремого класу автобусів, так і між їх конструктивними класами. Це є особливо актуальним, оскільки в останні роки у розробленні конструкцій кузовів вітчизняних автобусів позначилася тенденція практичного ігнорування аеродинамічної складової опору руху. Особливо небажаним це є при реалізації уніфікаційних підходів до конструкції, коли надають перевагу спрощеним архітектурним формам.

Аналіз відомих рішень і публікацій. У роботі [1] з позицій проектного менеджменту аналізують перспективи розвитку автобусобудування та розглядають методологію створення автобусної техніки на основі застосування уніфікаційного критерію. З'ясовано, що різниця арифметичної прогресії, натуральним вираженням якої є так званий конструктивний кузовний вузол – “інтегральний модуль”, дає змогу формалізовано модулювати типорозмірний ряд автобусів. Аналізується світова практика модульної уніфікації.

У роботі [2] наведено, що в міру побудови типорозмірного ряду кожен новий, належний ряду, автобус формується приєднанням інтегрального модуля, що має у своїй структурі несівну (ведучу) частину у вигляді одного моста з колесами й несну частину у вигляді секції кузова [1]. У міру збільшення довжини автобуса кожен новий колісний міст, розрахований на таке саме допустиме

навантаження, що і всі інші, бере на себе основну частину зростаючого навантаження, яке дискретно, практично рівномірно розосереджується по довжині автобуса.

У цій же роботі аргументовано доводиться, що потрібно виробити концепцію створення єдиної конструктивно-технологічної структури автотранспортних засобів, об'єднаних у системи таких модульно-уніфікованих рядів, що містять, крім міських, також і міжміські та туристичні автобуси і тролейбуси. При цьому стверджується, що конструктивно-технологічна структура кузовів модульно-уніфікованих типорозмірних рядів міських автобусів та їхній поперечний переріз дають змогу синтезувати автобуси з висотою підлоги 0,36, 0,61 і 0,81 м на одних і тих самих технологічних лініях. Мотивація вибору висоти підлоги 0,61 м полягає в тому, що це дає змогу створювати максимально уніфіковані міські автобуси, оптимально пристосовані до сучасних вимог експлуатації на міських і приміських маршрутах.

У роботах [3–5] наведено результати досліджень, які характеризують вплив параметрів архітектурних форм автобусів на коефіцієнт лобового опору руху. У публікації [6] висвітлено теоретичні основи розрахунку сил опору повітря руху автотранспортних засобів залежно від їх архітектурних форм.

Постановка задачі. Аналіз факторів, що впливають на параметри архітектурних форм автобусів і, відповідно, на витрати потужності при подоланні опору повітря, з метою обґрунтування конструкторсько-технологічного і економічного підходів до уніфікації архітектурних форм автобусів різного класу, насамперед автобусів, конструктивна концепція яких ґрунтується на типорозмірних рядах, основою яких є інтегральні модулі.

Основний матеріал. За певних значень швидкості руху автобусів одним із вагомих факторів витрат потужності є подолання опору повітря. При цьому вказані витрати на подолання сил опору повітря P_w (Н) і, відповідно, потужності N_w (Вт) визначають за формулами [6]

$$P_w = k_w F V_a^2; \quad (1)$$

$$N_w = k_w F V_a^3, \quad (2)$$

де k_w – коефіцієнт аеродинамічної обтічності, $\text{H}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$; $F = BH$ – відповідно, площа лобового опору автобуса, м^2 та його габаритні висота і ширина; V_a – швидкість руху автобуса, $\text{м}/\text{с}$.

Коефіцієнт аеродинамічної обтічності визначають за формулою [6]

$$k_w = 0,5c_x\rho_n = 0,6125c_x, \quad (3)$$

де c_x – безрозмірний коефіцієнт лобового опору: $\rho_n = 1,225 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}$ [6] – густина повітря.

Серед параметрів, що входять до формул (1), (2) і (3), найпроблематичнішим є визначення величини коефіцієнта лобового опору c_x . Сьогодні лише експеримент дозволяє надійно визначити форму і розподіл тисків на поверхні кузова автобуса для отримання величини коефіцієнта аеродинамічного опору руху автобуса. Для проведення експерименту необхідно виготовити модель – точну копію кузова автобуса у масштабі 1:15 і провести випробування у аеродинамічній трубі за різних швидкостей набігаючого потоку повітря, що адекватно імітує швидкість руху автобуса V_a [3]. У технологічному аспекті такі дослідження є доволі складними і трудомісткими.

У процентному відношенні коефіцієнт аеродинамічного опору руху автобуса розподіляється на коефіцієнт опору форми (приблизно 60 %) і коефіцієнт опору тертя (близько 40 %) [3].

Основне значення в опорі форми кузова має геометрія передньої частини автобуса [3]. Коефіцієнт опору тертя формується технічними шорсткостями кузова (висота дверних і віконних перемичок, декоративні накладки, дзеркала тощо).

Порівняння впливу архітектурних форм кузовів автобусів на паливну ощадливість проілюструємо на прикладі автобусів моделей “ЕТАЛОН”. Особливо це актуально із появою нової моделі міського автобуса “ЕТАЛОН” А08110 із зовнішньою архітектурою, практично близькою до форм паралелепіпеда. Така форма характеризується найгіршими умовами обтікання повітрям і відповідно найбільшим коефіцієнтом лобового опору c_x . Через це становить практичний інтерес оцінювання впливу архітектурних форм автобуса моделі А08110 на коефіцієнт лобового опору c_x . При цьому вказані порівняльні дослідження доцільно провести також щодо автобуса аналогічного

класу “ЕТАЛОН” А079, який уже тривалий час експлуатується на міських, приміських і міжміських (із модифікованими салонами) маршрутах, і порівняти досконалість їх архітектурних форм щодо коефіцієнта лобового опору c_x .

Схема основних параметрів автобусів наведено на рис. 1, а масогабаритні параметри – у табл. 1.

Зовні автобус можна поділити на три основні частини: передню, середню і задню. Основна форма передньої або задньої частини характеризується кривою найбільшого перерізу (зазвичай це переріз по верху основи або по пояській лінії) і кутом нахилу лобового скла від вертикалі [4].

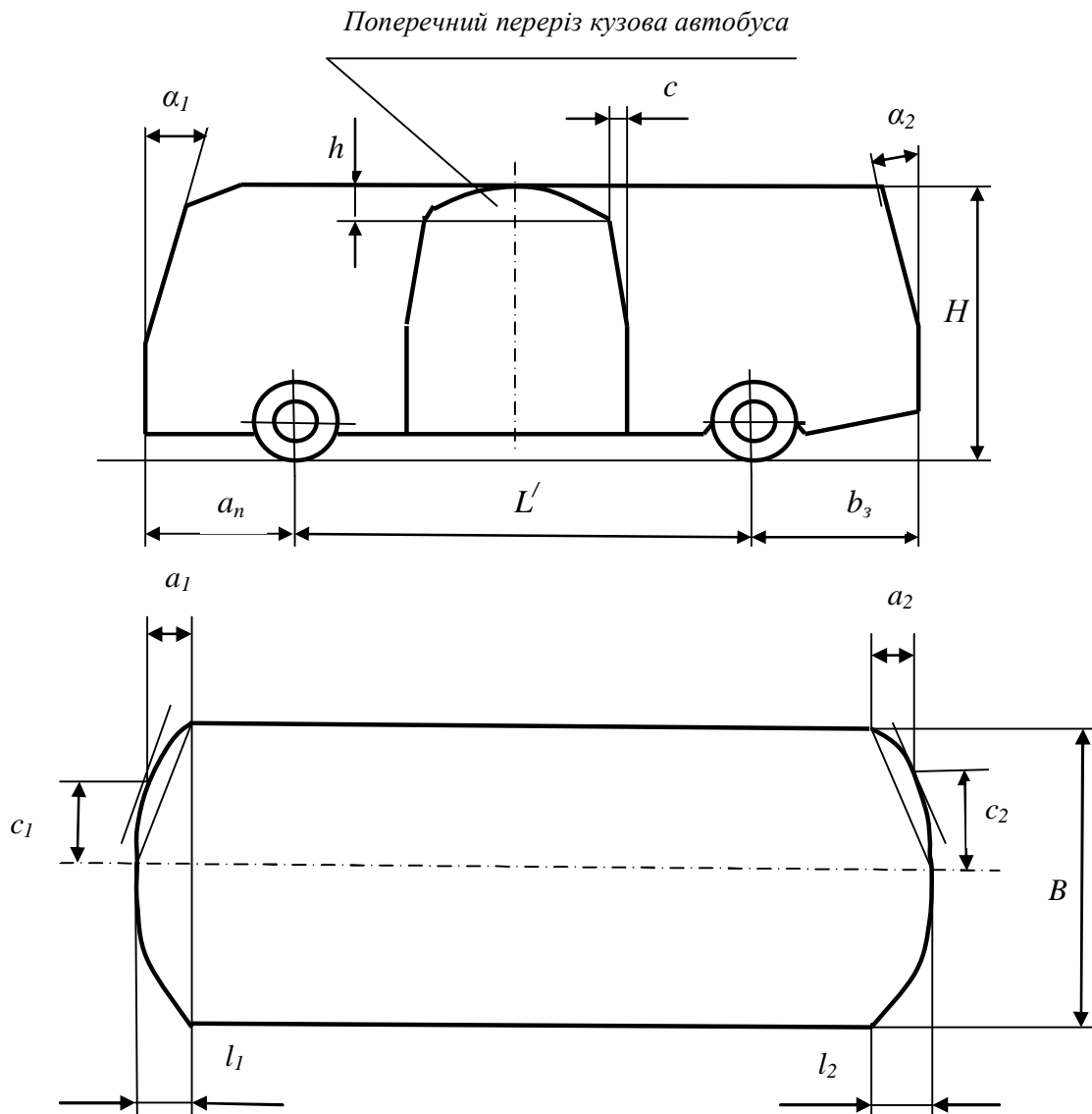


Рис. 1. Схема основних розмірів архітектурних форм автобусів

Отже, форма передньої частини визначається відносними коефіцієнтами l_1/L ; a_1/l_1 ; $2c_1/B$ і кутом α_1 , а задньої частини – l_2/L ; a_2/l_2 ; $2c_2/B$ і кутом α_2 [4]. Тут усі позначення згідно з рис. 2 і табл. 1, а $L = L' + a_n + b_3$.

Аналіз геометричних параметрів досліджуваних автобусів показує, що найістотніше впливає на найважливішу аеродинамічну характеристику автобуса – коефіцієнт лобового опору c_x – форма передньої частини [4].

Як уже зазначалося вище, лише експериментальні методи дають змогу адекватно визначити величину коефіцієнта лобового опору c_x автобуса, а ці експерименти є доволі складними і трудомісткими у технологічному та методичному аспектах. Через це вважаємо доцільним вико-

ристати результати випробувань моделей аналогів із найближчими значеннями основних параметрів архітектури кузовів автобусів. Параметри моделей аналогів наведено у табл. 2 [3, 4].

Таблиця 1

Масогабаритні параметри кузовів автобусів «ЕТАЛОН»

Параметр	Модель автобуса	
	A079	A08110
α_1 , град	20°45'	2°41'
α_2 , град	3°42'	2°30'
h , м	0,18	0,2
c , м	0,067	0,051
L' , м	3,8	4,2
a_n , м	1,28	1,4
b_3 , м	2,07	2,1
a_1 , м	0,07	0,185
a_2 , м	0,35	0,0
c_1 , м	0,61	0,95
c_2 , м	1,01	1,15
l_1 , м	0,2	0,2
l_2 , м	0,47	0,0
H , м	2,8	2,86
B , м	2,24	2,34
Споряджена вага, кН	49,5	55,8
Повна вага, кН	77,4	88,8

Таблиця 2

Геометричні параметри архітектурних форм досліджуваних автобусів

Модель автобуса	Геометричні параметри								
	Передня частина				Задня частина				c_x
	l_1/L	a_1/l_1	$2c_1/B$	α_1	l_2/L	a_2/l_2	$2c_2/B$	α_2	
Україна 67	0,071	0,805	0,76	23°30'	0,0675	0,8	0,86	-20°	0,42
ЛАЗ-695М	0,066	0,735	0,75	20°	0,066	0,735	0,75	20°	0,42
ЛАЗ-695Н	0,066	0,825	0,835	10°	0,066	0,735	0,75	20°	0,45
ЛАЗ-698	0,033	0,875	0,833	4°	0,025	0,44	0,985	-2°	0,65
ЛАЗ-698Е	0,025	0,44	0,985	0°	0,0208	0,8	0,965	-2°	0,77
Паралелепіпед	0	1,0	1,0	0	0	1,0	1,0	0	0,88
A079	0,03	0,7	0,55	20°45'	0,066	0,75	0,9	3°42'	0,42
A08110	0,026	0,925	0,73	2°41'	0	1,0	0,98	2°30'	0,80

Найістотніше на значення коефіцієнта лобового опору c_x впливає співвідношення a_1/l_1 і $2c_1/B$ та кут нахилу переднього лобового скла α_1 [4, 5]. Як бачимо при порівнянні даних табл. 2, найближчими є геометричні параметри автобусів моделей A079 із моделями «Україна-67», ЛАЗ-695М і ЛАЗ-695Н (випробувані моделі).

На рис. 2 наведено побудовану за експериментальними даними (табл. 2) [4, 5] залежність коефіцієнта лобового опору c_x від співвідношення параметрів форми кузова автобуса. На цьому ж рисунку нанесено параметри a_1/l_1 і $2c_1/B$ і кута нахилу лобового скла α_1 для автобуса моделі A079. Отже, за графічними залежностями (рис. 2) $c_x = f(a_1/l_1; 2c_1/B; \alpha_1)$ значення коефіцієнта лобового опору c_x для автобуса моделі A079 практично не перевищує 0,42.

Геометричні параметри автобусів моделі A08110 є практично близькими до паралелепіпеда (табл. 2). Тому для подальших досліджень приймаємо значення коефіцієнта лобового опору c_x для автобуса моделі A08110 $c_x = 0,8$.

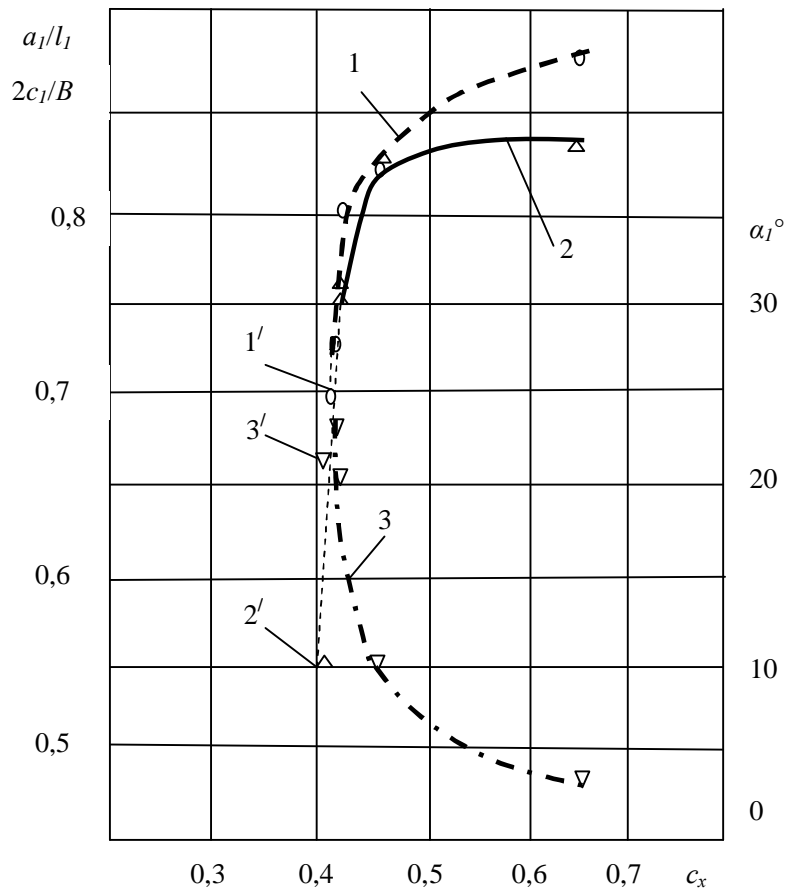


Рис. 2. Залежність коефіцієнта лобового опору c_x від співвідношення параметрів форми кузова автобуса: 1 – a_1/l_1 ; 2 – $2c_1/B$; 3 – кута нахилу лобового скла α_1 ; 1', 2' і 3' – аналогічні параметри для автобуса А079

У роботі [7] наведено результати дослідження швидкісного режиму міських автобусів. Статистичний розподіл швидкостей у фазах руху наведено у табл. 3.

Із табл.3 виділяємо фази руху, у яких є витрати потужності на подолання опору повітря та їх відносну тривалість у загальному часі руху автобуса: розгін – $\Delta t_p = 36,05\%$ і сталий рух – $\Delta t_c = 20,55\%$. Отже, в експериментальному аспекті тривалість руху міського автобуса, при якому долається негативний аеродинамічний опір, становить 56,6 % усього часу руху.

Таблиця 3

Значення швидкісних показників автобуса у міському режимі руху

Швидкісний діапазон руху в цьому інтервалі V_{ai} , км/год	Відносний час у фазах руху			Сумарно із даною швидкістю $\Sigma \Delta t_i$
	розгін	сталий рух	гальмування, накат	
	Δt_{ip}	Δt_{ic}	$\Delta t_{i\text{ен}}$	
0 – 10	0,0823	0,0411	0,1182	0,2417
10 – 20	0,0922	0,0699	0,1127	0,2748
20 – 30	0,0806	0,0286	0,0932	0,2024
30 – 40	0,0634	0,0406	0,0660	0,1700
40 – 50	0,0339	0,0229	0,0360	0,0928
50 – 60 мах (59,87)	0,008	0,0024	0,0078	0,0181
Сумарно у цій фазі руху	0,3605	0,2055	0,4340	1,0

За наведеними статистичними даними, витрати потужності на подолання опору повітря пропонується визначати за формулою

$$N_w = k_w F \sum_{i=1}^n [V_{ai}^3 (\Delta t_{ip} + \Delta t_{ic})] \quad (4)$$

де n – кількість елементарних інтервалів швидкісного діапазону (крайній лівий стовпець у табл. 3 і 4); V_{ai} – середня швидкість руху автобуса у заданому швидкісному діапазоні при розгоні і сталому русі, м/с; Δt_{ip} – відносний час руху у заданому швидкісному діапазоні при розгоні; Δt_{ic} – відносний час руху у заданому швидкісному діапазоні при сталому русі.

Згідно з табл. 1 площа лобового опору автобуса А079 становить 6,27 м², а А08110 – 6,69 м². Припускаючи, що розподіл швидкісного діапазону обох моделей автобусів у міському режимі є однаковим (табл. 3), результати розрахунків за формулами (3 і 4) та даними табл. 1 і 3 зводимо у табл. 4.

Таблиця 4

Результати розрахунків витрат потужності на подолання опору повітря

Середня швидкість руху автобуса у цьому інтервалі V_{ai} , м/с	$\Delta t_{ip} + \Delta t_{ic}$	Витрати потужності N_w у фазах руху, Вт	
		модель автобуса	
		А079	А08110
1,39	0,1234	0,54	1,09
4,17	0,1621	19,17	38,55
6,95	0,1092	59,78	120,21
9,7	0,104	154,79	311,26
12,5	0,0568	180,91	363,79
15,28	0,0104	60,50	121,67
Сумарно	0,566	475,69	956,57

На перший погляд, витрати потужності на подолання опору повітря в обох випадках є порівняно мізерними. Оцінити ж порівняльні витрати палива можна, задавшись певним пробігом автобусів, наприклад – до капітального ремонту $L = 500$ тис. км (приблизно 6 років експлуатації).

Витрати палива за вказаний пробіг розраховуємо за формулою

$$Q = q_e N_w T_p / (1000\gamma) = q_e N_w L / (1000V_c\gamma), \quad (5)$$

де q_e – питома витрата палива, г/(кВт·год); N_w – витрати потужності на подолання опору повітря, кВт; T_p – тривалість руху за розглядуваний пробіг, год; γ – густина палива, кг/л; V_c – середня швидкість автобуса у міському режимі, км/год.

За даними досліджень [7] $V_c = 21,5$ км/год. Для рівних умов порівняння задамося, наприклад, моделлю двигуна DEUTZ BF 4M1013EC, потужність якого відповідає автобусам цього класу і питома витрата палива якого $q_e = 200$ г/(кВт·год). Тоді при $\gamma = 0,73$ кг/л за формулою (5) отримаємо: для автобуса моделі А079

$$Q_1 = q_e N_w L / (1000V_c\gamma) = 200 \cdot 0,48 \cdot 500000 / (1000 \cdot 21,5 \cdot 0,73) = 3058,3 \text{ л;}$$

для автобуса моделі А08110

$$Q_2 = 200 \cdot 0,96 \cdot 500000 / (1000 \cdot 21,5 \cdot 0,73) = 6116,6 \text{ л.}$$

При вартості палива $C_n = 20$ грн/л (0,77 \$ за курсом) економія завдяки більш обтічним архітектурним формам автобуса моделі А079 за пробігу 500 тис. км становитиме:

$$E = (Q_2 - Q_1) C_n = (6116,6 - 3058,3)20 = 61166,0 \text{ грн, або } 2355 \text{ $.}$$

Здавалося б, що порівняно більші витрати палива (коштів) при спрощених архітектурних формах передньої частини кузова автобуса (паралелепіпед) є незначними: приблизно 10194 грн, або 393 \$ на рік. Однак тут потрібно врахувати уніфікаційний аспект щодо архітектурних форм автобусів різного класу, насамперед автобусів, конструктивна концепція яких ґрунтується на типорозмірних рядах, основою яких є інтегральні модулі. При уніфікації архітектурних форм міських і міжміських (туристичних) автобусів доцільно виходити із того факту, що на міжміських

ділянках відносна тривалість фази сталого руху буде значно більшою, ніж під час міського руху, а тривалість фаз розгону, гальмування і зупинок буде відповідно меншою. Крім цього, чи не вирішальним чинником витрат потужності на подолання опору повітря буде значно вища швидкість сталого руху порівняно із міським режимом.

Зрозуміло, що спрощені архітектурні форми передньої частини, близькі до паралелепіпеда, є технологічно простішими, що мало б спричинити зменшення вартості автобуса. Однак тут у кожному конкретному випадку необхідне техніко-економічне оцінювання щодо адекватності цього зменшення і експлуатаційних витрат палива у процесі експлуатації автобуса.

Висновки

1. Наведено методику визначення коефіцієнтів лобового опору автобусів на основі експериментальних даних моделей-аналогів, у результаті чого обґрунтовано значення коефіцієнтів лобового опору автобусів моделі ЕТАЛОН А079 і А08110, вибраних як об'єкти для аналізу.

2. Висвітлено особливості конструкторсько-технологічного й економічного підходів до уніфікації архітектурних форм автобусів, конструктивна концепція яких ґрунтується на типорозмірних рядах, основою яких є інтегральні модулі.

3. Обґрунтовано, що в експлуатаційному аспекті для максимальної уніфікації архітектурних форм міських, міжміських і туристичних автобусів доцільно віддавати перевагу обтічним формам передньої частини їх кузовів, близьким до міжміських аналогів.

1. Гащук П. М. Ідентифікація поколінь автобусів за уніфікаційним критерієм / П. М. Гащук, С. В. Войтків, Б. В. Курач // Вісник державного університету безпеки життєдіяльності: Збірник наукових праць. – Львів, 2014. – № 10. – С. 32–55. 2. Гащук П. М. Використання поняття інтегрального модуля для формування типажних проектів автобусної техніки / П. М. Гащук, С. В. Войтків, Б. В. Курач // Вісник державного університету безпеки життєдіяльності: зб. наукових праць. – Львів, 2014. – № 10. – С. 56–75. 3. Атоян К. М. Аэродинамические исследования автобусов типа ЛАЗ / К. М. Атоян, М. Н. Возный, Г. Г. Гуменюк: сб. Труды ГСКБ по автобусам. – 1968. – Вып. 1. – С. 87–102. 4. Атоян К. М. Исследование аэродинамических характеристик автобусов при асимметричном натекании воздушного потока / К. М. Атоян, М. Н. Возный, Г. Г. Гуменюк, Н. Б. Яскилка: сб. Труды ГСКБ по автобусам. – 1970. – С. 157–170. 5. Возный М. Н. Некоторые вопросы формообразования автобусов с учетом аэродинамики: сб. Труды ВКЭИ автобуспрома, 1980. – С. 3–12. 6. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов по специальности “Автомобили и автомобильное хозяйство” – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с. 7. Немий С. В. Дослідження швидкісного режиму руху міських автобусів // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Динаміка, міцність та проектування машин і приладів”. – 2016. – № 838. – С. 202–211.