

УДК 621.423:621.333

С.С. Гутиря, д-р техн. наук, проф.,  
Д.М. Борденюк, магістр,  
А.М. Чанчін, магістр,  
Одес. нац. політехн. ун-т

## ТЕХНІЧНА ЕВОЛЮЦІЯ СВІТОВОГО І ВІТЧИЗНЯНОГО ТРОЛЕЙБУСОБУДУВАННЯ

*С.С. Гутиря, Д.М. Борденюк, А.М. Чанчін.* **Технічна еволюція світового і вітчизняного троллейбусобудування.** Виконано дослідження та аналіз технічної еволюції троллейбусів виробництва провідних світових і вітчизняних фірм. Виявлені тенденції зміни технічного рівня відображені за допомогою запропонованого безрозмірного критерію.

*С.С. Гутиря, Д.Н. Борденюк, А.Н. Чанчин.* **Техническая эволюция мирового и отечественного троллейбустроения.** Выполнено исследование и анализ технической эволюции троллейбусов производства ведущих мировых и отечественных фирм. Выявленные тенденции изменения технического уровня отражены посредством предложенного безразмерного критерия.

*S.S. Gutyriya, D.N. Bordenyuk, A.N. Chanchin.* **Technical evolution in world and national trolleybus building.** The research and the analysis of trolleybuses technical evolution of leading world and national firms production is carried out. The revealed tendencies of the technical level change are reflected by means of the proposed dimensionless criterion.

Міський електричний транспорт, що включає трамваї, троллейбуси, метро, канатні дороги тощо, у багатьох країнах світу вважається найперспективнішим, завдяки надійності і економічності в експлуатації, а також екологічності, через що населення надає йому найбільшу перевагу [1]. В Україні цей вид транспорту почав стрімко розвиватися лише з 60-х років ХХ ст., але на сьогодні його частка у пасажироперевезеннях уже складає від 42 до 60 %. Незважаючи на значні економічні труднощі, електротранспорт успішно функціонує і має перспективи для розвитку у 54 містах країни, зокрема його послугами користується населення всіх обласних центрів (окрім м. Ужгород), а також промислово-розвинених міст Донецької, Дніпропетровської, Луганської та ін. областей. Для порівняння, в Республіці Білорусь на сьогодні послугами міського електротранспорту користуються біля 4 млн людей, подальший розвиток цього транспорту дозволить уже в найближчий час поліпшити екологічну ситуацію загалом в 17 містах, де проживає приблизно 70 % всього міського населення.

Стосовно троллейбусів важливим уявляється те, що кожна машина потребує до 20 разів менше площі дорожньої мережі, ніж легковий автомобіль при тому ж обсязі перевезень завдяки тому, що місткість троллейбуса у 100 пасажирів дорівнює п'яти маршрутним таксі, таким як "Мерседес" чи "Богдан", значно збільшується середня швидкість перевезень, знижується завантаженість вулиць міста та загазованість автомобільним транспортом.

Водночас обмежений шкідливий вплив троллейбусів на довкілля (окрім шуму) чинять продукти зносу електричних контактів у складі рухомих з'єднань (мідь, алюміній, графіт). Знос гальмівних накладок на троллейбусах відбувається менш інтенсивно, ніж на автомобілях і автобусах, через переважно електродинамічне гальмування, оскільки механічне застосовується, як правило, тільки для догальмовування при швидкостях менше 5 км/год. Основними джерелами механічних коливань у троллейбусах є обертальні деталі та тертьові з'єднання у тягових електродвигунах (ТЕД), трансмісіях, компресорах, гідронасосах, електрогенераторах і вентиляторах, а також колісні шини, інтенсивність шуму яких залежить від рисунка протектора. У результаті системного впливу ударно-вібраційних навантажень кузов троллейбуса стає потужним джерелом акустичних коливань, що потребує ретельного дослідження і врахування при проектуванні з метою запобігання резонансних явищ і шумоізоляції.

Історія розвитку тролейбусного транспорту починається з безрейкового трамвая, побудованого німецькою фірмою “Сіменс-Гальське” у 1882 р., коли у передмісті Берліна Шпандау було започатковано першу у світі тролейбусну лінію. Цю дату вважають роком народження тролейбуса як гібрида трамвая і омнібуса, який згодом перетворився на автобус з ТЕД [1]. Перші експерименти із застосування в Росії тролейбусів провів у 1902 р. петербурзький інженер П.А. Фрезі, який випробував машину, побудовану за патентами французької фірми. Проектування тролейбусних ліній на приміських напрямках у Москві розпочалося в 1924 р., а в 1933 р. у Ярославлі були виготовлені дві пробні машини на базі автобусів Я-6, які розпочали роботу на першому в СРСР тролейбусному маршруті. Починаючи з 1962 р. серію тролейбусів ЯТБ замінено на модель ЗиУ-5 (Росія, м. Енгельс, завод ім. Урицького), а після 1980 р. — на моделі ЗиУ-6, -9, -10, які за вибірковими статистичними даними ще знаходяться в експлуатації у багатьох містах України та СНД (табл. 1).

Таблиця 1

Основні технічні параметри тролейбусів моделей 1938...1961 рр.

Параметри	Марка тролейбуса, країна-виробник, модельний рік			
	ЯТБ-4, СРСР, 1938	МТБ-82, СРСР, 1945	ЗиУ-5, СРСР, 1958	Шкода 9Тр, ЧССР, 1961
Маса спорядженого тролейбуса, т	8	9,25	9,8	9,2
Максимальна швидкість, км/год	40	55	68	60
Потужність ТЕД, кВт	60	80	95	115
Пасажиromісткість	50	56	90	93

Для серійних моделей тролейбусів виробництва 1950...70 рр. характерні такі *технічні ознаки*:

- побудова машин на базі конструкцій серійних автобусів, у яких запозичено металомісткий кузов, підвіску (пружні ресори) та трансмісію (головна передача двохступінчаста конічно-циліндрична, диференціал провідного моста містить чотири сателіти);
- питома потужність ТЕД складає в середньому 2,21 кВт на одного пасажера;
- функцію коробки передач виконує контактно-резисторна пускорегулююча електроапаратура;
- загальна пасажиromісткість в середньому 50...90 місць;
- шум у пасажирському салоні та в кабіні водія 84...86 дБ.

В 1991 р. в Україні прийнято рішення організувати вітчизняне виробництво: на Київському заводі електротранспорту було розроблено документацію і в 1992 р. розпочався випуск перших вітчизняних тролейбусів “Київ-1”. Для забезпечення тролейбусами всіх регіонів країни потужність заводу виявилась недостатньою, і до виробництва було підключено завод “Южмаш” (м. Дніпропетровськ), на якому вже у січні 1992 р. випущено перші тролейбуси моделі ЮМЗ Т-2 (за проектом моделі “Київ-1”). В процесі статичних і динамічних випробувань експериментальної машини засобами тензометрування були виявлені слабкі місця рами та кузова, внесені необхідні корективи і в результаті отримано міцну конструкцію з економією маси понад 100 кг. Шарнірно-зчленовану трьохосову конструкцію машини ЮМЗ Т-1 оснащено двома ТЕД потужністю 130 кВт виробництва заводу “Електротяжмаш” (м. Харків), що забезпечило можливість експлуатації тролейбусів в містах зі складним рельєфом (без зниження швидкості переборювати підйоми до 12°). Нова машина мала ще одну особливість: вперше в тролейбусі застосовано малогабаритні роз’єми, які раніше використовувались виключно в ракетній техніці, завдяки чому суттєво зменшився час на діагностику несправностей та їх усунення. На міжнародній виставці у Києві в 1993 р. завод продемонстрував машини Т-1 і Т-2, що вигідно відрізнялися зовнішнім дизайном кузова, зручними широкими проходами, статичним перетворювачем струму для внутрішнього живлення замість мотор-генератора. Вперше застосовано тїристорно-імпульсну систему керування ТЕД замість реостатно-контактної, а також компресор, який не потребує мащення на протязі всього терміну служби.

В 1993 р. до вітчизняних виробників тролейбусів приєднався “Львівський автобусний завод”, який на базі міського автобуса ЛАЗ-695 випустив новий тролейбус ЛАЗ-52522. Тяговим електродвигуном став ДК-213 потужністю 110 кВт, а оригінальні вузли і агрегати поставлені машинобудівними заводами ім. Малишева, “Серп і Молот”, “Лазово” та ін. підприємствами м. Харків. Через неуніфікованість вітчизняних тролейбусів ЛАЗ і ЮМЗ було прийнято рішення про використання у визначених містах машин тільки одного виробника. Починаючи з 1993 р., замість машин ЗиУ-9 і ЗиУ-10 в Одесу, Херсон і Чернігів почали надходити тролейбуси ЮМЗ Т-1, -Т2, а до Миколаєва та ін. міст — ЛАЗ-52522.

Якісне оновлення рухомого складу також почалося в часи незалежності — за рахунок моделей тролейбусів вітчизняного виробництва, а також з країн СНД та ЄС, зокрема машинами “Тролза”-6205, -6206, “TROLZA Megapolis” (Росія, м. Енгельс); ЛиАЗ TP5280 (Росія, м. Липецьк); МАЗ СВАРЗ-6235 (м. Мінськ, спільне виробництво Республіки Білорусь і Росії), *ROCAR-217*, *DAC-217E* (Румунія) та ін. (табл. 2).

У Європі провідними виробниками тролейбусів вважають фірми “Неоплан”, “Мерседес-Бенц” і “Ман” (ФРН), “ОАФ” (Австрія), “Ван Хул” (Бельгія), “Ірісбус” (Франція), “IVECO SOCIMI” (Італія), “Шкода Острава” (Чехія) та ін. (див. таблицю 2). У сучасних моделях цих виробників, на відміну від попередніх поколінь (див. таблицю 1), спостерігається ряд *нових технічних тенденцій*:

— уніфікація типорозмірів тролейбусів за довжиною (8...11 м; 12...18 м) і застосування ресорно-пневматичної підвіски;

— перехід на конструкції тролейбусів з висотою підлоги 360 мм, наявність системи клірингу, яка скорочує час посадки-висадки пасажирів і, в результаті, збільшує середню швидкість перевезень до 40 %;

— суттєве зниження питомої потужності ТЕД (до 1,03...1,3 кВт/на одного пасажирів), що зумовлено подорожчанням енергоресурсів;

— для зменшення ударного навантаження на трансмісію в електронній схемі силової пускорегулюючої електроапаратури передбачено передпускові позиції;

— трансмісія містить рознесену передачу із загальним передаточним числом у діапазоні значень  $u=9,636...10,699$ , що реалізується центральною геопідною ( $u=3,09$ ) або конічною ( $u=2,72$ ) передачею, а також бортовими ( $u=3,55$ ) або колісними ( $u=3,461$ ) редукторами.

Таблиця 2

Основні технічні параметри сучасних тролейбусів зарубіжного і вітчизняного виробництва

Модель, виробник, модельний рік	Маса спорядженого тролейбуса, т	Макс. швидкість, км/год	Потужність ТЕД, кВт	Пасажиромісткість загальна (місць для сидіння)	Питома потужність двигуна	Шум в салоні, дБ
<i>Pro 405 GNTD</i> , “Мерседес-Бенц”, ФРН, 1991	17,6	85	150	112 (38)	1,34	74
<i>IVECO SOCIMI SpA</i> , Італія, 2002	12,6	65	130	126 (32)	1,032	75
<i>Irisbus Cristalis ETB12</i> , Франція, 2010	13,4	75	160	125 (42)	1,28	72
ЗиУ-682 ГМ, Росія, 1991	1,5	65	135	114 (25)	1,184	84
ЮМЗ-Т1, Україна, 1996	18,1	60	260 (2×130)	170 (37)	1,53	83
ЛиАЗ TP 5280, Росія, 2005	10,4	60	115	106 (24)	1,09	80
АКСМ-321, Білорусь, 2001	11,4	60	170	115 (26)	1,48	76
МАЗ-СВАРЗ 6235, Білорусь, Росія, 2008	11,2	65	180	100 (26)	1,8	75
Тролза-6206, Росія, 2008	10,1	60	170	145 (29)	1,17	78
Богдан Т701.15, Україна, 2010	11,76	65	175	105 (32)	1,67	76

*Конкурентоспроможність транспортного засобу* визначається його відповідністю вимогам перевізників щодо безпечного, комфортного і економічного перевезення пасажирів, водночас конструкція має відповідати сучасному технічному рівню, який прийнято характеризувати певним комплексом показників службових властивостей [2].

На основі аналізу технічних параметрів вибірки серійних моделей тролейбусів виробництва фірм СНД моделей 1980...2010 рр. (рис. 1) встановлено, що за цей період:

— пасажиромісткість зросла на 44 %, що зумовлено вимогою підвищення рентабельності перевезень;

— максимальна швидкість зросла на 31 %, що відповідає можливостям руху по широких транспортних магістралях, а також наявності спеціальних полос для пасажирських перевезень на міжміських сполученнях (наприклад, між містами Ялта і Сімферополь);

— потужність ТЕД зросла на 30...40 %, передаточне число трансмісії збільшилось у 1,6...1,7 разу, відповідно обертовий момент на провідних колесах збільшився у 1,5...2 рази, що забезпечило підвищення не тільки пасажиромісткості, але і маневреності тролейбуса у містах зі складним рельєфом;

— рівень шуму в салоні суттєво знижено (у середньому на 8...12 дБ), що покращує умови роботи водія і комфортність перевезення пасажирів;

— масу спорядженого тролейбуса знижено на 30...40 % завдяки застосуванню сучасних матеріалів в конструкції кузова та салону, зокрема, вуглепластикових деталей та скла.

*Технічний рівень* продукції у машинобудуванні — це відносна характеристика якості, основана на співставленні значень певних показників, що характеризують технічну досконалість оцінюваної продукції, з відповідними базовими значеннями.

Для співставлення різних моделей тролейбусів за технічним рівнем і визначення відповідних тенденцій (часових трендів) їх технічної еволюції необхідно встановити адекватні за фізичною інформативністю, сталі у часі критеріальні показники, що характеризують технічну досконалість оцінюваних машин [3].

Як відомо, зв'язок між функцією, визначеною через розмірні параметри, і функцією у безрозмірній формі можна встановити на основі відомої *π-теорема* [4]: *будь-яке стале фізичне співвідношення між розмірними величинами можна формалізувати, як відношення безрозмірних величин.*

Виходячи з цього, засобами прикладної кваліметрії обгрунтовано комплексний безрозмірний критерій технічного рівня тролейбусів у вигляді

$$\gamma = 3,6 \frac{PH_0}{mgv} \approx 0,37 \frac{PH_5}{mv}$$

За наявними вибірковими даними побудовано діаграми зміни у часі критерію  $\gamma$  (рис. 2), аналіз яких дозволив зробити такі узагальнюючі висновки:

— починаючи з 1980 р. за комплексним критерієм (1) технічний рівень моделей тролейбусів виробництва фірм СНД поступово наближається до рівня кращих європейських моделей, а починаючи з 1995 р. означені рівні практично співпадають;

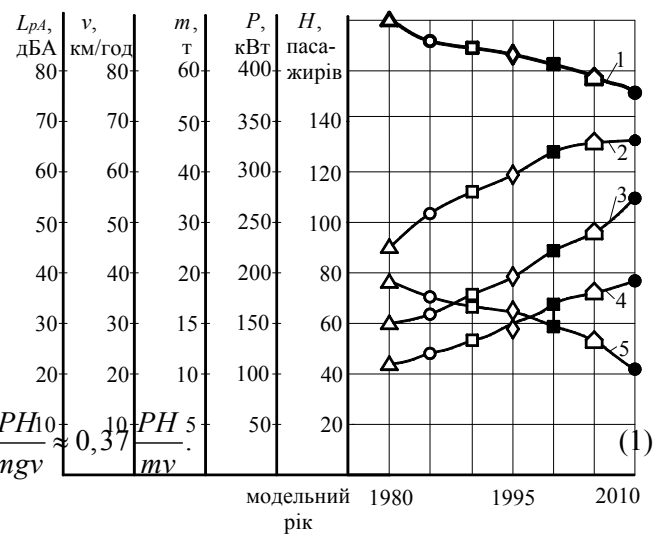


Рис. 1. Діаграма зміни у часі параметрів технічного рівня тролейбусів: 1 — нормативний рівень шуму  $L_{pA}$ ;

2 — максимальна швидкість  $v$ ; 3 —

пасажиромісткість  $H$ ; 4 — потужність двигуна  $P$ ; 5 — маса  $m$  спорядженого тролейбуса; позначки

відповідають моделям:  $\Delta$  — ЗиУ-682Б;  $\circ$  — ЗиУ-9;  $\square$  — ЮМЗ-Т2;  $\diamond$  — ЛуАЗ TP 5280;  $\blacksquare$  — МАЗ-СВАР3;  $\triangle$  — Trolza Megapolis;

$\bullet$  — Богдан T701.15

— для сучасних моделей виробництва фірм СНД (2000...2010 рр.) спостерігається *умовна перевага* над моделями європейських фірм, пов'язана з надмірною потужністю двигунів, що водночас спричиняє негативне зростання на 25...30 % енергоємності процесу транспортування, а також ускладнює подальше покращення віброакустичних показників.

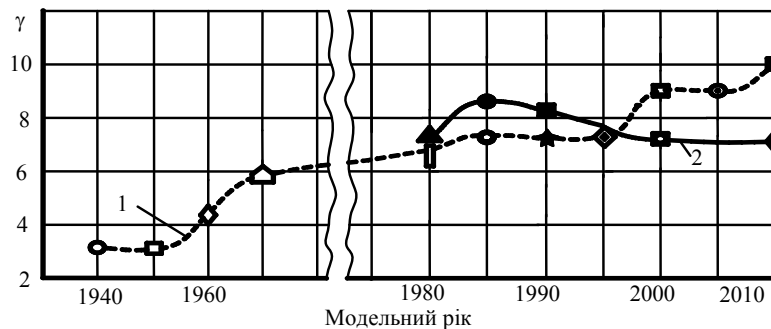


Рис. 2. Діаграма зміни у часі критерію  $\gamma$  за період 1938...2010 рр.: моделі виробництва СНД (1) та західноєвропейського виробництва (2); позначення моделей:  $\circ$  — ЯТБ-4;  $\square$  — МТБ-82;  $\diamond$  — ЗуУ-5;  $\triangle$  — Шкода 9Тр;  $\square$  — ЗуУ-9;  $\bullet$  — ЗуУ-682ГМ;  $\star$  — ЮМЗ Т2;  $\diamond$  — ЛуАЗ 5280;  $\square$  — МАЗ-СВАРЗ 6235;  $\odot$  — Trolza Megapolis;  $\square$  — Богдан Т 70115;  $\blacktriangle$  — Jelcz PR 110-E;  $\bullet$  — OAF Graf Stift NGE 152 M 17;  $\blacksquare$  — Pro 405 GNTD, “Mercedes-Бенц”;  $\square$  — Irisbus Cristalis ETB12;  $\blacklozenge$  — IVECO SOCIMI

На сьогодні в Україні вже наявна досить потужна власна виробнича база з виготовлення тролейбусів, опановано виробництво основних комплектуючих вузлів і агрегатів, зокрема тягового електроустаткування, провідних мостів, пускорегулюючої апаратури, компресорів та ін. Фірма “Богдан” (м. Луцьк) є першою з компаній транспортного машинобудування України, яка вийшла на європейський ринок з тролейбусом моделі Т701.15 спільного україно-чеського виробництва. Окрім основних технічних характеристик, які в цілому відповідають технічному рівню зарубіжних аналогів (див. таблицю 2), нова машина позитивно відрізняється від інших моделей вітчизняного виробництва тим, що:

— використано високонадійні комплектуючі: ТЕД і контрольно-керуюче обладнання виробництва фірми *Cegelec* (м. Острава, Чехія), ходову частину і підвіску виробництва фірми *ZF* (м. Фрідріхсхафен, ФРН), машину оснащено кондиціонерами;

— зменшено висоту підлоги тролейбуса до 350 мм, запроваджено систему клірингу, середні двері більш широкі і оснащені трапом для користування пасажирями з дитячими колясками, а також пасажирями на інвалідних візках.

На Вінницькому авіаційному заводі в рамках конверсії заплановано випуск зчленованих тролейбусів, кузови яких виготовлені не з сталевих трубчастих конструкцій, а із корозостійких алюмінієвих сплавів та композитних матеріалів. Такі кузови не потребують ремонту 15 років. Проект нової машини розроблено в АНТК ім. О.К. Антонова, а замовником дослідного зразка є мерія м. Києва. Нова машина легша моделі ЮМЗ-Т2 на 2600 кг, а місткість збільшена до 200 пасажирів за рахунок перепланування салону.

Таким чином, вже у найближчий час в Україні має розпочатися докорінне переоснащення тролейбусного парку, а розвиток тролейбусобудування стає одним із пріоритетних напрямків фундаментальних і прикладних наукових досліджень.

Водночас, через ряд об'єктивних техніко-економічних чинників в деяких містах країни електротранспорт втрачає свою домінуючу роль. Так, впродовж останніх десяти років випуск на маршрути тролейбусів скоротився в середньому по Україні у 1,5 рази, значно погіршилася регулярність руху, зменшилася в середньому на 26 % насиченість транспортної мережі тролейбусами. Основними негативними чинниками цих явищ є значне погіршення технічного стану рухомого складу у попередні роки, в результаті чого на сьогодні кількість машин, що відпрацювали нормативний ресурс, а також застарілих за технічним рівнем у середньому становить 65...75 % (табл. 3). Стан справ ускладнюється тим, що обсяг капітального ремонту

рухомого складу, виконаного спеціалізованими підприємствами, зменшився за цей час більш ніж у 5 разів.

Таблиця 3

Показники технічного стану тролейбусного парку в обласних центрах України за вибірковими статистичними даними 2010 р.

Обласні центри	Рухомий склад (кількість машин)	Кількість машин нових (застарілих), од.	Середній термін експлуатації, років	Середньо-зважений нормативний ресурс, років	Відпрацювали машини, що відпрацювали нормативний ресурс, %
Київ	Шкода 14Тр (233), Шкода 15Тр (45), ЮМЗ-Т1, -Т2 (114), ЛАЗ-Е183, -Е301 (110), Київ-12 (5), МАЗ-103Т (44), Богдан Е-231 (3)	236 (318)	20,3	11	54
Одеса	ЮМЗ-Т1, -ТП2 (31), ЮМЗ-Т2 (10), Тролза-5265 (16), ЗиУ-9 (115)	67 (105)	17,9	10	76
Харків	ЗиУ-682, -683 (236), ROSAR-217 (28), DAC-217E (4), ЮМЗ-Т1 (44)	44 (268)	27	11	65
Львів	ЛАЗ-Е183 (11), ЛАЗ-52522 (20), Шкода14Тр (59), Богдан Т601.11 (2)	33 (59)	12,8	12	64
АР Крим	Шкода 9Тр, -14Тр, -15Тр (255), ЗиУ-6205 (2), ЮМЗ-Т1, -Т2 (5), Київ-12 (4), АКСМ-32102 (5), Богдан Т701.10 (1)	15 (257)	25,7	14	92
У середньому		395 (1007)	20,7	11,6	70

Покращення техніко-економічних показників роботи підприємств міського електротранспорту потребує насамперед розробки і застосування сучасних методів і засобів підтримки в справному стані рухомого складу, що включає [1, 5]:

— впровадження прогресивних технологій і сучасну організацію технічного обслуговування на основі моніторингу технічного стану рухомого складу;

— застосування сучасного діагностуючого обладнання й устаткування для механізації і автоматизації процесів якісного технічного обслуговування.

Як відомо, технічна діагностика виконується для отримання достовірної інформації про стан агрегатів, вузлів та деталей машини, прихованих і назриваючих відмов з метою запобігання передчасному або запізненому ремонтному втручання, а також для контролю якості запасних частин, технічного обслуговування та ремонту. Діагностування технічного стану ресурсоємних у виробництві машин системної складності, особливо аварійно небезпечних пасажирських транспортних засобів, їх окремих систем, агрегатів, вузлів тощо має здійснюватися виключно за науково обґрунтованими алгоритмами і методиками, що адекватно враховують особливості конструкції певного транспортного засобу та умови його експлуатації [5].

На основі результатів виконаного дослідження:

— встановлено основні напрямки підвищення технічного рівня вітчизняних моделей тролейбусів до рівня кращих зарубіжних аналогів за показниками енергозбереження, комфортності перевезень і надійності експлуатації;

— обґрунтовано актуальність і практичну доцільність моніторингу технічного стану тролейбусів, розширення і поглиблення рівня діагностики машин, які відпрацювали нормативний ресурс, що дозволить суттєво підвищити надійність експлуатації і ресурс рухомого складу, а також покращити техніко-економічні показники роботи транспортних підприємств.

**Література**

1. Габарда, Д.И. Новые транспортные системы в городском общественном транспорте / Д.И. Габарда. — М.: Транспорт, 1990. — 216 с.
2. Бурдаков, В.Д. Квалиметрия транспортных средств / В.Д. Бурдаков // Стандарты и качество. — 1986. — № 11. — С. 12 — 17.
3. Гутыря, С.С. Основы теории системного отображения качества машин / С.С. Гутыря // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2003. — Вып. 2(20). — С. 28 — 32.
4. Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. — М.: Наука, 1987. — 368 с.
5. Веклич, В.Ф. Диагностирование технического состояния троллейбусов / В.Ф. Веклич. — М.: Транспорт, 1990. — 295 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. політехн. ун-ту О.Ф. Дашенко

Надійшла до редакції 20 грудня 2010 р.