

Сахно В.П.¹, Маяк М.М.², Котенко А.С.²¹Національний транспортний університет, м. Київ, Україна,
²Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ДО ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНИХ АВТОБУСІВ З РІЗНИМИ СИЛОВИМИ УСТАНОВКАМИ

У міському автобусному парку великих міст чільне місце займають шарнірно-зчленовані автобуси особливо великого класу загальною довжиною від 16,5 м до 18,5 м, місткістю від 150 до 200 чоловік і загальною масою 28-30 т.

Концепція створення автобусів особливо великого класу базується на гібридних технологіях. Поряд з автобусами з гібридними силовими установками у міських перевезеннях пасажирів широко використовують і автобуси з дизелями і рідше – електробуси. Тому доцільним і актуальним є порівняння автобусів великого класу з гібридною силовою установкою, дизелем та електроприводом при їх роботі на одному і тому ж маршруті. На основі аналізу тягово-швидкісних властивостей шарнірно-зчленованих автобусів з різними силовими установками, зокрема MA3-215. M69, Otocar DRIVE 18 і NS_18diesel_ANG_ok.cdr з дизелями, URBAN WAY Iveco BUS і Urbino 18 Metro Style з гібридною силовою установкою і електробусів Otocar Citea KENT C і Citea SLFA- 187 встановлено, що кращим автобусом є електробус Otocar Citea KENT C, сума відносних показників тягово-швидкісних властивостей якого склала 11,794, якому дещо поступається автобус з гібридною силовою установкою Urbino 18 Metro Style, сума відносних показників тягово-швидкісних властивостей якого склала 11,367. Про те, при остаточному виборі того чи іншого автобуса для конкретних умов експлуатації необхідно виходити не тільки з тягово-швидкісних властивостей, а враховувати також енергетичні затрати, наявність розгалуженої мережі заправок для дизелів і електроустановок, вартість обслуговування тощо.

Ключові слова: автобус, силова установка, порівняльний аналіз, рівняння руху, тягово-швидкісні властивості, відносний показник

ВСТУП

З розвитком суспільства і постійним збільшенням автотранспортних засобів на міських вулицях суттєво зростає роль міського транспорту громадського користування, у першу чергу автомобільного. Міський автомобільний транспорт громадського користування являється провідним у більшості міст нашої держави. Він передбачає перевезення пасажирів автобусами, тролейбусами і такими новітніми типами транспортних засобів як гібридні автобуси та електробуси [1]. Частка пасажирських міських перевезень в Україні становить приблизно 82 %, приміських – 15 %, міжміських – 3 %, а міжнародних – 0,002 %. Міські автобуси щодня проїжджають по 200–250 км. Отже, стоїть завдання створити екологічно чистий автобус [2].

За даними міжнародного союзу громадського транспорту, міський наземний громадський транспорт вимагає при однаковій провізній спроможності в 20 разів менше площі дорожньої мережі в порівнянні з індивідуальними легковими автомобілями. Сучасний автобус у 5 разів менше забруднює атмосферу і вимагає в 3 рази менше енергетичних витрат у розрахунку на одного перевезеного пасажирів в порівнянні з індивідуальним легковим автомобілем [2].

Автобусобудування, як частина загального автомобілебудування, має свою характерну особливість: незважаючи на те, що загальний випуск автобусів складає лише одиниці відсотків від загального випуску автомобільної техніки, їх виробництво здійснюється на значно більшій кількості підприємств, чим легкових і навіть вантажних автомобілів, дуже часто обмеженими партіями.

Міський автобусний парк включає в себе автобуси різних класів. Неконтрольована заміна автобусів великого та особливо великого класів на мікроавтобуси призвела до погіршення транспортної ситуації на вулицях міста, перевантаженості посадочних майданчиків автобусами, збільшення вірогідності виникнення дорожньо-транспортних пригод, зростання кількості викидів токсичних речовин у навколишнє середовище. Як показав проведений аналіз, в категорії особливо великих автобусів розрізняються автобуси довжиною від 16,5 м до 18,5 м. Серед виробників особливо великих автобусів провідне місце займають фірми Франції, Бельгії, Австрії, Угорщини і Швейцарії, Німеччини, а також США і Японії [4].

Місткість особливо великих автобусів складає від 200 до 150 чол. Аналіз тенденцій зміни повних мас автобусів підтверджує їхню природну залежність від місткості і розмірів. Для особливо великих зчленованих автобусів найбільш чисельною є категорія з повною масою 28 т.

Обмеження повної маси і навантажень на окремі осі автобуса обумовлено чинним

законодавством, що діє у різних країнах. Ці обмеження ставлять перед конструкторами необхідність конкретного вибору: задовольнити чинному законодавству в частині навантаження шляхом обмеження місткості або зниженням розмірності (довжини) автобуса, або за рахунок планування салону, тобто співвідношення числа місць для сидіння та стояння. І конструктори використовують обидві можливості приблизно в однаковій мірі.

Автобуси особливо великого класу з метою забезпечення необхідної маневреності виконуються, як правило, зчленованими. Досягнення нормованих показників маневреності автобусів особливо великого класу можливе також за рахунок застосування керованих (самоустановлювальних) коліс - як для одиночного транспортного засобу, так і для зчленованого [4].

Концепція створення маневрених, з підвищеною прохідністю, економічних та екологічно чистих дорожніх транспортних засобів, у т.ч. автобусів, базується на гібридних технологіях. Ці технології дозволяють так розподілити тягове зусилля між осями причіпної ланки, за якого можна досягти мінімального опору кочення, а відповідно мінімальної витрати палива і кращих екологічних показників. Раціональний розподіл тягового зусилля, що створюється базовим двигуном і електродвигуном, за мінімізації витрати палива і токсичності відпрацьованих газів для легкових автомобілів і вантажних малої вантажопідйомності розглянуто в роботах [5].

Випробування гібридного громадського транспорту, що проводилися в Гетеборзі, показали, що витрата палива автобуса Volvo менше 11 літрів на кожні 100 км. Це значно менше, ніж споживає еквівалентний дизельний автобус. Гібриди (в проєкті було задіяно 3 автобуси) курсували за встановленими маршрутами громадського транспорту, періодично заряджаючи акумулятор на зупинках. Підзарядка відбувалася за допомогою підключення до зарядних шин [4]. Поряд з автобусами з гібридними силовими установками у міських перевезеннях пасажирів широко використовують і автобуси з дизелями і рідше – електробуси. Тому доцільним і актуальним є порівняння автобусів великого класу з гібридною силовою установкою, дизелем та електроприводом при їх роботі на одному і тому ж маршруті. Метою роботи є порівняльний аналіз шарнірно-зчленованих автобусів зрізними силовими установками за показниками тягово-швидкісних властивостей.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У теперішній час однією з найважливіших проблем сучасного автомобілебудування є створення високоефективних транспортних засобів, силові установки яких не забруднюють атмосферу шкідливими продуктами згоряння палива. До найбільш перспективних автотранспортних засобів відносять електромобіль. Однак його джерела енергії - акумуляторні батареї - поки не можуть конкурувати з бензином і дизельним паливом за питомою енергоємністю. Тому основним вектором розвитку сучасних екологічно чистих дорожніх транспортних засобів слід вважати гібридні силові установки на основі комбінації двигуна внутрішнього згоряння та тягових електричних машин, які отримують живлення від електричних накопичувачів енергії - акумуляторних батарей або суперконденсаторів [5].

Нові розробки в галузі створення багатоланкових АТЗ і методик оптимізації їх конструкцій, у тому числі і автобусів великого класу, орієнтовані на мінімізацію витрат палива, енергії, поліпшення показників маневреності та керованості. Багато теоретичних даних з питань оптимізації складних механічних систем і мультіоб'єктивних методів оптимізації наведено в [6]. У роботі [7] розглянуто схемні рішення та особливості побудови автотранспортних засобів з гібридною силовою установкою, електричні системи та комплекси гібридного автомобіля.

При оцінюванні можливих варіантів застосування альтернативних видів палив важливо брати до уваги весь життєвий цикл таких палив – від виробництва до споживання – з огляду на викиди парникових газів за умови використання таких палив. Це стосується як вибору альтернативних джерел енергії, так і виробничих процесів. Використання електричної енергії та водню в якості джерел енергії ніби-то сприяють зменшенню вуглецевих викидів. Однак комплексно оцінити ступінь цього зменшення можна лише з урахуванням аналізування способу виробництва цих джерел енергії [6]. Оцінка потенційного пом'якшення у транспортному секторі, пов'язаного з використанням альтернативних джерел енергії до 2030 року, є невизначеною через те, що такий потенціал залежить від світового видобутку нафти та його впливу на ціну палива, економічної життєздатності альтернативних палив, а також науково-дослідних висновків у багатьох сферах, особливо у технології виробництва палив з біомаси та його стійкості у широких масштабах, а також терміну роботи батарей, їхньої вартості та специфіки. Іншою проблемою достовірної оцінки ефекту використання

інших видів палив є обмежена кількість та сфера доступних знань стосовно потенційного пом'якшення та вартості [7].

Автобуси, як засіб громадського транспорту, можуть значно зменшити проблеми, викликані в міських районах, завдяки використанню ГСУ. Впровадження гібридних технологій для автобусів значно зросло за останні кілька років. Ці технології досягли великих проривів в Північній Америці і Європі і стали широко застосовуватись останнім часом. У міському циклі руху автобуса, особливо у великих містах, при різко змінному характері навантажень, частих зупинках, багатократних гальмування двигун автобуса працює далеко не в оптимальному режимі. Значна частина палива спалюється даремно, викиди в атмосферу чадного газу, двоокису вуглецю та інших шкідливих речовин і твердих частинок перевищують екологічні норми роботи транспортних засобів. Використання автобусів з ГСУ дозволяє підвищити енергетичну ефективність роботи автобуса, що в свою чергу дозволяє понизити в 2-10 разів рівні викидів шкідливих речовин (CO, CO₂, NO_x, HC і ін.), забезпечити економію палива в межах 20-50% в залежності від енергоефективності використання ДВЗ та тягового електродвигуна, а також від типових циклів руху на даному маршруті [8].

Розробкою гібридних автобусів займаються багато відомих виробників автобусів, такі як: Gillig, ISE Corporation (Північна Америка); Scania, Iveco Irisbus, Van Hool, VDL Bus & Coach, Hess AG (Європа), Tata Motors, Toyota-Hino, Hyundai Motor Company, Mitsubishi Fuso (Азія), також Україна. На міжнародньому автосалоні Busworkd Kortrijk «Богдан Моторз» представив гібридний автобус A70522. Новинка відповідає стандарту Євро-5 і призначена для роботи на міських маршрутах. Комбінація електродвигуна і лизеля дозволяє в міських умовах зменшити витрату палива на 30...35% і значно скоротити викиди в атмосферу шкідливих газів. Демонстрація гібридної моделі Volvo буде проходити у Бельгії в автосалоні Busworkd Kortrijk у жовтні 2017 р. Новий автобус є модифікацією одиночного автобуса Volvo 7900 Hybrid. Цей автобус відрізняється значною економічністю у порівнянні з дизельною моделлю. На сьогоднішній день корпорація "VolvoBuses" є однією із європейських і світових лідерів з випуску автобусів-гібридів [5].

Нові розробки в галузі силових установок і методик оптимізації орієнтованих на мінімізацію витрат палива та енергії розглянуто в роботі [8]. Багато теоретичних даних з питань оптимізації складних механічних систем і мультиоб'єктивних методів оптимізації, наведено в [7]. У роботі [9] розглянуті стохастичні моделі відтворення на ЕОМ методом Монте-Карло процесу руху автомобіля в різних дорожніх умовах з визначенням середньої швидкості руху, витрати палива, середнього відсотка використання потужності двигуна, часу руху на різних передачах, числа включень передач та ін.

Підвищення експлуатаційних характеристик дорожньої мережі та її розбудови є, поза сумнівом, одним з потужних заходів для розв'язання проблеми безпеки дорожнього руху. В той же час, відповідно до вищенаведених результатів досліджень європейських вчених, зменшення кількості транспортних засобів та водіїв на дорожній мережі значно поліпшить ситуацію із аварійністю. Тому, одночасно з розвитком транспортної інфраструктури, доцільно також сфокусувати увагу на можливості розвантаження дорожньої мережі за рахунок удосконалення організації пасажирських перевезень і вибору оптимального рухомого складу.

В Україні, на жаль, недостатньо виробництво зчленованих автобусів великої пасажиромісткості. Очевидним є той факт, що придбання таких транспортних засобів іноземного виробництва має передувати детальний порівняльний аналіз їх технічних характеристик з огляду на забезпечення ними задоволення вимог, які встановлюються національним та міжнародним законодавством, а також замовниками (споживачами) цієї продукції щодо таких техніко-експлуатаційних властивостей автопоїздів як активна та пасивна безпека, тягово-швидкісні властивості, паливна економічність, екологічні показники, керованість, стійкість. Вибір типу зчленованих автобусів має здійснюватися з урахуванням безпечності їх конструкцій, а також з урахуванням відповідності їх експлуатаційних характеристик умовам, за яких планується здійснення перевезень та цілям, які встановлені організаторами перевезень.

Тягово-швидкісні властивості мають важливе значення при експлуатації автомобіля, оскільки вони безпосередньо пов'язані із середньою швидкістю руху та продуктивністю. Поліпшення тягово-швидкісних властивостей означає збільшення потенційної середньої швидкості та зменшення часових втрат перевезення вантажів, а також підвищення продуктивності автомобіля [10-15].

Ці властивості визначають динаміку розгону автомобіля, можливість розвивати ним максимальну швидкість, зменшувати час, необхідний для розгону автомобіля до певної швидкості.

Поліпшення тягово-швидкісних властивостей є однією з основних тенденцій розвитку автомобілебудування, про що свідчать більш високі значення максимальної швидкості та прискорення кожного нового покоління автомобілів. Це стосується також і автобусів, у т.ч. зчленованих, які можуть бути гібридними, електричними, а також з дизелями. Метою роботи є порівняльний аналіз шарнірно-зчленованих автобусів з різними силовими установками за показниками тягово-швидкісних властивостей.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для порівнянні обрані шарнірно-зчленовані автобуси з різними силовими установками, коротка технічна характеристика яких наведена в табл.1.

Таблиця 1– Коротка технічна характеристика автобусів

Автобус	МАЗ-215. М69	Otocar DRIVE 18	NS_18diesel_ANG_ok.cdr	URBANWAY Iveco BUS	Urbino 18 MetroStyle	Otocar Citea KENT C	Citea SLFA-187
Довжина, L, мм	18750	18000	18750	18000	18000	18000	18750
Ширина, B, мм	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550
Висота, H, мм	3350	3350	2995	3150	3150	3350	3290
Пасажирамисткість, людей	183	195	210	210	210	195	125
Загальна маса, кг	28000	29000	30000	30000	30000	30000	29000
Двигун							
Тип, модель	Дизель Mercedes-Benz OM926LA	Дизель DAF MX11 271	Дизель FPT Industrial S.p.A./ F2CFE612C	Гібрид: Дизель Cursor 9 Diesel+2 electric Motor	Гібрид: DAF MX11 271+ Allison EV50	Електро	Електро
Немах, кВт/п _N , хв ⁻¹	240/1900	271/1700	243 / 2 200	265/1900	271/1700	410(310)/3800	240(2100)/1900
М _{емах} , Нм/п _M , хв ⁻¹	1450/1600	1660/1000-1600	1 400 / 1200	1650/1200	1660/1000 - 1600	3100 (2395)/2500	3600(1337)/1500
Трансмiсія							
Коробка передач	ZF EcoLife 6AP1400B	ZF Ecolife 4AP	ZF Ecolife 6AP1400B	VOITH Diwa NXT	VOITH Diwa 6		
Головна передача	ZF / AV133 u _o =5,76	ZF AV133/80 u _o =5,76	ZF / AV133 u _o =5,76	ZF AV132 u _o =5,16	ZF AV 133 EP, u _o =5,76	AV133/80 u _o =5,76	ZF / AV133 u _o =5,76
Мости							
Передній міст	ZF / RL 82EC	ZF RL 82EG	ZF / RL 82EC	ZF RL 75EC	ZF RL 82EC	ZF RL 82EG	ZF / RL 82EC
Середній міст	ZF / AVN132	ZF AVN132	ZF / AVN132	ZF AV132 S	ZF AVN132	ZF AVN132	ZF / AVN132
Задній міст	ZF / AV133	ZF AV133/80	ZF / AV133	ZF AV132	ZF AV133	ZF AV133/80	ZF / AV133
Шини							
275/70 R 22,5	275/70R 22,5	275/70R 22,5	275/70 R 22,5	275/70 R 22,5	275/70 R 22,5	275/70 R 22,5	275/70 R 22,5

Розрахунок показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля базується на його характеристиках та умовах експлуатації. Диференціальне рівняння, яке використовується в теорії

автомобіля, справедливе для прямолінійного руху і тому може бути використане для моделювання руху на ЕОМ в умовах визначення основних оцінних показників тягово-швидкісних властивостей [8]:

$$\frac{dv}{dt} m_a \delta_{об} = P_{ко}(v) - P_o(v, v^2) \pm G_a \sin \alpha, \quad (1)$$

де m_a – маса автомобіля;

$\delta_{об}$ – коефіцієнт, що враховує обертові маси автомобіля;

$P_{ко}(v)$ – повна колова сила на ведучих колесах автомобіля;

$P_o(v, v^2)$ – сума сил опору руху автомобіля, що залежать від швидкості його руху;

$G_a \sin \alpha$ – сила опору підйому;

G_a – сила тяжіння від повної маси автомобіля;

α – кут нахилу поверхні дороги;

v – швидкість руху автомобіля;

$\frac{dv}{dt}$ – прискорення автомобіля.

Рівняння (1) дозволяє визначити різні показники тягово-швидкісних властивостей як тих, які нормовані, так і тих, що рекомендовані різними дослідниками, зокрема такими, що наведені у роботі [10]:

1. Час розгону до максимальної швидкості.
2. Шлях розгону до максимальної швидкості.
3. Середня швидкість на дорозі зі змінним поздовжнім профілем.
4. Максимальна швидкість.
5. Прискорення при розгоні.
6. Час розгону на шляху 400 і 1000 м.
7. Мінімальна стійка швидкість.
8. Максимальний долаємий підйом.
9. Усталена швидкість на затяжних підйомах.
10. Сила тяги на гаку.
11. Довжина динамічно долаємого підйому.

Основні розрахункові формули для визначення показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Основні розрахункові формули для визначення показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля [15]

Параметр	Розрахункова формула
1	2
Рівняння руху при розгоні	$\frac{dV}{dt} m_a \delta_o = aV^2 + bV + c_i$
Час розгону, с	$\tau = M_a \delta_o \int_{V_H}^{V_K} \frac{dV}{aV^2 + bV + c_i}$
Шлях розгону, м	$S = m_a \cdot \delta_o \cdot \left\{ \frac{1}{2a_i} \ln aV^2 + bV + c_i \Big _{V_H}^{V_K} - \frac{b_i}{2 \cdot a_i} \int_{V_H}^{V_K} \frac{dV}{aV^2 + bV + c_i} \right\}$
Рівняння руху при вибігу	$\frac{dV}{dt} \cdot m_a \cdot \delta'_o = -m_a \cdot g(f_0 K_f V) - K_B \cdot F \cdot V^2 - P_{fx}$
Мінімальна усталена швидкість, м/с	$V_{\min y} = -\frac{m_a g f_0 A_i - K_B F C_i}{m_a g K_f A_i - K_B F B_i} + \sqrt{\left(\frac{m_a g f_0 A_i - K_B F C_i}{m_a g K_f A_i - K_B F B_i} \right)^2 - \frac{m_a g (f_0 B_i - K_f C_i)}{m_a g K_f A_i - K_B F B_i}}$

Продовження таблиці 2

1	2
Максимальна швидкість, м/с	$V_{\max} = \frac{-b_i - \sqrt{b_i^2 - 4a_i c_i}}{2a_i}$
Максимальне прискорення при розгоні, м/с ²	$j_{\max} = \frac{1}{G_a \delta_i} \left(c_i - \frac{b_i^2}{4a_i} \right)$
Максимальний долаємий підйом	$\sin \alpha_{\max} = \frac{1}{G_a \delta} \left(C_i - G_a g f_0 \cos \alpha - \frac{(B_i - G_a g K_f \cos \alpha)^2}{4A_i} \right)$
Швидкість на підйомі, м/с	$V_{\text{всм}} = \frac{-b_i - \sqrt{b_i^2 - 4a_i c_i}}{2a_i}$
Максимальна сила тяги на гаку, Н	$P_{\text{КР max}} = C_i - \frac{b_i^2}{4a_i}$
Середня швидкість на маршруті, м/с	$V_c = \frac{0,27 N_{\text{y0}} \eta_m \sum_{i=1}^n K_i d_i}{\frac{\gamma_{\text{piN}} \sum K_i d_i}{l_i}}$
Коефіцієнти рівнянь	$a_i = A_i - K_B \cdot F, \quad b_i = B_i - K_f \cdot m_a \cdot g, \quad c_i = C_i - f_a \cdot m_a \cdot g ;$ $A_i = a \cdot \frac{U_i^3 \cdot \eta_m}{r_0 r_k^2}, \quad B_i = b \cdot \frac{U_i^2 \cdot \eta_m}{r_0 \cdot r_k}, \quad C_i = c \cdot \frac{U_i \cdot \eta_m}{r_0},$ $a = \frac{M_{e\min}}{A_{11}} + \frac{M_{e\max}}{A_{12}} + \frac{M_{eN}}{A_{13}},$ $b = \left[\frac{(\omega_N + \omega_M) \cdot M_{e\min}}{A_{11}} + \frac{(\omega_N + \omega_{\min}) \cdot M_{e\max}}{A_{12}} + \frac{(\omega_{\min} + \omega_M) \cdot M_{eN}}{A_{13}} \right],$ $c = \left(M_{e\min} \cdot \frac{\omega_M \cdot \omega_N}{A_{11}} + M_{e\max} \cdot \frac{\omega_N \cdot \omega_{\min}}{A_{12}} + M_{eN} \cdot \frac{\omega_{\min} \cdot \omega_M}{A_{13}} \right);$ $\delta_i = 1 + \sigma_1 \times U_{ki}^2 + \sigma_2 ; \quad P_{fx} = (2 + 0,025 \cdot V) \cdot m_a \cdot g \cdot 10^{-3}, \quad H$ <p> f_0 – коефіцієнт опору кочення за швидкості 1 м/с; f_a – коефіцієнт опору кочення при заданій швидкості; K_f – коефіцієнт, що враховує приріст коефіцієнта f від швидкості руху; K_B – коефіцієнт опору повітря; F – площа поперечного перерізу автобуса; m_a – маса автобуса; g – прискорення вільного падіння; V_K, V_H – кінцева і початкова швидкість в процесі розгону; $N_{\text{уд}}$ – питома потужність автобуса; η_m – коефіцієнт корисної дії трансмісії; K_i – відносний шлях руху автобуса на i-ій передачі γ_{piN} – питома тягова сила на i-ій передачі при роботі двигуна в режимі максимальної потужності; l_i – коефіцієнт, що враховує тип закону розподілу швидкості на передачі; $d_i = \frac{V_i}{V_{i-1}},$ </p>

V_i, V_{i-1} – максимальні швидкості на i -ій та $i-1$ передачах.

У відповідності з наведеним алгоритмом розрахунку визначені показники тягово-швидкісних властивостей автобусів з різними силовими установками, табл.3.

Таблиця 3 – Показники тягово-швидкісних властивостей автобусів

	Назва показника	Оціночні показники автобусів							
		MA3-215. M69/	Otocar DRIV E 18/	NS_18die sel_ANG _ok.cdr/	URBA NWA YIvec o BUS/	Urbino 18 Metro Style/	Otocar Citea KENT C	Citea SLFA-187/	Етало н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	час розгону до $V=25$ м/с, с	145,8	137,02	149,3	129,8	122,2	131,5	157,3	122,2
2	шлях розгону до $V=25$ м/с, м	1352,9	1298,6	1398,2	1208,6	1183,2	1234,3	1457,2	1183,2
3	середня швидкість, м/с	17,07	18,26	16,53	20,66	20,31	21,34	16,06	21,34
4	максимальна швидкість, м/с	26,02	27,82	23,53	28,96	29,31	28,84	23,09	29,31
5	тах. прискорення при розгоні, м/с^2	1,67	1,89	1,56	1,98	2,07	2,82	1,72	2,82
6	Час розгону на шляху: 400 м	49,8	37,8	49,2	31,8	30,2	28,5	39,3	28,5
	1000 м	85,3	77,2	89,8	79,5	77,8	75,1	87,3	75,1
7	мінімальна стійка швидкість, м/с	1,55	1,55	1,55	1,38	1,38	1,21	1,21	1,21
8	максимальний долаємий підйом, %	31,66	35,04	29,85	32,97	33,19	34,26	31,26	35,04
9	усталена швидкість на затяжних підйомах (3%), м/с	20,82	22,53	23,53	23,16	23,54	24,84	21,09	24,84
10	тах. сила тяги на гаку, кН	83,76	85,87	81,74	88,96	95,16	90,82	80,83	95,16
11	довжина динамічно долаємого підйому (3%), м	1168	1191	1183	1198	1256	1216	1176	1256

Порівняння автобусів за показниками тягово-швидкісних властивостей виконаємо за допомогою відносних показників

$$k_i = \frac{P_{ii}}{P_e}, \quad (2)$$

де P_{ii} – значення показника для конкретного автобуса;

P_e – значення показника для еталонного автобуса.

У табл.4, наведені результати розрахунку відносних показників тягово-швидкісних властивостей автопоїздів, що розглядаються.

Як слідує з табл.4, кращим за показниками тягово-швидкісних властивостей є електричний автобус Otocar Citea KENT C, загальна сума відносних показників склала 11,794. Дещо цьому автобусу поступається автобус з гібридною силовою установкою Urbino 18 зовнішньої характеристики електродвигуна і раціональним вибором трансмісії автобуса. Усі інші автобуси, за виключенням Otocar DRIVE, сума відносних показників якого 10,543, майже однакові. Тому в основу вибору автобуса для конкретних умов експлуатації поряд з тягово-швидкісними властивостями повинні враховуватися і інші, зокрема енергетичні затрати, маневреність і стійкість руху.

Таблиця 4 – Відносні показники тягово-швидкісних властивостей автобусів

1	Назва показника	Оціночні показники автобусів							
		MA3-215. M69	Otocar DRIVE 18	NS_18 diesel_ANGLE.ok.cdr	URBANWAYIv eco BUS	Urbino 18 Metro Style	Otocar Citea KENT C	Citea SLFA-187/	Еталон
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	час розгону до V=25 м/с, с	0,838	0,892	0,818	0,941	1,000	0,929	0,777	122,2
2	шлях розгону до V=25 м/с, м	0,875	0,911	0,846	0,980	1,000	0,959	0,812	1183,2
3	середня швидкість, м/с	0,800	0,856	0,775	0,968	0,952	1,000	0,753	21,34
4	максимальна швидкість, м/с	0,888	0,949	0,803	0,988	1,000	0,984	0,788	29,31
5	тах. прискорення при розгоні, м/с ²	0,592	0,670	0,553	0,702	0,734	1,000	0,610	2,82
6	Час розгону на шляху: 400 м	0,572	0,754	0,579	0,896	0,944	1,000	0,725	28,5
	1000 м	0,880	0,973	0,898	0,836	0,965	1,000	0,860	75,1
7	мінімальна стійка швидкість, м/с	0,781	0,781	0,781	0,877	0,877	1,000	1,000	1,21
8	максимальний долаємий підйом, %	0,904	1,000	0,852	0,941	0,947	1,000	0,892	35,04
9	усталена швидкість на затяжних підйомах (3%), м/с	0,838	0,907	0,947	0,932	0,948	1,000	0,849	24,84
10	тах. сила тяги на гаку, кН	0,880	0,902	0,859	0,935	1,000	0,954	0,850	95,16
11	довжина динамічно долаємого підйому (3%), м	0,930	0,948	0,942	0,954	1,000	0,968	0,936	1256
12	Σ показників	9,778	10,543	9,653	9,062	11,367	11,794	9,852	

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Міський автобусний парк включає в себе автобуси різних класів, у тому числі і особливо великі автобуси. Як показав проведений аналіз, в категорії особливо великих автобусів розрізняються автобуси довжиною від 16,5 м 18,5 м місткістю від 150 до 200 чоловік і загальною масою 28-30 т..

Концепція створення автобусів особливо великого класу базується на гібридних технологіях. Поряд з автобусами з гібридними силовими установками у міських перевезеннях пасажирів широко

використовують і автобуси з дизелями і рідше – електробуси. Тому доцільним і актуальним є порівняння автобусів великого класу з гібридною силовою установкою, дизелем та електроприводом при їх роботі на одному і тому ж маршруті. Таке порівняння виконано за допомогою відносних показників тягово-швидкісних властивостей, що представляють собою відношення прийнятого показника тягово-швидкісних властивостей конкретного автобуса до кращого показника (еталонного показника) із ряду автобусів, що розглядаються. У результаті порівняння автобусів з різними силовими установками встановлено, що кращим серед розглянутих є електробус Otocar Citea KENT C, сума відносних показників тягово-швидкісних властивостей якого склала 11,794. Дещо цьому автобусу поступається автобус з гібридною силовою установкою Urbino 18 Metro Style, сума відносних показників тягово-швидкісних властивостей якого склала 11,367. Про те, при остаточному виборі того чи іншого автобуса для конкретних умов експлуатації необхідно виходити не тільки з тягово-швидкісних властивостей, а враховувати також енергетичні затрати, наявність розгалуженої мережі заправок для дизелів і електроустановок, вартістю обслуговування тощо.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу тягово-швидкісних властивостей шарнірно-зчленованих автобусів з різними силовими установками, зокрема MA3-215. M69, Otocar DRIVE 18 і NS_18diesel_ANG_ok.cdr з дизелями, URBAN WAY Iveco BUS і Urbino 18 Metro Style з гібридною силовою установкою і електробусів Otocar Citea KENT C і Citea SLFA- 187 встановлено:

- кращим автобусом є Otocar Citea KENT C, сума відносних показників тягово-швидкісних властивостей якого склала 11,794;
- у групі автобусів з дизелем кращим є автобус Otocar DRIVE 18, сума відносних показників тягово-швидкісних властивостей якого склала 10,543;
- у групі автобусів з гібридною силовою установкою кращим є автобус

Якщо порівняти між собою автобуси, що залишилися у кожній із груп, то можна встановити, що за відносними показниками тягово-швидкісних властивостей вони майже однакові. Тому при виборі автобуса із цих груп, а також і серед автобусів з гібридною силовою установкою і електробусів поряд з тягово-швидкісними властивостями повинні враховуватися і інші, зокрема енергетичні затрати, маневреність і стійкість руху.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтків С.В. Система міських перевезень пасажирів типу BRT <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/c63bce49-6e46-444b-951d-d885737aa595/content>
2. В.П.Сахно¹, В.В.Біліченко², В.М.Поляков¹, В.М.Босенко¹, Є.М.Місько¹ До аналізу конструкцій колісних транспортних засобів для міських перевезень пасажирів
3. Автобусный парк Франции // Автомобильный транспорт. - 1999. №9. - С.33-34.
4. Шарнірно-зчленовані автобуси. Маневреність та стійкість : монографія / В. П. Сахно, В. М. Поляков, С. М. Шарай, І. С. Мурований, О. Є. Омельницькій. – Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2021. - 288 с. ISBN 978-617-672-243-4.
5. Сахно В.П. До створення гібридних автопоїздів з покращеними енергетичними характеристиками, прохідністю, маневреністю і стійкістю руху/В.П.Сахно, В.М.Поляков, О.М.Тімков, С.М.Шарай, О.О.Лисенко //Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. - №2(4). – С.128-134
6. Mastinu G., Gobbi M., Miano C. Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications to Vehicle Engineering Springer, 2006. 403 p. ISBN:3540343547.
7. Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Гнатів А.В., Колесніков А.В. Гібридні автомобілі. – Харків, ХНАДУ, 2008. – 327 с.
8. В.П. Сахно, В.М. Поляков, Є.М. Місько, О.Є. Омельницькій До питання використання метробусів в Україні
9. Безбородова Г.Б., Галушко В.Г. Моделирование движения автомобиля. - К.: Вища школа, 1978. - 168 с.
10. Жаров К. С. До вибору типу автомобіля-тягача триланкового автопоїзда за показниками паливної економічності / К. С. Жаров // Автошляховик України. – 2008. – № 4. – С. 17–21.
11. Жаров К. С. Дослідження середньої швидкості руху та продуктивності автопоїздів / К. С. Жаров // Вісник НТУ: В 2-х частинах: Ч.1. – К.: НТУ, 2008. – № 17. – С. 126-133.

12. Жаров К. С. Оцінка обсягів шкідливих викидів колісними транспортними засобами / К. С. Жаров // Автошляховик України. – 2008. – № 12. – С. 158-164.
13. Сахно В. П. Порівняльний аналіз та оптимізація конструкцій тягачів триланкових автопоїздів / В. П. Сахно, К. С. Жаров // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Центрального наукового центру Транспортної академії України. – 2008. – № 11. – С. 125-134.
14. Сахно В. П. Продуктивність та економічність дво- та триланкових автопоїздів / В. П. Сахно, К. С. Жаров // Автомобильный транспорт. – Х.: ХНАДУ
15. Сахно В.П., Безбородова Г.Б., Маяк М.М., Шарай С.М. Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність: Навч. посібник. – К. 2003. – 200 с.
16. Сахно В.П. До вибору типу автомобіля-тягача для автопоїзда великої вантажопідйомності / В.П. Сахно, В.М. Поляков, І.С. Мурований, С.М. Шарай // Вісник машинобудування та транспорту: науковий журнал / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет – Вінниця: ВНТУ, № 2(10), 2019. – С.120-125.

REFERENCES

1. Voitkiv S.V. BRT-type urban passenger transportation system <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/c63bce49-6e46-444b-951d-d885737aa595/content>.
2. V.P. Sakhno¹, V.V. Bilichenko², V.M. Polyakov¹, V.M. Bosenko¹, E.M. Misko¹ To analyze the designs of wheeled vehicles for urban passenger transportation.
3. Bus park of France // Automobile transport. - 1999. No. 9. - P.33-34.
4. Articulated buses. Maneuverability and stability: a monograph / V. P. Sakhno, V. M. Polyakov, S. M. Sharai, I. S. Murovaniy, O. E. Omelnytskyi. – Lutsk: IVV of Lutsk NTU, 2021. 288 p. ISBN 978-617-672-243-4.
5. Sakhno V.P. Towards the creation of hybrid road trains with improved energy characteristics, passability, maneuverability and stability of movement / V.P. Sakhno, V.M. Polyakov, O.M. Timkov, S.M. Sharay, O.O. Lysenko // Modern technologies in mechanical engineering and transport. Scientific journal. – Lutsk: Lutsk National Technical University, 2015. - No. 2(4). - P.128-134
6. Mastinu G., Gobbi M., Miano C. Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications to Vehicle Engineering Srringer, 2006. 403 p. ISBN: 3540343547.
7. Bazhinov O.V., Smirnov O.P., Syerikov S.A., Hnatov A.V., Kolesnikov A.V. Hybrid cars. - Kharkiv, Khnadu, 2008. - 327 p.
8. V.P. Sakhno, V.M. Polyakov, E.M. Misko, O.E. Omelnytskyi To the question of the use of metrobuses in Ukraine.
9. Bezborodova G.B., Galushko V.G. Simulation of car movement. - K.: Higher School, 1978.- 168 p.
10. Zharov, K. S. To choose the type of tractor of a three-link road train based on fuel economy indicators / K. S. Zharov // Avtoshlyahovyk Ukrainy. – 2008. – No. 4. – P. 17–21.
11. Zharov K. S. Research of the average speed of movement and productivity of road trains / K. S. Zharov // Bulletin of NTU: In 2 parts: Part 1. - K.: NTU, 2008. - No. 17. - P. 126-133.
12. Zharov K. S. Assessment of harmful emissions by wheeled vehicles / K. S. Zharov // Highway of Ukraine. - 2008. - No. 12. - P. 158-164.
13. V. P. Sakhno Comparative analysis and optimization of tractor designs of three-link road trains / V. P. Sakhno, K. S. Zharov // Highway of Ukraine. Installment. Bulletin of the Central Scientific Center of the Transport Academy of Ukraine. - 2008. - No. 11. - P. 125-134.
14. Sakhno V.P. Productivity and economy of two- and three-lane road trains / V.P. Sakhno, K.S. Zharov // Automobile transport. - Kh.: I WILL.
15. Sakhno V.P., Bezborodova G.B., Mayak M.M., Sharai S.M. Cars: Traction-speed properties and fuel efficiency: Study guide. - K. 2003. - 200 p.
16. Sakhno V.P. To the choice of the type of tractor vehicle for a large-capacity road train / V.P. Sakhno, V. M. Polyakov, I. S. Murovaniy, S. M. Sharay // Bulletin of machine engineering and transport: scientific journal / Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnytsia National Technical University - Vinnytsia: VNTU, No. 2(10), 2019. - P.120-125.

Sakhno V., Maiak M., Kotenko A. Towards a comparative assessment of articulated buses with different power plants

Articulated buses of a particularly large class with a total length of 16.5 to 18.5 m, a capacity of 150 to 200 people and a total weight of 28-30 tons occupy a prominent place in the city bus fleet of large cities.

The concept of creating buses of a particularly large class is based on hybrid technologies. Along with buses with hybrid power plants, buses with diesel engines and, less often, electric buses are widely used in urban passenger transportation. Therefore, it is appropriate and relevant to compare large-class buses with a hybrid power plant, diesel and electric drive when they work on the same route. Based on the analysis of traction and speed properties of articulated buses with different power plants, in particular MAZ-215. M69, Otocar DRIVE 18 and NS_18diesel_ANG_ok.cdr with diesels, URBAN WAY Iveco BUS and Urbino 18 Metro Style with a hybrid power plant and Otocar Citea KENT C and Citea SLFA-187 electric buses, it was established that the best bus is the Otocar Citea KENT C electric bus, the sum of relative the traction-speed properties indicators of which was 11.794, to which it is slightly inferior the bus with a hybrid power plant Urbino 18 Metro Style, the sum of the relative traction-speed properties indicators was 11.367. However, when making the final choice of a particular bus for specific operating conditions, it is necessary to proceed not only from traction and speed properties, but also take into account energy costs, the presence of an extensive network of gas stations for diesel engines and electrical installations, the cost of maintenance, etc.

Key words: bus, power plant, comparative analysis, equations of motion, traction-speed properties, relative index

САХНО Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

МАЯК Микола Михайлович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, mayak@lutsk-ntu.com.ua. <https://orcid.org/0000-0002-8626-3084>

КОТЕНКО Андрій Степанович, аспірант 2 року навчання кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, e-mail: kotenko.a0015@lntu.edu.ua. <https://orcid.org/0009-0004-5506-9985>

Volodymyr SAKHNO, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

Mykola MAIAK, Doctor of Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: mayak@lutsk-ntu.com.ua. <https://orcid.org/0000-0002-8626-3084>

Andrii KOTENKO, Second-year graduate student of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: kotenko.a0015@lntu.edu.ua. <https://orcid.org/0009-0004-5506-9985>

DOI 10.36910/automash.v2i23.1542