

Гнатів А.В., д.т.н., проф.; Аргун Ш.В., к.т.н., доц.; Підгора О.В.

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ НА АВТОБУСНОМУ ТРАНСПОРТІ

Проведено аналіз сучасних енергоефективних технологій на автобусному транспорті для міських перевезень, а саме гібридних автобусів та електробусів. Виконано розрахунок енергетичних показників електробусу на суперконденсаторах для одного з маршрутів м. Харкова. Запропоновано у якості основного накопичувача електроенергії використовувати блок суперконденсаторів. Розраховано витрати на паливе (електроенергію) на один день роботи для дизельного, гібридного та електричного автобуса

Постановка проблеми. Швидкий розвиток енергозберігаючих технологій на гібридному та електричному транспорті обумовлений дуже великим попитом. Безумовно, популяризація сучасного електротранспорту неможлива без розвитку відповідної інфраструктури та розбудови широкої міської та заміської мережі зарядних станцій [1].

Одна з найбільш нагальних і актуальних проблем в галузі автобусних перевезень – екологічність транспорту. Особливо гостро це питання стоїть при забезпеченні міських перевезень. Для порівняння, частка пасажирських міських перевезень в Україні становить приблизно 82%, приміських 15%, міжміських 3%, а міжнародних 0,002%. Міські автобуси щодня проїжджають понад 200...250 км. Отже, є надважливим завданням створення екологічно чистого автобуса – електробусу з використанням швидкої підзарядки в процесі експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Радянському Союзі існував норматив: якщо в населеному пункті проживає 200 тис. чоловік – з'являється тролейбус, 500 тис. – трамвай, мільйон – метро. Тож ще з тих часів в Україні є електричні тролейбусні мережі до яких зараз можна підключати електробуси [2].

Останнім часом багато країн активно переходить на екологічні стандарти «Євро-4», «Євро-5». Тим самим європейське співтовариство стимулює виробників розробляти більш ефективну і екологічну техніку, а міську владу – її використовувати.

У гібридному (як і в електро-) транспорті економія відбувається за рахунок гальмування. А це найбільш актуальний режим для міста. Отже, режим рекуперації енергії – це дуже важливий аспект у сучасному міському електробусі [1-3].

Розрахунок, проектування та створення міського електробуса для категорії є актуальною й важливою науково-технічною задачею, рішення якої дозволить не тільки втілити енергоефективні технології в міській транспорт, а й майже повністю зробити його екологічно чистим та безпечним для навколишнього середовища та населення.

Мета роботи. Аналіз сучасних енергоефективних технологій на автобусному транспорті для міських перевезень. Запропонування моделі електробуса на суперконденсаторах для міських перевезень.

Сучасні технології на автобусному транспорті. До енергоефективних та екологічно чистих транспортних автобусів можна віднести гібридні моделі та електробуси. Так, наприклад, компанії Volvo Buses, Citea, VDL Bus & Coach (рис. 1) запустила в серійне виробництво гібридні – дизель-електричні автобуси [4]. Вони дозволяють максимально знизити витрати палива (на 30-35% менше дизельного палива, ніж звичайна міська модель аналогічного дизельного автобуса), забезпечуючи мінімальний викид шкідливих речовин в атмосферу.

Інтерес до електричного громадському транспорту зростає пропорційно зростанню вартості палива. Але є ще один стимулюючий чинник, що примушує уряд багатьох країн задуматися щодо електричних автобусів – їх екологічність. На відміну від тролейбуса, автобус не потребує контактної мережі і повністю мобільний, але при цьому працює на електриці, яку накопичено в тягових акумуляторних батареях [5].



Рис. 1 – Гібридні автобуси

Сьогодні стало трендом турбуватися про навколишнє середовище. Доказом тому є успішність використання електробусів для міських перевезень в розвинених країнах, рис. 2. Найбільшим представником електробусів є компанія BYD Auto з моделлю K9 (Китай), рис. 2, а. Ці електробуси здатні в міському режимі долати 250...300 км шляху без підзарядки. Їх час зарядки становить 3 години на спеціальних терміналах [5].

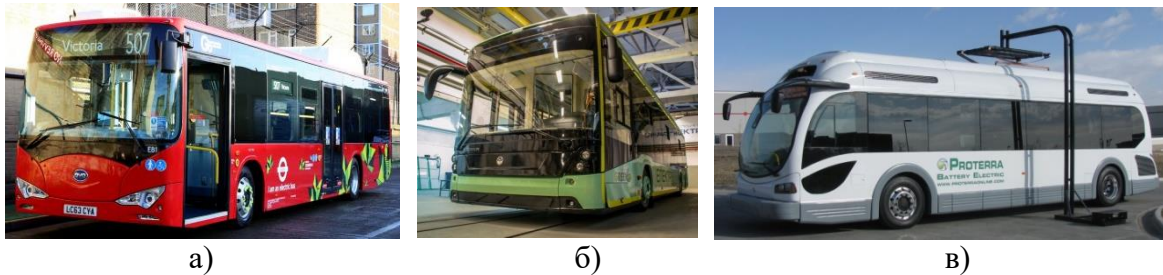


Рис. 2 – Електробуси: а) BYD K9; б) «Электрон E19101»; в) Protterra

У Люксембурзі компанія АВВ запустила автоматичні системи швидкої зарядки, яка може прибрати один з головних бар'єрів для збільшення використання міських електричних автобусів – тривалий час зарядки при коротких відстанях пробігу, рис. 3 [6].

З автоматичним підключенням на даху, час звичайної зарядки електробуса триває 4...6 хв. Систему можна легко інтегрувати в існуючі автобусні лінії, встановивши швидкі зарядки на кінцевих зупинках, терміналах, депо і (або) на проміжних зупинках.



Рис. 3 – Швидка зарядка електроавтобусів (Люксембург)

Новий транспортний засіб є проміжною ланкою між звичайними електричним транспортом і тролейбусами. Електробус заряджається від особливо швидких зарядних установок під час посадки/висадки пасажирів і здатний їздити по маршруту без необхідності у багатогодинній зарядці батарей [7].

Наприклад, у китайському місті Нінбо провінції Чжецзян існує екологічно чистий маршрут громадського транспорту. По ньому пересувається електробус, який не потребує багатогодинної зарядки. Він отримує порівняно невеликий запас енергії на зупинках під час посадки-висадки пасажирів (приблизно за 10 секунд), рис. 4.

Цікавим є новий тип електробуса розроблений компанією Zhuzhou Electric Locomotive, яка запропонувала оснащувати громадський транспорт спеціальними гніздами на даху для швидкої підзарядки. На зупинках уздовж маршруту є кронштейни зі штекерами, які вставляють в автобусні роз'єми. Одна така підзарядка забезпечує пробіг до 5 км. Вона працює завдяки суперконденсаторам, розрахованим на мільйон циклів перезарядки і 12 років служби і має робочі температури від -40 до +65° С.



Рис. 4 – Електробус на суперконденсаторах «CRRC Corp»

Для того, щоб з'ясувати який автобус буде менше споживати палива (або електричної енергії), проведемо порівняння дизельного автобусу, гібридного автобусу, електробусу на акумуляторах та електробусу на суперконденсаторах.

Для коректного представлення даних, вибрано маршрут № 147 в м. Харків («Пролетарська» – «Проспект Гагаріна»). Довжина шляху в одну сторону дорівнює 20,4 км. Час руху становить 55 хв. Кількість зупинок 36.

Наразі в Харкові по цьому маршруту їздить дизельний автобус «Богдан А091». На один маршрутний проїзд витрачається 6,7 літрів дизельного пального. За один день автобус робить 10 таких поїздок. Ціна 1 літра дизельного пального 16,80 грн. Витрати на пальне на один день складають 1126 грн.

Якщо обрати гібридний автобус з електричним двигуном потужністю 180 кВт, то отримаємо приблизно 35% економії дизельного палива. Отже витрати на дизельне пальне для гібридного автобуса на обраний маршрут будуть складати 732 грн.

Якщо обрати електробус на акумуляторах з електричним двигуном потужністю 230 кВт, то експлуатаційні затрати на один робочий день будуть значно менші. Наприклад, львівський електробус «Електрон Е 19101» може проїхати без підзарядки до 210 км, а щоб підзарядитися на 70% необхідно усього 15-20 хв. На ньому стоять акумуляторні батареї, ємністю 120 кВт·год. Отже, за один робочий день електробус витратить 120 кВт. Ціна 1 кВт електроенергії для промислового споживання дорівнює 1,38 грн. Відповідно, за один робочий день буде витрачено 165 грн. на електричну енергію. А якщо проводити зарядку акумуляторних батарей уночі (нічний тариф), то це буде вдвічі менше, приблизно 85-90 грн.

Електробус «Електрон Е 19101» буде більш економічним, у порівнянні з розглянутими вище, але на ньому стоять звичайні Li-Ion акумулятори, а їх термін служби при такому інтенсивному використанні, становить 3...5 років – це є значним недоліком.

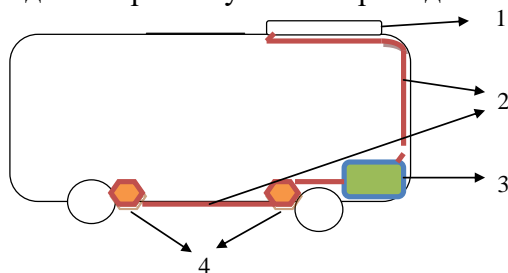
З відповідною похибкою припущення вважаємо, що електробус на суперконденсаторах буде споживати таку ж кількість електричної енергії, як і електробус на Li-Ion акумуляторах.

Розрахунки показують, що найбільш економічними з точки зору експлуатаційних витрат є електробуси на акумуляторах, але їх висока ціна і малий термін експлуатації Li-Ion акумуляторів може повністю знівелювати їх привабливість. Тому електробус на суперконденсаторах для категорії міських перевезень виглядає досить привабливо та перспективно, адже при вітчизняному виробництві такого типу накопичувачів енергії їх собівартість стає в рази меншою за Li-Ion акумулятори, а термін служби перевищує термін служби самих автобусів.

Пропонується, на базі автобуса «Богдан А091» зробити електробус у якого, на місці

для двигуна, буде знаходитися блок суперконденсаторів (3) з апаратурою управління (рис. 5).

Два електричні двигуни (4) розміщуються безпосередньо на осі обертання коліс, як це зображено на рис. 5. Зарядний пристрій розташовано на даху електробуса, що дозволить безпечно заряджати суперконденсатори на зупинках громадського транспорту.



1 – зарядний пристрій; 2 – проводка; 3 – суперконденсатори; 4 – електричні двигуни

Рис. 5 – Модель електробуса на суперконденсаторах

Вибір того чи іншого типу електричної машини для електробуса не може бути проведений у відриві від вибору інших елементів тягового електроприводу. Застосування кожного типу двигунів потребує істотних змін силового перетворювача, механічних елементів (редукторів, гальм), набору первинних вимірювачів (датчиків положення, швидкості і т.п.), а також визначає побудову системи управління.

Згідно з проведеними розрахунками визначаємо технічні вимоги для компонентів електричної силової установки у складі міського автобуса «Богдан А091», табл. 1...3.

Таблиця 1 – Технічні вимоги для електробуса «Богдан А091»

Найменування	Значення
Номінальна потужність електродвигуна, кВт	60
Максимальна потужність електродвигуна, кВт	120 (два по 60)
Номінальна потужність накопичувача, кВт	90
Енергія накопичувача при номінальній потужності, МДж	більше 1,44
Ресурс, цикл	< 1000 000
ККД в циклі заряд/розряд (η),	< 0,8
Термін служби, років	10
Максимальний пробіг за рахунок енергії накопичувача, км.	до 5

Таблиця 2 – Накопичувач на основі ЕК для електричного приводу міського автобуса «Богдан А091»

Найменування	Значення
Модель накопичувача	14×30ЭК404
Напруга, В	630
Ємність, Ф	28,6
Об'єм, л	420
Маса, кг	520
Номінальна потужність, кВт	90
ККД в циклі заряд/розряд (η)	> 0,8
Конденсаторний модуль	30ЭК404
Напруга, В	45
Ємність, Ф	400
Внутрішній опір, мОм	12
Маса, кг	37
Габаритний розмір, мм	560x219x245
Робоча температура, °С	-50...+70

Таблиця 3 – Характеристики міського автобуса «Богдан А091» з електроприводом

Найменування	Значення
Довжина, м	7,2
Повна маса, т	8
Пасажиромісткість, чол.	45
Номінальна потужність тягового електродвигуна, кВт	60
Габаритний обсяг, л	420
Маса, кг	520
Максимальна швидкість, км/год	70
Час розгону до швидкості 50 км/год, с	25
Середня ефективність рекуперації	0,23
Середня питома витрата енергії, Вт·год/(т·км)	80-84
Максимальний пробіг за рахунок енергії накопичувача км.	до 5

Розрахований час заряду суперконденсаторів буде складати від 20...30 с. до 5 хв. Цей час визначається потужністю зарядного пристрою, який пропонується організувати за схемою, що запропонована компанією АВВ, бо вона відповідає всім стандартам, протоколам та нормам безпеки, що пред'являються до громадського транспорту в країнах ЄС.

Висновки

1. Проведено аналіз сучасних енергоефективних технологій на автобусному транспорті для міських перевезень.
2. Запропонована модель електробуса на суперконденсаторах для міських перевезень.
3. Проведено розрахунок електробуса на суперконденсаторах для маршруту м. Харкова, («Пролетарська» – «Проспект Гагаріна», маршрут № 147). Довжина шляху в одну сторону дорівнює 20,4 км, час руху 55 хв, кількість зупинок 36. Запропоновано, як основний накопичувач електроенергії замість Li-Ion акумуляторів (термін служби 3 роки) поставити блок суперконденсаторів (термін служби 15 років). Максимальний пробіг автобуса при повній зарядці блоку суперконденсаторів складає 5 км.
4. Розраховано витрати на пальне (електроенергію) на один день роботи, які складають для: дизельного автобуса 1126 грн; гібридного автобуса 732 грн., електробуса 165 грн.

Список літературних джерел

1. Гібридні автомобілі: [монографія] / [О. В. Бажинов, О. П. Смирнов, С. А. Серіков та ін.]; Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Х.: Крок, 2008. – 327 с.
2. Drive Electro // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://driveelectro.ru/>.
3. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика: [монографія] / О. В. Бажинов, О. П. Смирнов, С. А. Серіков, В. Я. Двандненко; Харк. нац. автомобільно-дорожній ун-т. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
4. Гібридні автобуси Volvo // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: http://volvo.infocar.com.ua/news_44205.html.
5. Електробус BYD K9 // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <http://internetua.tv/index.php/press-releases/3120-byd-5.html>.
6. Запуск автоматичної системи швидкої зарядки // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <https://ecotown.com.ua/news/V-Lyukseburzi-vstanovyly-robotu-dlya-shvydkoyi-zaryadky-elektroavtobusiv/>.
7. Електроавтобус з швидкою зарядкою // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <http://autonews.autoua.net/novosti/11004-kitajcy-sozdali-elektroavtobus-so-sverhbystroj-zar.html>.

Гнатів Андрій Вікторович – д.т.н., професор, професор кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Аргун Щасяна Валіковна – к.т.н., доцент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Підгора Олександр Валерійович – студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.