

**ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ**

УДК 629.341

**АВТОБУСНЫЙ ТРАНСПОРТ, НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ.
ЭЛЕКТРОБУС НА СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ**

А.В. Гнатов, профессор, д.т.н., А.В. Пидгора, студент ХНАДУ

***Аннотация.** В работе представлена подробная классификация автобусного транспорта в зависимости от назначения, габаритной длины, конструкции и компоновке, типа и технической схемы двигательной установки. Предложено схемное решение энергоэффективного автобуса, который в качестве основного накопителя энергии использует блок суперконденсаторов, для категории городских перевозок.*

***Ключевые слова:** электробус, автобус, суперконденсатор, электротранспорт, аккумуляторная батарея, энергоэффективные технологии, автобусный транспорт.*

**АВТОБУСНИЙ ТРАНСПОРТ, ПРИЗНАЧЕННЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ.
ЕЛЕКТРОБУС НА СУПЕРКОНДЕНСАТОРАХ**

А.В. Гнатів, професор, д.т.н., О.В. Підгора, студент ХНАДУ

***Анотація.** У роботі представлена докладна класифікація автобусного транспорту в залежності від призначення, габаритної довжини, конструкції і компонування, типу і технічної схеми рухомої установки. Запропоновано схемне рішення енергоефективного автобуса, який як основний накопичувач енергії використовує блок суперконденсаторів, для категорії міських перевезень.*

***Ключові слова:** электробус, автобус, суперконденсатор, электротранспорт, аккумуляторная батарея, энергоэффективні технології, автобусний транспорт.*

**BUS TRANSPORT, FUNCTIONS AND CLASSIFICATION. THE ELECTRIC BUS
ON ULTRACAPACITORS**

A. Gnatov, professor, Doct. of Science, KhNAHU, A. Pidgora., student, KhNAHU

***Abstract.** The work presents a detailed classification of bus transport, depending on the purpose, overall length, design and layout, type and technical scheme of the propulsive device. A scheme solution for an energy-efficient bus, which uses a ultracapacitor unit as the main energy storage unit, for the category of urban transportation is proposed.*

***Keywords:** electric bus, bus, ultracapacitor, electric transport, battery, energy-efficient technologies, bus transport*

Введение

Городской и пригородный транспорт представляет собой систему из разных видов транспорта, которые осуществляют перевозку населения города и пригородной зоны, а также выполняют ряд работ, необходимых для нормальной жизнедеятельности людей.

Часть пассажирских городских перевозок в Украине составляет приблизительно 87 %, пригородных – 12 %, междугородных – 1 %, а международных – 0,002 % (в Западной Европе часть городских пассажирских перевозок транспортом общего пользования составляет приблизительно 20 % от общего объема, в США – 3 %) [1].

Еще в Советском Союзе был норматив: 200 тыс. население – появляется троллейбус, 500 тыс. – трамвай, миллион – метро. У автобусов минимальная вывозная способность, у троллейбуса – больше, метро – еще больше. Соответственно, в Украине есть электрические сети, к которым троллейбусы и электробусы могут подключаться.

В последнее время активно идет процесс перехода на «Евро-4», «Евро-5». Соответственно, этими стандартами европейское сообщество стимулирует производителей делать технику более эффективной и технологической, а городскую власть – покупать данный вид автотранспортной техники. [2].

Городские автобусы каждый день проезжают по 200-250 км. Итак, стоит задача создать экологически чистый автобус – электробус, который обеспечит данный пробег или его часть, если есть возможность в подзарядке в процессе его эксплуатации.

В гибридном (как и в электро-) транспорте экономия происходит за счет торможения. А это наиболее актуальный режим для города. Из этого следует, что режим рекуперации энергии – это один из наиболее важных аспектов в современном городском электротранспорте [3-5]. Следовательно, расчёт, проектирование и создание электробуса для категории городской автобус является актуальной и важной научно-технической задачей, решение которой позволит не только воплотить энергоэффективные технологии в городском транспорте, но и сделать его экологически чистым и безопасным для окружающей среды и населения.

Цель и постановка задачи

Целью работы является представление и анализ классификации автобусного транспорта с предложением энергоэффективного автобуса, который в качестве основного накопителя энергии использует блок суперконденсаторов, для категории городских перевозок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- представить подробную классификацию автобусного транспорта в зависимости от назначения, габаритной длины, конструкции и компоновке, типа и технической схемы

- двигательной установки;

- представить разработку энергоэффективного автобуса, который в качестве основного накопителя энергии использует блок суперконденсаторов, для категории городских перевозок;
- проанализировать и подробно описать принцип работы электробуса на суперконденсаторах для категории городских перевозок.

Автобусный транспорт

Автобус (сокращение от автомобиль-омнибус) – безрельсовое механическое транспортное средство, предназначенное для перевозки 8-ми и больше пассажиров, и приводится в движение энергией, запасенной, или произведенной из топлива, которые хранятся на борту, или с любым другим видом автономной тяги (автобус в традиционном понимании) [6, 7]. В более широком смысле автобус – безрельсовое самоходное транспортное средство, технически предназначенное для перевозки пассажиров и способно маневрировать на дороге, рис. 1. При этом неважно использует автобус бортовой источник энергии, или питаются энергией извне через контактную сеть (троллейбусы), или используют гибридную систему питания (троллейбусы с системами автономного хода, дуобус).



Рис. 1– Автобусы

Троллейбус питается электроэнергией через контактную сеть, тем не менее, владеет многими качествами автобуса: самоходность, безрельсовый ход, маневренность (в том числе: способность перестраиваться с одного ряда движения в другого и, итак, объезжать препятствия). Троллейбус целиком можно считать особой разновидностью автобуса. Конечно, троллейбусы владеют меньшей, чем обычный, полностью автономный, автобус маневренностью. Ограничительным фактором в данном случае есть длина токоъемных штанг. Обрыв проводов контактной сети способен блокировать движение на целом сегменте троллейбусной сети. Но современные троллейбусы, которые оснащаются системами автономного хода и системами

автоматического подъема штанг, через которые подается электропитание, сохраняют преимущества троллейбуса и практически уже ни в чем не уступают обычному автобусу в маневренности и способны пройти до 1-3 км на автономном ходе. Это позволяет такому троллейбусу успешно объезжать препятствия с опущенными штангами. Также такой троллейбус нечувствителен к обрывам проводов контактной сети, и способен подобно обычному автобусу осуществлять короткие объезды участков линий, по которым движение невозможно (например, из-за ремонта дороги). Итак, для полноты рассмотрения необходимо привести классификацию автобусов и раскрыть их назначение.

Классификация автобусов

Автобусы классифицируют за следующими признаками: по назначению; за габаритной длиной; по конструкции и компоновке; за типом и технической схемой двигательной установки. Рассмотрим более подробно перечисленные признаки классификации.

По назначению:

- городские автобусы, предназначены для использования в качестве городского общественного линейного (маршрутного) пассажирского транспорта. Городской автобус делает частые остановки, на которых высаживает и принимает на борт большое количество пассажиров. Такой автобус должен иметь широкие двери и проходы, накопительные площадки, поручни для стоячих пассажиров, рис. 2. Могут быть представлены особой разновидностью – маршрутными такси;



Рис. 2 – Городской автобус

- междугородные автобусы, предназначены для перевозки людей на далекие расстояния, рис. 3. Такие автобусы должны иметь удобные кресла с откидной спинкой, большой объем багажного отделения, места для ручной клади, и иногда туалет. Спальные – разновидность междугородных автобусов – автобусы, оснащенные спальными местами;



Рис. 3 – Междугородный автобус

- пригородные в отличие от междугородных не предназначены для перевозок на далекие расстояния. От городских их отличают редкие остановки. Иногда промежуточные остановки совсем могут отсутствовать. Такие автобусы по обыкновению не имеют багажных отделений, но имеют места для ручной клади. В них по обыкновению отсутствуют накопительные площадки, но могут присутствовать поручни для стоячих пассажиров. Но основной способ проезда пассажиров в них – это сидя в пассажирских креслах, рис. 4;



Рис. 4 – Пригородный автобус

- туристические междугородные автобусы, предназначены для поездок организованных групп по произвольным маршрутам. От линейных междугородных отличаются, как правило, повышенным уровнем комфорта и наличием места гида, оборудованного микрофоном для проведения экскурсий, рис. 5;



Рис. 5 – Туристический междугородный автобус

- перронные (аэродромные), предназначены для доставки пассажиров от аэровокзала до самолетов и от самолетов до аэровокзала, рис. 6;



Рис. 6 – Аэродромный автобус

- школьные автобусы, предназначены для перевозки детей. Такие автобусы должны оснащаться техническими средствами для повышения безопасности перевозки детей: ремнями безопасности; специальными световыми и звуковыми сигналами. Также такие автобусы оснащают более низкими подножками, поручнями на небольшой высоте, полками для ручной клади, рис. 7;



Рис. 7 – Школьный автобус

- экскурсионные, предназначены для экскурсионных поездок, рис. 8;



Рис. 8 – Экскурсионный автобус

- вахтовые (экспедиционные), предназначены для перевозки рабочих к местам проведения строительных, ремонтных и других работ. Технически это могут быть разнообразнейшие пассажирские автобусы, но довольно часто такие автобусы строятся на грузовой базе, рис. 9;



Рис. 9 – Вахтовый автобус

- вездеходы – для перевозки людей при сложных дорожных условиях (в том числе по бездорожью), рис. 10;



Рис. 10 – Автобус - вездеход

- грузовые (грузопассажирские), рис. 11;



Рис. 11 – Грузопассажирский автобус

- почтовые (автобусы связи) – для перевозки почты, рис. 12;



Рис. 12 – Почтовый автобус

- ритуальные – предназначенные для перевозки умершего и похоронной процессии к месту погребения, рис. 13.



Рис. 13 – Ритуальные автобусы

В соответствии с отраслевой нормалью ОН 025270-66 автобусы подразделяются на 5 классов в зависимости от их габаритной длины (табл. 1) [7].

По габаритной длине.

В соответствии с отраслевой нормалью ОН 025270-66 автобусы подразделяются на 5 классов в зависимости от их габаритной длины (табл. 1.1):

- особо малые;
- малые;
- средние;
- большие;
- особо большие.

Таблица 1 – Классификация автобусов за их габаритной длиной

Первая цифра индекса автобуса	Класс автобуса	Длина автобуса, м
2	особо малые	до 5,0
3	малые	от 6,0 до 7,5
4	средние	от 8 до 9,5
5	большие	от 10,5 до 12,0
6	особенно большие	16,5 и более

Примечание. Класса 1 (первая цифра индекса) для автобусов не существует.

По конструкции и компоновке:

- переднемоторные;
- заднемоторные;
- центральномоторные;
- капотной компоновки;
- безкапотной (вагонной) компоновки;
- низкопольные;
- высокопольные;
- одиночные;
- сочлененные;
- полтораэтажные;
- двухэтажные;
- полуприцепы;
- прицепы.

По типу и технической схеме двигательной установки:

- бензиновые (как правило, на карбюраторных бензиновых ДВС);
- дизельные (на дизельных ДВС) – наиболее распространенный тип современных автобусов;
- электрические (аккумуляторные и суперконденсаторные) - довольно молодой вид автобусов, но довольно перспективный в качестве городского автобуса;
- автобус на топливных элементах – в качестве топлива чаще всего используется водород, реакция которого с атмосферным кислородом в топливных элементах генерирует электроэнергию, питательную тяговые электромоторы такого автобуса;
- дуобус – технически гибрид троллейбуса и обычного (а именно дизельного) автобуса. Он использует два основных источника питания: может использовать как троллейбусную контактную сеть, так и двигаться за счет ДВС.

Особая разновидность автобуса – троллейбус. Троллейбусы, оснащенные новейшими системами автономного хода, сохраняя преимущества троллейбуса, уже практически ни в чем не уступают обычному автобусу. Наиболее перспективные троллейбусные системы автономного хода строятся на базе суперконденсаторов и аккумуляторов. Суперконденсаторы могут быстро заряжаться и позволяют проехать троллейбусу в режиме автономного хода до 3 км.

Электробус на суперконденсаторах

Представленная классификация автобусов и распределение их по назначению позволяет четко определиться с целью работы, которая состоит в разработке электробуса на суперконденсаторах, основное предназначение которого – это городские перевозки [8].

Общими недостатками всех выше перечисленных автобусов является то, что они содержат ДВС. Это значительно усложняет их конструкцию и снижает экологичность, что для категории городских перевозок весьма важно. Существующие электробусы в качестве накопителя энергии используют различного типа аккумуляторные батареи (АКБ), которые, на данный момент, также не лише-

ны недостатков: они не могут быстро (до одной минуты) заряжаться, что делает невозможным его подзарядку в процессе эксплуатации на определенном маршруте; они имеют ограниченный срок службы, что связано с ограниченным количеством циклов заряда/разряда.

Привлекательной простотой технической реализации и широкими возможностями представляются электробус на суперконденсаторах для городских перевозок со сверхбыстрой зарядкой. Предложенный электробус могут быть использованы для категории городских и пригородных перевозок, где много остановок, а расстояние между ними не превышает 5 км [9].

В основу предлагаемого электробуса положена задача повышения экологичности и эффективности использования общественного транспорта, уменьшение времени заряда накопителей энергии электробуса, а также уменьшение расходов на его обслуживание.

Поставленная задача решается за счет того, что электробус на суперконденсаторах для городских перевозок со сверхбыстрой зарядкой, содержащий накопители энергии, блок управления, инвертор, зарядное блок и тяговый электрический двигатель, согласно замыслу, накопители энергии электробуса представлены блоком аккумуляторных батарей (литий-железо-фосфатных или литий-ионных) и блоком суперконденсаторов, который способен принимать полный заряд за время до одной минуты от мощных зарядных устройств на остановках общественного транспорта. Емкость блока суперконденсаторов выбирается такой, которая обеспечит пробег электробуса на расстояние от 2 до 5 км [10].

Также, заряд накопителей энергии может осуществляться от троллейбусной контактной сети с помощью специального пантографа, расположенный на крыше электробуса, а его инвертор выполнен, как стабилизирующий преобразователь напряжения DC/DC.

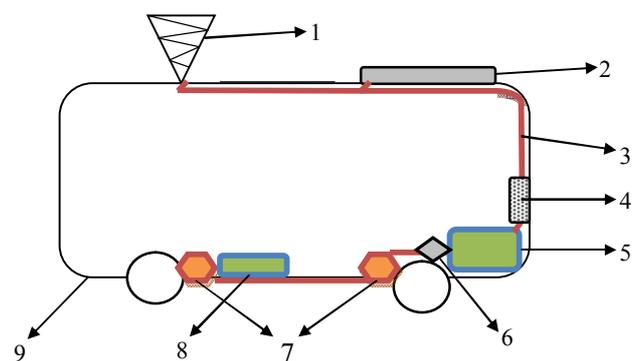
АКБ электробуса используется только тогда, когда исчерпана энергия блока суперконденсаторов, и рассчитан на дальность пробега до 2 км. Это значительно увеличит срок службы АКБ электробуса.

Электробус на суперконденсаторах для горо-

дских перевозок со сверхбыстрой зарядкой может подключаться к троллейбусной контактной сети и использоваться как троллейбус на определенных участках маршрута, при этом выполняется зарядка накопителей энергии и питание тяговых электродвигателей.

Особенностью предложенного электробуса является то, что он является полностью экологически чистым видом общественного транспорта, и может использоваться в местах с большим скоплением и концентрацией людей, а также в зеленых и парковых зонах, при этом он не загрязняет окружающую среду и не производит вредных выбросов, что характерно другим видам общественного транспорта с ДВС. Еще одной особенностью предложенного электробуса является его способность быстро (в течение одной минуты) заряжать накопители энергии, как на остановках общественного транспорта от мощных зарядных устройств, так и от контактной троллейбусной сети (при ее наличии) с помощью специального пантографа на крыше электробуса. Предложенный электробус на суперконденсаторах для городских перевозок со сверхбыстрой зарядкой может использоваться как троллейбус с увеличенным автономным ходом (до 5...7 км - дальность автономного хода зависит от емкости блока суперконденсаторов и АКБ).

Суть предложенной конструкции электробуса объясняется схематичными чертежами. На рис. 14 представлена конструкция электробуса на суперконденсаторах для городских перевозок со сверхбыстрой зарядкой.



1 - пантограф для подключения к троллейбусной контактной сети; 2 - зарядный блок от мощных зарядных устройств; 3 - токоспроводы; 4 - блок управления; 5 - блок суперконденсаторов; 6 - инвертор; 7 - тяговый электродвигатель; 8 - блок аккумуляторных батарей; 9 - корпус автобуса

Рис. 14 – Схема электробуса на суперконденсаторах для городских перевозок со сверхбыстрой зарядкой

Выводы

Электробус на суперконденсаторах для городских перевозок со сверхбыстрой зарядкой может заряжать накопитель энергии - блок суперконденсаторов 5 и АКБ (литий-железо-фосфатные или литий-ионные) 8, как на остановках общественного транспорта, через зарядный блок от мощных зарядных устройств, так и через пантограф для подключения к троллейбусной контактной сети 1 (расположенный на крыше корпуса автобуса 9). При осуществлении заряда через зарядный блок от мощных зарядных устройств 2, полный заряд блока суперконденсаторов 5 проходит за несколько десятков секунд (до 1 мин), сам процесс заряда контролирует блок управления 4, который определяет метод заряда: быстрый - через блок от мощных зарядных устройств 2 или медленный - через пантограф для подключения к троллейбусной контактной сети 1. Блок управления 4 руководит работой электробуса и определяет режим работы тяговых электродвигателей 7: двигательный режим – при ускорении электробуса и режим рекуперации энергии с зарядом накопителей энергии - блока суперконденсаторов 5 и АКБ 8. Блок управления 4 при работе тяговых электрических двигателей в генераторном режиме сначала заряжает блок суперконденсаторов 5, а затем АКБ 8. Блок управления 4 обеспечивает управление работой основных составляющих элементов электробуса, что соединены между собой токопроводами 3. Электрическая мощность от блока суперконденсаторов 5 подается в тяговые электрические двигатели 7 через инвертор 6, который выполняет функцию стабилизирующего преобразователя напряжения DC/DC и обеспечивает необходимое качество электрической энергии. В генераторном режиме работы инвертор 6 заряжает блок суперконденсаторов 5 энергией от тяговых электрических двигателей 7 [10].

Таким образом, предложенный электробус на суперконденсаторах для категории городских перевозок со сверхбыстрой зарядкой является полностью экологическим видом общественного транспорта, способен выполнять свои функции непрерывно, при этом отдельно не тратя времени на подзарядку накопителей энергии. Автономность хода электробуса достигает от 2 до 7 км (с учетом емкости АКБ 8) и зависит от емкости накопителей энергии.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие тезисы.

Представлена подробная классификация автобусного транспорта в зависимости от назначения, габаритной длины, конструкции и компоновке, типа и технической схемы двигательной установки.

Предложено схемное решение энергоэффективного автобуса, который в качестве основного накопителя энергии использует блок суперконденсаторов, для категории городских перевозок.

Проанализирован и подробно описан принцип работы предложенного электробуса на суперконденсаторах.

Литература

1. Сучасні технології на автобусному транспорті. Матеріали IV-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції [“Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту”] (14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця) / А.В. Гнатов, І.В. Аргун, О.В. Підгора. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 139 с. С. 93 – 97.
2. Електробус на суперконденсаторах для наземної аеродромної техніки. [Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки»] (20-21 квітня 2016 р., м. Харків) / А.В. Гнатов, І.В. Аргун. – Х.: Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2016. – 162 с. – С. 145 – 147.
3. Міський електробус з надшвидкою зарядкою. [Друга всеукраїнська науково-практична конференція “Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні”: тези доповідей] (17-18 березня 2016 р.). / А.В. Гнатов, О.А. Ульянець І.В. Аргун. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 112 с. – С. 43 – 44.
4. Гибридные автомобили: [монография] / [А.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Сериков и др.]; Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Х.: Шаг, 2008. – 327 с.

5. Синергетический автомобиль. Теория и практика: [монография] /А.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Сериков, В.Я. Дванденко; Харк. нац. автомобільно-дорожній ун-т. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
 6. Автобус // Матеріали сайта – 2015. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Автобус>.
 7. ОН 025 270-66 Классификация и система обозначения автомобильного подвижного состава, а также его агрегатов и узлов, выпускаемых специализированными предприятиями (с Изменениями). // Матеріали сайта – 2017. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200069917>.
 8. Гнатов А. В. Електробус на суперконденсаторах для міських перевезень / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, О.В. Бикова, О.В. Підгора // Вісник ХНАДУ. – 2016. – № 72. – С. 29–34.
 9. Пат. 111342 України, В60L11/00, В60L9/00. Електробус на суперконденсаторах для міських перевезень з над швидкою зарядкою / Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А., Підгора О.В.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатов А.В., Аргун Щ.В. – № у 2016 04127; заявл. 15.04.2016; опубл. 10.11.2016, Бюл. №21.
 10. Пат. 114643 України, В60L11/00, В60L9/00. Спосіб роботи електробуса на суперконденсаторах з над швидкою зарядкою для міських перевезень / Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А., Підгора О.В.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатов А.В., Аргун Щ.В. – № у 2016 10370; заявл. 11.10.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. №5.
- Рецензент: О.В. Бажинов, професор, д.т.н., ХНАДУ.
- Стаття надійшла до редакції 20 травня 2017 р.