

## ОБЗОРЫ

УДК 656.1/.5

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АВТОБУСОВ  
В ГОРОДСКОМ ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ****Шатманов О.Т., Исманов Ю.Х., Айдаралиев Ж.К., Исакова Ж.А.***Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры  
им. Н. Исанова, Бишкек, e-mail: i\_yusupjan@mail.ru*

В статье дана единая оценка конкурентных возможностей и технологических особенностей современных электрических автобусов с целью определить направление развития этих технологий и перспектив использования электрических автобусов в транспортной структуре городов. Проведен анализ трех основных характеристик электрических автобусов – их экономическая, экологическая и эксплуатационная эффективность. Большинство работ в этом направлении показывают, что эти характеристики сильно зависят от типа источника энергии, используемого электрическими автобусами, и особенностей эксплуатации этих автобусов. То есть однозначно сказать, какой вид электрических автобусов наиболее выгоден с точки зрения указанных характеристик, не представляется возможным. Однако большинство исследований сходятся на том, что электрические автобусы на аккумуляторных батареях и на топливных элементах, использующих экологически чистое топливо, такое как водород, имеют наибольшие перспективы использования, так как они обеспечивают практически нулевые выбросы вредных газов в атмосферу. Основным препятствием на пути полной электрификации общественного транспорта является общая стоимость затрат на создание транспортных сетей на базе электрических автобусов. Поэтому на современном этапе использование гибридных автобусов, представляющих собой, по сути, сочетание обычных автобусов с двигателями внутреннего сгорания и электрических автобусов, представляется наиболее эффективным как с экономической точки зрения, так и с точки зрения эксплуатации.

**Ключевые слова:** электрический автобус, гибридный автобус, аккумулятор, топливный элемент, экология, время зарядки

**PROSPECTS FOR THE USE OF ELECTRIC BUSES  
IN URBAN PUBLIC TRANSPORT****Shatmanov O.T., Ismanov Yu.Kh., Aydaraliev Zh.K., Isakova Zh.A.***Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov,  
Bishkek, e-mail: i\_yusupjan@mail.ru*

The article provides a unified assessment of the competitive capabilities and technological features of modern electric buses in order to determine the direction of development of these technologies and the prospects for using electric buses in the transport structure of cities. The analysis of the three main characteristics of electric buses – their economic, environmental and operational efficiency. Most of the work in this direction shows that these characteristics are highly dependent on the type of energy source used by electric buses and the characteristics of the operation of these buses. That is, it is not possible to unambiguously recommend which type of electric buses are the most advantageous in terms of these characteristics. However, most studies agree that battery and fuel cell electric buses, using clean fuels such as hydrogen, are the most promising because they provide virtually zero emissions of harmful gases into the atmosphere. The main obstacle to the full electrification of public transport is the total cost of building transport networks based on electric buses. Therefore, at the present stage, the use of hybrid buses, which are, in fact, a combination of conventional buses with internal combustion engines and electric buses, seems to be the most efficient both from an economic point of view and from the point of view of operation.

**Keywords:** electric bus, hybrid bus, battery, fuel cell, ecology, charging time

Выбросы транспорта – это часто основная причина высокой степени загрязненности городского воздуха, а в глобальном масштабе это одна из причин повышения средней температуры воздуха на нашей планете (выбросы транспорта содержат большое количество  $\text{CO}_2$  – двуокиси углерода). Влияние транспорта на качество жизни людей, в особенности жителей городов, проявляется и в таких факторах, как постоянный шум, заторы на дорогах, формирование вредного для здоровья смога и др. Принимая во внимание тот факт, что транспортный поток только нарастает, необходимо делать все для уменьшения воздействия

всех указанных факторов на экосистему человека. В противном случае говорить об устойчивом развитии транспортной системы не имеет смысла [1]. Применительно к транспорту парниковый эффект проявляется за счет выброса в атмосферу двуокиси углерода  $\text{CO}_2$ , метана  $\text{CH}_4$  и азота  $\text{N}_2\text{O}$  [2]. Снижение загрязненности воздуха и в целом улучшение экологической ситуации, в первую очередь в крупных городах, посредством максимального увеличения доли электрических автобусов в общественном транспорте является наиболее эффективным подходом [3]. Электрический автобус – это экологически чистый

транспорт, позволяющий в кратчайшие сроки максимально снизить загрязненность воздуха в городах [4, 5]. То есть использование электрических автобусов – это стратегическое направление решения экологических проблем, стоящих перед современным обществом [6].

Если говорить о сходстве и отличиях электрических автобусов и автобусов, использующих дизельный или бензиновый двигатель, то внешне они абсолютно одинаковы. Отличие, и отличие кардинальное – это тип используемого двигателя. Основа обычных автомобилей – это двигатели, использующие в качестве источника энергии результат сгорания либо бензинового, либо дизельного топлива, которое сопровождается выбросами в атмосферу вредных газов. В электрических автобусах чаще всего источниками энергии являются аккумуляторные батареи, работа которых не сопровождается выбросами газов в атмосферу. Существенным моментом обычных автобусов является то, что по сравнению с электрическими автобусами, которые имеют подвижные части в основном только в двигателе, они имеют значительно больше движущихся частей в общей структуре автобуса. То есть обычные автобусы требуют значительно больших затрат на их регулярное обслуживание: замену масла, настройку выхлопных устройств и т.д. Электрические автобусы, использующие герметичные аккумуляторные батареи, подобного, достаточно затратного обслуживания не требуют. То есть всесторонняя оценка преимуществ электрических автобусов по сравнению с обычными, показывает, что электрические автобусы обеспечивают выигрыш не только с точки зрения экономики, но и в первую очередь с точки зрения защиты окружающей среды. Несомненно, что хорошо спроектированные рабочая система и система управления электрическим автобусом, обладающие высокой производительностью и надежностью, позволяют электрифицировать не только частный транспорт, но и общественный. Если говорить об аккумуляторной системе, то здесь за последние годы произошел значительный прогресс – емкости аккумуляторов резко возросли, значительно снизилось время их зарядки. Все это позволяет значительно улучшить характеристики проектируемых электрических автобусов. Тем не менее существуют важные факторы, которые тормозят развитие городской транспортной системы на основе электрических автобусов. В первую очередь это ограниченность заряда аккумуляторов – фактор, сильно влияющий на длительность пробега

электрического автобуса без подзарядки. Современные аккумуляторы, при всех их достоинствах, обладают характеристиками, которые сильно влияют на дальнейшее развитие городских транспортных линий на базе электрических автобусов. Это их достаточно высокая стоимость, вес, значительное, при всех достижениях в этом направлении, время зарядки и др. Указанные факторы сильно влияют на широкое использование электрических автобусов в городских транспортных сетях [7, 8]. Однако эти факторы не являются непреодолимыми ограничениями. Просто необходимо при проектировании электрических автобусов учитывать эти факторы, а не использовать без раздумий обычные автобусы, рассчитанные на дизельные или бензиновые двигатели.

Целью данной статьи является анализ возможности замены автобусов, использующих двигатели внутреннего сгорания, электрическими автобусами посредством оценки их преимуществ (включая финансовые и экологические преимущества) при различных сценариях.

#### *Рынок электрических автобусов*

Современные тенденции в развитии общественного транспортного рынка – это увеличение доли электрических автобусов. Эта тенденция особенно ярко проявляется в плане закупок электрических автобусов. На 2013 г. доля закупок электрических автобусов составляла 7% [9, 10]. К основным покупателям можно отнести страны Азиатско-Тихоокеанского региона, Европу и Северную Америку. Оценка перспектив роста доли электрических автобусов в общем количестве используемого городского транспорта была проведена в работе [11]. Оценки, полученные в этой работе, достаточно оптимистичны с точки зрения использования электрических автобусов. Эти оценки показывают, что доля электрических автобусов в 2021 г. достигнет 16%, а общий годовой прирост достигнет 27,5%. Если говорить о распределении по странам, то основная доля придется на страны Азиатско-Тихоокеанского региона, в первую очередь Китай и Индию. Среднегодовой темп роста доли электрических автобусов для этих стран достигнет 7,3%. Для Европы этот рост составит 4,1%, для Северной Америки 3,8% и 7% для Латинской Америки. Если принять во внимание, что на Азиатско-Тихоокеанский регион приходится почти половина мирового автобусного парка, то на долю этого региона придется более двух третей мирового парка электрических автобусов [9].

Надо также учесть, что прогнозы на 2021 г. показывают, что парк электрических автобусов в Северной Америке будет пополняться в основном за счет автобусов, использующих гибридную технологию.

Оценки, сделанные в работе [12], что две трети общего парка электрических автобусов будут составлять автобусы на базе гибридных технологий. То есть доля чисто аккумуляторных электрических автобусов не будет превышать одной четвертой общего парка электрических автобусов [13]. Однако в Европе доля аккумуляторных электрических автобусов будет быстро расти, что, по расчетам, приведет к 2031 г. к превышению над долей гибридных электрических автобусов. Однако необходимо учитывать, что прогнозы основаны на уровне развития сегодняшних технологий, которые достаточно быстро изменяются, что не позволяет абсолютно точно делать прогнозы в этом направлении [14].

*Характеристики, определяющие целесообразность использования электрических автобусов*

Электрические автобусы по многим характеристикам существенно отличаются от автобусов на базе двигателей внутреннего сгорания [15]. Поэтому при оценке целесообразности создания транспортной структуры на базе электрических автобусов следует учитывать эти особенности. Оценка целесообразности включает учет таких важнейших факторов, как [16]:

- экономический фактор, включающий общие затраты на построение транспортной структуры, расходы на обслуживание и эксплуатацию;

- проблемы эксплуатации, к которым можно отнести такие, как радиус обслуживания, ускорение, длительность зарядки, доступность и инфраструктура;

- фактор экологии, который должен учитывать выбросы загрязняющих газов, шум и степень загрязнения воздуха;

- энергетический фактор, учитывающий тип источника энергии и его эффективность.

*Влияние экономических факторов на использование электрических автобусов*

Введение в эксплуатацию транспортной системы на основе электрических автобусов требует значительных суммарных затрат, что в конечном счете является чуть ли не основным фактором, препятствующим развитию такой транспортной структуры [17–19]. К основным компонентам указанных суммарных затрат можно отнести стоимость изготовления электрических

автобусов, затраты на обслуживание, эксплуатацию, распределение энергии для зарядных станций, создание инфраструктуры, снижение выбросов, страховые гарантии и др. [20]. Чаще всего, судя по литературным источникам [20–22], за базовую компоненту общих затрат берутся затраты на эксплуатацию. Однако были предложены схемы общих затрат на основе других факторов, что создает достаточную неопределенность при расчете общих затрат [18]. Как показывают различные модели расчета общих затрат, на затраты сильно влияют такие факторы, как стоимость топлива, даже если в качестве топлива рассматривать электричество [17]. Сильно влияют на общие затраты уровень штрафных санкций за загрязнение окружающей среды, величины налогов и др. [13, 18].

В целом средняя стоимость электрического автобуса выше стоимости автобуса на базе двигателя внутреннего сгорания, что обусловлено наличием дорогостоящих электрических составляющих – аккумуляторной батареи, электродвигателя и др. [23].

Если речь идет о туристических электрических автобусах на аккумуляторах, курсирующих в пределах небольшой зоны, то они значительно дешевле, чем рейсовые электрические автобусы, использующие аккумуляторы больших размеров [18, 23]. Сравнение электрических автобусов аккумуляторных, гибридных и на базе топливных элементов показывает, что самыми дорогими являются электрические автобусы на топливных элементах. Их цена достигает в среднем миллиона долларов США, и это является важнейшим препятствием для их широкого внедрения, хотя они обладают таким важным качеством, как длительность работы от одной подзарядки до другой. Аккумуляторные электрические автобусы значительно дешевле, но они требуют обеспечения очень дорогой инфраструктурой. Так, например, некоторые оценки показывают, что плотность точек зарядки для них предполагает расположение этих точек через каждые 10–15 км [24]. И тем не менее снижение эксплуатационных расходов при использовании электрических автобусов в сравнении с автобусами с двигателями внутреннего сгорания достигает 80%, в то время как гибридные электрические автобусы дают снижение расходов только на 9–15%.

В работе [25] проведена оценка общих расходов на создание транспортной сети на базе электрических автобусов в Европе, причем за основу берутся в основном эксплуатационные расходы. В целом при оценке суммарных общих затрат на создание

такой сети учитывались все возможные факторы: затраты на покупку, финансирование, эксплуатационные и инфраструктурные расходы и даже штрафы за загрязнение окружающей среды. При расчетах они исходили из того, что средний пробег электрического автобуса за год достигает 65000 км, а среднее время эксплуатации автобуса равно 11,5 годам. Расчеты показали, что самыми дорогими в эксплуатации являются аккумуляторные электрические автобусы, рассчитанные на дальние рейсы, а значит, имеющие большие и дорогие аккумуляторы, за ними следуют электрические автобусы на топливных элементах. Последними идут аккумуляторные электрические автобусы туристического типа, имеющие небольшие аккумуляторы и гибридные автобусы. Однако оценки, приведенные в других работах [18, 24, 26], показали, что на конкурентоспособность электрических автобусов сильно влияют не только стоимость электрических компонентов, которая, кстати, постоянно снижается, но и потребность в услугах транспорта. Иными словами, в час пик и даже вне его, при умеренных нагрузках, электрические автобусы становятся вполне конкурентоспособными даже при нынешних ценах на электрические компоненты автобусов. Большинство оценок говорят, что суммарная стоимость создания транспортной сети на электрических автобусах значительно снизится к 2030-м гг., а стоимость сети автобусов с двигателями внутреннего сгорания снизится максимум на 1,5–4,5%.

#### *Длина пробега и время зарядки электрических автобусов*

Как показывают большинство исследований, основным препятствием для широкого внедрения в транспортные сети городов электрических автобусов является дальность действия электрических автобусов без очередной зарядки [27]. Однако, как показывают многие публикации, эту проблему стараются решить различными способами, и успехи в этом направлении несомненны [28]. В первую очередь это касается электрических автобусов с гибридными двигателями. Некоторые современные модели гибридных электрических автобусов по дальности пробега без подзарядки сравнимы с автобусами с двигателями внутреннего сгорания и даже иногда превышают их возможности [29]. Разработаны модели электрических автобусов на топливных элементах, длина пробега которых без дополнительной подзарядки достигает 4500 км [30]. Если же говорить об электрических автобусах, использующих аккумуля-

торы, то здесь существуют явные проблемы: максимальная дальность действия этих автобусов без подзарядки достигает 260 км, а большинство так называемых автобусов туристического класса имеют дальность, ограниченную 35–45 км [31].

Схема и технология эксплуатации электрических автобусов, а в целом и эффективность использования электрических автобусов зависят не только от дальности пробега без подзарядки, но времени зарядки. Отсюда возникла необходимость ввести характеристику, учитывающую оба этих фактора [32]. Этот показатель называется эксплуатационной гибкостью [33]. В работе [34] авторы утверждают, что электрические автобусы на аккумуляторных батареях негибки в эксплуатации, так как они ограничены в своем графике движения из-за жесткого следования времени зарядки по расписанию. Они также утверждали, что из-за ограничений по дальности и времени зарядки возникает ситуация, когда для того, чтобы не сбить график движения, один автобус с двигателем внутреннего сгорания необходимо заменить двумя электрическими автобусами, использующими аккумуляторы. Однако здесь же утверждается, что на больших расстояниях и при условии, что время дозаправки автобуса с двигателем внутреннего сгорания и время подзарядки электрического автобуса не превышает 5 минут, все электрические автобусы обеспечивают характеристики, не отличающиеся от значений для автобусов с двигателем внутреннего сгорания. В настоящее время существует несколько технологий, позволяющих значительно сократить время подзарядки для электрических автобусов на аккумуляторных батареях. На некоторых городских транспортных сетях вместо подзарядки используются пункты замены аккумуляторов, что значительно увеличивает конкурентоспособность электрических автобусов, использующих аккумуляторы [35]. Результаты исследований показывают, что при налаженной инфраструктуре электрические автобусы на аккумуляторных батареях могут работать круглые сутки.

#### *Особенности инфраструктуры*

Важным моментом эффективной работы транспортной сети на основе электрических автобусов является отлаженная и настроенная на электрические автобусы инфраструктура. Когда речь идет о гибридных автобусах, то здесь не возникает никаких проблем. Эти автобусы могут использовать обычную инфраструктуру, созданную под автобусы с двигателями внутреннего сгорания [36]. Для электрических автобусов с топлив-

ными элементами необходимо установить заправочные станции, обеспечивающие водородом. Причем с целью снижения выбросов парниковых газов в атмосферу эти станции желательно размещать в автобусных депо [34]. Для транспортной структуры на базе электрических автобусов на аккумуляторных батареях возможны несколько вариантов построения инфраструктуры. Если речь идет об аккумуляторных электрических автобусах с мощными аккумуляторами, способными работать без подзарядки достаточно длительное время, то здесь существует основная проблема – время зарядки. То есть в инфраструктуре должны быть предусмотрены станции сверхбыстрой зарядки или, если есть такая возможность, станции замены аккумуляторов. Аккумуляторные электрические автобусы способны работать с различными типами инфраструктурных элементов зарядки: точки зарядки, воздушные зарядные столбы и индуктивная зарядка [37]. В принципе, установка точек или воздушных зарядных столбов не требует значительной модернизации существующей инфраструктуры. Однако если учесть, что этих точек или столбов должно быть и достаточно много, да к тому же возникает проблема их распределения, то это становится существенным препятствием при построении инфраструктуры для транспортной сети электрических автобусов. Другой значительной помехой является возникающая при этом дополнительная нагрузка на коммунальные электрические линии, особенно в крупных городах [38]. По другим параметрам, таким как шум, вибрация, доступность и др., электрические автобусы ни в чем не уступают автобусам с двигателями внутреннего сгорания и даже имеют ряд преимуществ. По уровням шума и вибрации электрические автобусы явно более приемлемы для городов, чем автобусы с двигателями внутреннего сгорания [39]. Все сказанное относится также и к электрическим автобусам на топливных элементах.

#### *Экологические показатели*

Важнейшим аргументом в пользу использования электрических автобусов в городской транспортной сети являются их несомненные экологические преимущества [40].

Оценку выбросов так называемых парниковых газов (диоксид углерода  $\text{CO}_2$ , закись азота  $\text{N}_2\text{O}$ , метан  $\text{CH}_4$  и др.) проводят как в глобальных масштабах – от момента добычи топлива до момента непосредственного использования его в транспортных средствах, так и только на этапе эксплуатации транспортного средства [41]. Нас интересует только второй этап – выбро-

сы на стадии эксплуатации автобусов. Результаты оценки выбросов загрязняющих атмосферу газов на стадии эксплуатации транспортных средств, в нашем конкретном случае автобусов, сильно привязаны к условиям эксплуатации. К этим условиям можно отнести возможные заторы, среднюю скорость движения автобуса, количество остановок и др. Подобные оценки проводятся либо на основании эксплуатационных данных, либо с помощью имитационных моделей транспортных средств [42]. Проведенные исследования показали, что для стандартного 12-метрового электрического автобуса, как с использованием топливного элемента, так и на основе аккумулятора, выбросы парниковых газов равны нулю. В случае гибридных электрических автобусов выбросы парниковых газов зависят от степени гибридизации тяги автобуса [43]. Выброс парниковых газов гибридным автобусом, использующим в качестве дополнительного топлива дизельное топливо, эквивалентен выбросу в среднем 800–980 г  $\text{CO}_2$ /км, а в случае использования биотоплива в качестве дополнительного топлива – в среднем 650–750 г  $\text{CO}_2$ /км [44].

#### **Заключение**

Проведен обзор исследований по перспективам использования электрических автобусов в современных транспортных сетях. Рассмотрены основные технологии, используемые при разработке электрических автобусов. Технологии, которые рассматриваются в качестве базовых при разработке моделей электрических автобусов – это гибридные технологии, технологии, использующие аккумуляторы и топливные элементы. В обзоре сделана попытка провести единую оценку конкурентных возможностей и технологических особенностей современных электрических автобусов с целью определить направление развития этих технологий и перспектив использования электрических автобусов в транспортной структуре городов.

Сделан анализ трех основных характеристик электрических автобусов: их экономической, экологической и эксплуатационной эффективности. Большинство работ в этом направлении показывают, что эти характеристики сильно зависят от типа источника энергии, используемого электрическими автобусами, и особенностей эксплуатации этих автобусов. То есть однозначно сказать, какой вид электрических автобусов наиболее выгоден с точки зрения указанных характеристик, не представляется возможным. Однако большинство исследований сходятся на том, что электрические авто-

бусы на аккумуляторных батареях и на топливных элементах, использующих экологически чистое топливо, такое как водород, имеют наибольшие перспективы использования, так как они обеспечивают практически нулевые выбросы вредных газов в атмосферу.

Основным препятствием на пути полной электрификации общественного транспорта является общая стоимость затрат на создание транспортных сетей на базе электрических автобусов. Поэтому на современном этапе использование гибридных автобусов, представляющих собой, по сути, сочетание обычных автобусов с двигателями внутреннего сгорания и электрических автобусов, представляется наиболее эффективным как с экономической точки зрения, так и с точки зрения эксплуатации.

### Список литературы

1. Juan A.A., Mendex C.A., Faulin J., Armas J.D., Grasman S.C. Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic and operational challenges. *Energies*. 2016. No. 9. P. 1–21.
2. Ong H.C., Mahlia T., Masjuki H.H. A review on emissions and mitigation strategies for road transport in Malaysia. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2011. No. 15. P. 3516–3522.
3. Doucette R., McCulloch M. Modeling the CO<sub>2</sub> emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries. *Energy Policy*. 2011. No. 39. P. 803–811.
4. Foltynski M. Electric fleets in urban logistics. In: 1st International Conference Green Cities 2014 – Green Logistics for Greener Cities. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014. No. 151. P. 48–59.
5. Kakuhami Y., Kato J., Fukuizumi Y., Watabe M., Fujinaga T., Tada T. Next-generation public transportation: Electric bus infrastructure project. *Mitsubishi Heavy Ind. Tech. Rev.* 2011. No. 48. P. 1–4.
6. Miles J., Potter S. Developing a viable electric bus service: the Milton Keynes demonstration project. *Res. Transport. Econ.* 2014. No. 48. P. 357–363.
7. Gill J., Bhavsar P., Chowdhury M., Johnson J., Taiber J., Fries R. Infrastructure cost issues related to inductively coupled power transfer for electric vehicles. In: 5th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies. *Procedia Computer Science*. 2014. No. 32. P. 545–552.
8. Li J.Q. Transit bus scheduling with limited energy. *Transport. Sci.* 2014. No. 48. P. 521–539.
9. Frost S. Strategic analysis of global hybrid and electric heavy-duty transit bus market (NC7C-01). New York: Frost & Sullivan Publication, 2013. 367 p.
10. Raslavičius L., Azzopardi B., Keršys A., Starevičius M., Bazaras Ž., Makaras R. Electric vehicles challenges and opportunities: Lithuanian review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2015. No. 42. P. 786–800.
11. Poullikkas A. Sustainable options for electric vehicle technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015. No. 41. P. 1277–1287.
12. Hurst D. Thinking outside the car: using electricity for two wheel vehicles, trucks, buses, locomotive, and off-road vehicles. USA: Pike Research, 2011. 423 p.
13. Hao H., Wang H., Ouyang M. Fuel consumption and life cycle GHG emissions by China's on-road trucks: future trends through 2050 and evaluation of mitigation measures. *Energy Policy*. 2012. No. 43. P. 244–51.
14. Al-Alawi B.M., Bradley T.H. Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling studies. *Renew Sustain Energy Rev.* 2013. No. 21. P. 190–203.
15. Miles J., Potter S. Developing a viable electric bus service: the Milton Keynes demonstration project. *Res. Transport. Econ.* 2014. No. 23. P. 125–134.
16. Lee J., Lee B.-J., Park G.-L., Kim Y.C. Web service based tour-and-charging scheduler framework for rent-a-car systems employing electric vehicles. *International Journal of Control and Automation*. 2013. Vol. 6. No. 4. P. 141–151.
17. Song Z., Hofmann H., Li J., Hou J. Electric vehicles with hybrid energy storage system. *Appl. Energy*. 2014. No. 134. P. 321–331.
18. Pattnaik S.B., Mohan S., Tom V.M. Urban bus transit route network design using Genetic algorithm. *J. Transport. Eng.* 1998. No. 124. P. 368–375.
19. Baouche F., Billot R., Trigui R., Faouzi N. E. El. Efficient allocation of electric vehicles charging stations: optimization model and application to a dense urban network. *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.* 2014. No. 4. P. 231–241.
20. Hua T., Ahluwalia R., Eudy L., Singer G., Jermer B., Asselin-Miller N. Status of hydrogen fuel cell electric buses worldwide. *J. Power Sources*. 2014. No. 269. P. 975–93.
21. Kliucininkas L., Matulevicius J., Martuzevicius D. The life cycle assessment of alternative fuel for urban buses and trolley buses. *J. Environ. Manage.* 2012. No. 99. P. 98–103.
22. Li J.-Q. Battery-electric transit bus developments and operations: a review. *Int. J. Sustain. Transp.* 2014. No. 4. P. 1–22.
23. Göhlich D., Kunith A., Ly T. Technology assessment of an electric urban bus system for Berlin. *WIT Trans. Built Environ.* 2014. No. 138. P. 137–149.
24. Lajunen A. Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 2014. No. 38. P. 1–15.
25. Offer G.J., Howey D., Contestabile M., Clague R., Brandon N. P. Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy Policy*. 2010. No. 38. P. 24–9.
26. Ribau J.P., Silva C.M., Sousa J.M.C. Efficiency, cost and life cycle CO<sub>2</sub> optimization of fuel cell hybrid and plug-in hybrid urban buses. *Appl. Energy*. 2014. No. 129. P. 320–335.
27. Chan C.C. The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proc. IEEE*. 2007. No. 95. P. 704–18.
28. Жумалиев К.М., Алымкулов С.А., Исманов Ю.Х., Исмаилов Д.А. Анализ голографических интерферограмм // *Известия КГТУ им. И. Раззакова*. 2016. № 3 (39). Ч. I. С. 56–60.
29. Исманов Ю.Х. Интерферометрия на основе метода бесцелевой радужной голографии // *Вестник КГУСТА*. 2015. № 4 (40). С. 194–198.
30. Исманов Ю.Х. Голографическая интерферометрия на основе эффекта Тальбота // *Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики*. 2015. № 2. С. 20–23.
31. Maripov A., Ismanov Y. The Talbot effect (a self imaging phenomenon) in holography. *Journal of Optics (0150-536X)*. 1994. Vol. 25. No. 1. P. 3–8. DOI: 10.1088/0150-536X/25/1/001.
32. Исманов Ю.Х. Восстановление изображения волнами различной длины // *Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики*. 2015. № 4. С. 30–33.
33. Rogger M., Wollny S., Sauer D.U. Fast charging battery buses for the electric feasibility study focusing on charging infrastructure and energy storage requirements. *Energies*. 2015. No. 8. P. 4587–4606.
34. Nykvist B., Nilsson M. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nat. Clim. Chang.* 2015. No. 5. P. 329–332.

35. Tzeng G.H., Lin C.W., Opricovic S. Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy*. 2005. No. 33. P. 1373–1383.
36. Zhu Z.-H., Gao Z.-Y., Zheng J.-F., Du H.-M. Charging station location problem of plug-in electric vehicles. *J. Transp. Geogr.* 2016. No. 52. P. 11–22.
37. Zhu C., Chen X. Optimizing battery electric bus transit vehicle scheduling with battery recharging: model and case study. *Proc. Soc. Behav. Sci.* 2013. No. 96. P. 2725–2736.
38. Song Z., Hofmann H., Li J., Hou J., Han X., Ouyang M. Energy management strategy comparison for electric vehicles with hybrid energy storage system. *Appl. Energy*. 2014. No. 134. P. 321–331.
39. Pternea M., Kepaptsoglou K., Karlaftis M.G. Sustainable urban transit network design. *Transp. Res. Part A*. 2015. No. 77. P. 276–291.
40. Kumar L., Jain S. Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014. No. 29. P. 924–940.
41. Ke B.-R., Chung C.-Y., Chen Y.-C. Minimizing the costs of constructing an all plug-in electric bus transportation system: a case study in Penghu. *Appl. Energy*. 2016. No. 177. P. 649–660.
42. McKenzie E.C., Durango-Cohen P.L. Environmental life-cycle assessment of transit buses with alternative fuel technology. *Transp. Res. Part D*. 2012. No. 17. P. 39–47.
43. Kühne R. Electric buses – an energy efficient urban transportation means. *Energy*. 2010. No. 35. P. 4510–4513.
44. Ou X.M., Zhang X.L., Chang S.Y. Alternative fuel buses currently in use in China: Life-cycle fossil energy use, GHG emissions and policy recommendations. *Energy Policy*. 2010. No. 38. P. 406–418.