Министерство Транспорта Республики Узбекистан,

ПРООН, ГЭФ,

АО «Toshshahartransxizmat»

РЕКОМЕНДАЦИИ

по снижению рисков уменьшения дальности пробега электробусов
(изменение нагрузки на аккумуляторную батарею автобуса ввиду сезонных колебаний, которая потенциально может сократить запас хода на одной зарядке более чем на 50 %)
(на примере эксплуатации электробусов на маршрутах № 51 и № 81)

Проект «Ташкент-Ускоренное привлечение инвестиций в автотранспорт с низким уровнем выбросов (TAILEV)»

И.У. Шодиев

Главный технический советник

г. Ташкент-2023 г.

В последнее время во многих странах, в частности и в Республике Узбекистан наблюдается тенденция по более широкому использованию электробусов при перевозке пассажиров на регулярных городских маршрутах.

Так, в целях полного удовлетворения потребностей населения в пассажирских перевозках надлежащего качества и комфортности, а также обновления парка подвижного состава АО «Тошшахартрансхизмат» современными, оказывающие наименьшее вредное воздействие на окружающую среду транспортными средствами, в соответствии с Постановлением Президента Республики Узбекистан от 16 февраля 2023 года ПП- 59 «О мерах по реформированию системы общественного транспорта» в первой половине 2023 года были приобретены 300 единиц электробусов производства компании «YUTONG BUS CO., LTD.» модели «YUTONG ZK6126BEVG» с зарядными устройствами в количестве 150 единиц.

Следует отметить, что приобретенные в 2022 году 20 единиц электробусов использовались полностью только на двух маршрутах (51-марштрут и 81-маршрут), а также частично также на двух маршрутах (100-маршрут и 93-маршрут).

После приобретения 300 единиц электробусов количество маршрутов, полностью переведенных на электробусы, увеличилось с двух до двадцати трех маршрутов, т.е. рост 11,5 раза.

Принимая во внимание, что по состоянию на 24 мая 2023 года количество маршрутов, обслуживаемых АО «Тошшахартрансхизмат», составляет 151 маршрут, доля маршрутов, на которых эксплуатируются электробусы, составляет 15,2 процента от общего количества маршрутов.

В настоящее время полностью переведены на электробусы следующие 23 маршрута: 2, 8, 13Т, 19, 28, 37, 44, 45, 51, 53, 57, 67, 72, 81, 83, 85, 89, 94, 95, 98, 100, 140, 126.

При выборе маршрута, на котором планируется эксплуатация электробусов, необходимо учитывать несколько факторов, которые имеют влияние на достижение экономической эффективности от использования электробусов на данном маршруте.

Немаловажное значение имеют факторы, непосредственно влияющие на уровень расхода электроэнергии тяговых батарей электробусов.

К некоторым из этих факторов можно отнести следующие:

- протяженность маршрута и время работы на маршруте;

- загруженность маршрута (пассажиропоток);

- интенсивность движения и плотность транспортного потока (разгоны/торможения) на всей протяженности маршрута;

- количество перекрестков, пешеходных переходов, светофоров, количество автобусных остановок и время нахождения на них;

- показатели средней эксплуатационной скорости движения на маршруте;

- состояние и конфигурация дорожного покрытия (качество дорожного полотна, уклон дороги) на всей протяженности маршрута;

- наличие выделенной полосы для движения только общественного транспорта;

- опыт работы и психофизиологические особенности водителя, а также методы управления электробусом.

Кроме того, на уровень заряда тяговых аккумуляторных батарей влияет соотношение протяженности участков разгона и торможения.

На всех современных электробусах применяется асинхронный привод, тяговый инвертор предусматривает функцию рекуперации, благодаря которой при электродинамическом торможении осуществляется заряд тяговых аккумуляторных батарей, что позволяет рекуперировать до 30% энергии, израсходованной на пусках и разгонах.

В научно-исследовательских работах отмечаются, что к определяющим факторам, влияющим на снижение уровня заряда тяговых аккумуляторных батарей относятся – эксплуатационная скорость движения, количество остановочных пунктов, количество регулируемых и нерегулируемых перекрестков, а также температура окружающего воздуха.

В настоящей работе сделана попытка изучения вопроса расхода электроэнергии электробусов при эксплуатации в городской среде с учетом транспортных, природно-климатических и дорожных условий.

Следует отметить, что вопрос влияния температуры окружающего воздуха
на изменение расхода электроэнергии электробуса рассмотрен в работе «Некоторые проблемы эксплуатации городских электробусов *(на примере маршрута № 51)*», подготовленного в марте 2023 года автором настоящей работы.

Анализ влияния температуры окружающего воздуха на изменение расхода электроэнергии тяговых аккумуляторных батарей показывает, что в июне месяце 2022 года пиковое значение расхода электроэнергии составило 110,2 кВт/100 км. пробега. Среднее значение расхода электроэнергии в июне месяце 2022 года составило 97,2 кВт/100 км пробега, тогда как в апреле месяце 2022 года среднее значение расхода электроэнергии составило 86,9 кВт/100 км. пробега, т.е. разница составила 10,3 кВт/100 км пробега или 111,8 %. Следовательно, ёмкость тяговых батарей в июне месяце 2022 года, из-за использования в электробусах кондиционеров, снизилась в среднем на **12 %.**

В связи с этим, в настоящей работе рассмотрены вопросы по определению закономерности изменения расхода электроэнергии электробусов, работающих на регулярных маршрутах города Ташкента, от внешних условий (факторов) эксплуатации.

Объектом исследования выбраны маршруты № 51 («Юнусобод мавзеси 6-даха»-«Бешегоч майдони») и № 81 («Куйлюк 1-мавзеси»-«Гулобод кучаси»), эксплуатирующиеся, соответственно, «8-автобус саройи филиали» и «1-автобус саройи филиали» АО «Toshshahartransxizmat».

Анализ работы электробусов на маршрутах № 51 и № 81 приведены в таблицах № 1 и № 2.

Для анализа выбраны следующие дни недели - суббота, воскресенье и понедельник.

1. Анализ работы маршрута № 51 ***(таблица №1).***

Для анализа работы электробусов на маршруте № 51 выбраны электробусы с гаражными номерами № 08006, № 08007 и № 08002. При этом, проанализирована работа электробуса гар. № 08006 за субботний день (20.05.2023 г.), электробуса гар. № 08007 за воскресный день (21.05.2023 г.) и электробуса гар. № 08002 за понедельник (22.05.2023 г.).

Результаты анализа показывают, что при протяженности маршрута № 51 «Юнусобод мавзеси 6-даха»-«Бешегоч майдони» в **13,49 км**, при нормативном времени в пути **37 минут** и эксплуатационной скорости **21,9 км/час**, получены следующие фактические показатели времени в пути и эксплуатационной скорости.

За субботний день (20.05.2023 г.) фактическое время в пути электробуса гар. № 08006 составило **37 минут** с эксплуатационной скоростью в **21,9 км/час**, за воскресный день (21.05.2023 г.) фактическое время в пути электробуса гар № 08007 составило **38 минут** с эксплуатационной скоростью в **21,3 км/час** и в понедельник (22.05.2023 г.) фактическое время в пути электробуса гар № 08002 составило **41 минуту** с эксплуатационной скоростью в **19,7 км/час**.

Таким образом, за субботний день соблюдены нормативные показатели времени в пути и эксплуатационной скорости, за воскресный день время в пути превысило нормативные показатели на **102,7 %** или на **1 мин**., а эксплуатационная скорость снижена на **2,7 %** или **0,6 км/час**, за понедельник время в пути превысило нормативные показатели на **110,8 %** или **4 мин**., а эксплуатационная скорость снижена на **10,0 %** или **2,2 км/час.**

Резкое отличие показателей времени в пути и эксплуатационной скорости за понедельник от нормативных показателей объясняется увеличением трафика на всей протяженности маршрута за этот день.

Анализ расхода электроэнергии тяговых аккумуляторных батарей в рассматриваемый период показывает следующее *(таблица № 2)*.

Суббота (20.05.2023 г.)-электробус гар. № 08006.

Объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при выезде с автобусного парка на маршрут составлял 100 % или 350 кВт, пробег на маршруте за смену составил 278 км, количество выполненных рейсов - **20 рейсов**, отработанное время на маршруте – 14,00 час, объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при заезде в автопарк составил 40 % или 140 кВт, фактический расход электроэнергии составил 60 % или 210 кВт, расход электроэнергии на 100 км. составил **75,5 кВт/100 км,** а на 1 рейс **– 10,5 кВт/1 рейс**.

Воскресенье (21.05.2023 г.) - электробус гар. № 08007.

Объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при выезде с автобусного парка на маршрут составлял 100 % или 350 кВт, пробег на маршруте за смену составил 251 км, количество выполненных рейсов - **18 рейсов**, отработанное время на маршруте – 12,36 час, объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при заезде в автопарк составил 37 % или 129,5 кВт, фактический расход электроэнергии составил 63 % или 220,5 кВт, расход электроэнергии на 100 км. составил **87,8 кВт/100 км,** а на 1 рейс **– 12,3 кВт/1 рейс**.

Понедельник (22.05.2023 г.) – электробус гар. № 08002.

Объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при выезде с автобусного парка на маршрут составлял 100 % или 350 кВт, пробег на маршруте за смену составил 250 км, количество выполненных рейсов - **18 рейсов**, отработанное время на маршруте – 12,36 час, объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при заезде в автопарк составил 24 % или 84 кВт, фактический расход электроэнергии составил 76 % или 266 кВт, расход электроэнергии на 100 км. составил **106,4 кВт/100 км,** а на 1 рейс **– 14,8 кВт/1 рейс**.

Сравнительный анализ работы электробусов в воскресный день и понедельник показывает, что при одинаковых количествах выполненных рейсов (по 18 рейсов) и одинаковых пробегах (соответственно, 251 км и 250 км), расход электроэнергии в понедельник вырос по сравнению с воскресным днем на 100 км. пробега на **18,6 кВт/100 км** или на **121,2 %**, также имеется рост по расходу электроэнергии в пересчете на количество выполненных рейсов – **2,5 кВт/1 рейс** или на **120,3 %**. Данный рост можно объяснить
с увеличением трафика на дорогах в рабочий день- понедельник по сравнению с воскресным днем.

Следовательно, ёмкость тяговых батарей в рабочий день по сравнению в выходными днями мая месяца 2023 года, из-за увеличения трафика движения, снизилась в среднем на **20 %.**

2. Анализ работы маршрута № 81 ***(таблица № 3).***

Для анализа работы электробусов на маршруте № 81 выбраны электробусы с гаражными номерами № 01018, № 01019 и № 01017. При этом, проанализирована работа электробуса гар. № 01018 за субботний день (20.05.2023 г.), электробуса гар. № 01019 за воскресный день (21.05.2023 г.) и электробуса гар. № 01017 за понедельник (22.05.2023 г.).

Результаты анализа показывают, что при протяженности маршрута № 81 «Куйлюк 1-мавзеси»-«Бешегоч майдони» в **19,83 км**, при нормативном времени в пути **58 минут** и эксплуатационной скорости **20,4 км/час**, получены следующие фактические показатели времени в пути и эксплуатационной скорости.

За субботний день (20.05.2023 г.) фактическое время в пути электробуса гар. № 01018 составило **68 минут** с эксплуатационной скоростью в **17,5 км/час**, за воскресный день (21.05.2023 г.) фактическое время в пути электробуса

гар № 01019 составило **61 минуту** с эксплуатационной скоростью в **19,5 км/час** и в понедельник (22.05.2023 г.) фактическое время в пути электробуса гар № 01017 составило **84 минуту** с эксплуатационной скоростью в **14,2 км/час**.

Таким образом, за субботний день временя в пути превысило нормативные показатели на **117,2 %** или **10 мин.**, а эксплуатационная скорость снижена на **14,2 %** или **2,9 км/час**, за воскресный день время в пути превысило нормативные показатели на **105,2 %** или на **3 мин**., а эксплуатационная скорость снижена на **4,4 %** или **0,9 км/час**, за понедельник время в пути превысило нормативные показатели на **144,8 %** или **26 мин**., а эксплуатационная скорость снижена на **30,4 %** или **6,2 км/час.**

Резкое отличие показателей времени в пути и эксплуатационной скорости за понедельник от нормативных объясняется увеличением трафика на всей протяженности маршрута в этот день.

Анализ расхода электроэнергии тяговых аккумуляторных батарей в рассматриваемый период показывает следующее *(таблица № 4)*.

Суббота (20.05.2023 г.)-электробус гар. № 01018.

Объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при выезде с автобусного парка на маршрут составлял 100 % или 350 кВт, пробег на маршруте за смену составил 280 км, количество выполненных рейсов – **14 рейсов**, отработанное время на маршруте – 13,50 час, объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при заезде в автопарк составил 24 % или 84 кВт, фактический расход электроэнергии составил 76 % или 266 кВт, расход электроэнергии на 100 км. составил **95,0 кВт/100 км,** а на 1 рейс **– 19,0 кВт/1 рейс**.

Воскресенье (21.05.2023 г.) - электробус гар. № 01019.

Объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при выезде с автобусного парка на маршрут составлял 100 % или 350 кВт, пробег на маршруте за смену составил 280 км, количество выполненных рейсов - **14 рейсов**, отработанное время на маршруте – 13,5 час, объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при заезде в автопарк составил 18 % или 63 кВт, фактический расход электроэнергии составил 82 % или 287 кВт, расход электроэнергии на 100 км. составил **102,5 кВт/100 км,** а на 1 рейс **– 20,5 кВт/1 рейс**.

Понедельник (22.05.2023 г.) – электробус гар. № 01017.

Объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при выезде с автобусного парка на маршрут составлял 100 % или 350 кВт, пробег на маршруте за смену составил 240 км, количество выполненных рейсов - **12 рейсов**, отработанное время на маршруте – 11,6 час, объем электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях при заезде в автопарк составил 22 % или 77 кВт, фактический расход электроэнергии составил 78 % или 273 кВт, расход электроэнергии на 100 км. составил **113,8 кВт/100 км,** а на 1 рейс **– 22,8 кВт/1 рейс**.

Сравнительный анализ работы электробусов в воскресный день и понедельник показывает, что при количестве выполненных рейсов (соответственно, 14 рейсов и 12 рейсов) и пробегах, соответственно, 280 км и 240 км, расход электроэнергии в понедельник вырос по сравнению с воскресным днем на 100 км. пробега на **11,3 кВт/100 км** или на **111,0 %**, также имеется рост по расходу электроэнергии в пересчете на количество выполненных рейсов – **2,3 кВт/1 рейс** или на **111,2 %**. Данный рост можно объяснить с увеличением трафика на дорогах в рабочий день- понедельник по сравнению с воскресным днем.

Следовательно, ёмкость тяговых батарей в рабочий день по сравнению в выходными днями мая месяца 2023 года, из-за увеличения трафика движения, снизилась в среднем на **11 %.**

3. Сравнительный анализ технико-эксплуатационных показателей работы электробусов на маршрутах № 51 и № 81 в одни и те же дни работы за май месяц 2023 года показывает, что наличие на большей части трассы движения маршрута № 51 выделенных полос для автобусов позволяет придерживаться, с учетом незначительных отклонений, заданных показателей по эксплуатационной скорости, а также по расходу электроэнергии в тяговых аккумуляторных батареях *(таблица № 5*).

В частности, при росте расходов электроэнергии в понедельник (106,4 кВт/100 км) по сравнению с воскресным днем (87,8 кВт/100 км) на 100 км. пробега на **18,6 кВт/100 км** или на **121,2 %**, а также по электроэнергии в пересчете на количество выполненных рейсов – **2,5 кВт/1 рейс** или на **120,3 %,** аналогичные показатели по маршруту № 81 составляют - расход электроэнергии в понедельник (113,8 кВт/100 км) вырос по сравнению с воскресным днем (102,5 кВт/100 км) на **11,3 кВт/100 км** или на **111,0 %**, а также по электроэнергии в пересчете на количество выполненных рейсов – **2,3 кВт/1 рейс** или на **111,2 %**.

Кроме того, для выполнения сопоставимых расчетов, был определен расход электроэнергии, приходящийся на 1 км пробега 1 рейса по каждому рассматриваемому маршруту. Так, при расходе электроэнергии на 1 рейс на маршруте № 51 в субботний день -0,78 кВт/1 км-1 рейс, расход электроэнергии в этот же день на маршруте № 81 составил 0,96 кВт/1 км-1 рейс, т.е. разница составила 0,18 кВт/1 км-1 рейс или рост **123,1 %.**

Аналогичным образом произведены расчеты по воскресному дню и за понедельник. Так, за воскресный день при расходе электроэнергии на 1 рейс на маршруте № 51 -0,91 кВт/1 км-1 рейс, расход электроэнергии в этот же день на маршруте № 81 составил 1,03 кВт/1 км-1 рейс, т.е. разница составила 0,12 кВт/1 км-1 рейс или рост **113,4 %.** За понедельник при расходе электроэнергии на 1 рейс на маршруте № 51 - 1,1 кВт/1 км-1 рейс, расход электроэнергии в этот же день на маршруте № 81 составил 1,15 кВт/1 км-1 рейс, т.е. разница составила 0,05 кВт/1 км-1 рейс или рост **104,8 %.**

Таким образом, эксплуатация электробусов в рабочие дни, в частности в понедельник по сравнению с воскресными днями, а также отсутствие

выделенной полосы движения приводит к увеличению расхода электроэнергии тяговых аккумуляторных батарей от **5 %** до **23 %**.

Следовательно, предварительно можно сделать вывод, что наличие выделенной полосы на трассе движения электробусов позволяет снизить расход ёмкости электроэнергии тяговых аккумуляторных батарей в среднем на **14,0 кВт/100 км** или на **17 %**.

Вышеуказанный анализ показывает наличия взаимозависимости между уровнем использования электроэнергии тяговых аккумуляторных батарей и комплексом факторов, например дорожных условий. Соответственно, при планировании закрепления электробусов на конкретных маршрутов необходимо учитывать экономическую эффективность эксплуатации электробусов
на данном конкретном маршруте с осуществлением необходимых расчетов.

Следовательно, оценка влияния множественных факторов на технико-эксплуатационные и технико-экономические показатели работы электробусов на городских регулярных маршрутах требует проведения более глубоких научных исследований. Полагается, что данные научно-исследовательские работы можно было бы выполнить с привлечение специалистов и ученых Туринского политехнического университета в Ташкенте, Ташкентского Государственного транспортного университета, ГУП НПЦ «Узавтотранстехника», Центра изучения проблем развития транспорта и логистики при Министерстве транспорта Республики Узбекистан.