МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ГОРБУНОВА Анастасия Дмитриевна

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОБУСОМ НА ГОРОДСКОМ РЕГУЛЯРНОМ МАРШРУТЕ

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент Смирнова Ольга Юрьевна

Тюмень - 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА 10

1.1 Тенденции развития электробусов в мире и в Российской Федерации 10

1.2 Технические характеристики эксплуатируемых электробусов и зарядной инфраструктуры 14

1.3 Процесс транспортного обслуживания населения на регулярных городских маршрутах при вводе в эксплуатацию электробуса 20

1.3.1 Планирование и организация регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным и городским наземным электрическим транспортом 21

1.3.2 Допуск перевозчика к осуществлению регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным маршрутам 24

1.3.3 Подготовка и выпуск транспортного средства на линию для осуществления регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным маршрутам 26

1.3.4 Движение транспортного средства по муниципальному маршруту регулярных перевозок пассажиров и багажа 31

1.3.5 Мероприятия после возвращения транспортного средства в ПАТП 33

1.3.6 Особенности организации процесса регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным маршрутам электробусом 34

1.4 Обзор научных исследований, рассматривающих процедуры нормирования расхода топлива автобусами на городских регулярных маршрутах 35

1.5 Обзор научных исследований в области разработки моделей расхода электроэнергии электробусами 40

1.6 Выводы по разделу 1 46

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОБУСОМ НА ГОРОДСКОМ РЕГУЛЯРНОМ МАРШРУТЕ 50

2.1 Общая методика исследования 50

2

2.2 Определение существенно важных факторов, влияющих на расход электроэнергии электробусом 52

2.3 Разработка математической модели расчета маршрутной нормы расхода электроэнергии электробусом 62

2.3.1 Влияние скорости сообщения на расход электроэнергии электробусом . 63

2.3.2 Влияние температуры окружающего воздуха на расход электроэнергии электробусом 69

2.3.3 Определение вида математической модели влияния скорости сообщения и температуры окружающего воздуха на расход электроэнергии электробусом 75

2.4 Разработка методики нормирования расхода электрической энергии электробусом на городском регулярном маршруте 79

2.5 Выводы по разделу 2 82

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 84

3.1 Методика экспериментальных исследований 84

3.1.1 Сбор исходной информации и определение расхода электрической энергии электробусом 85

3.1.2 Обработка полученных данных 92

3.2 Результаты экспериментальных исследований 96

3.2.1 Формирование выборки для регрессионного и корреляционного анализа 97

3.2.2 Оценка значимости факторов, влияющих на расход электроэнергии электробусом на городском регулярном маршруте, на основе экспериментальных данных 101

3.2.3 Влияние скорости сообщения на расход электроэнергии электробусом на городском регулярном маршруте 104

3.2.4 Влияние температуры окружающего воздуха на расход электроэнергии электробусом на городском регулярном маршруте 107

3

3.2.5 Совместное влияние скорости сообщения и температуры окружающего воздуха на расход электроэнергии электробусом на городском регулярном маршруте 111

3.2.6 Проверка алгоритма нормирования расхода электроэнергии электробусом на городском регулярном маршруте 114

3.3 Вывод по разделу 3 117

4 ПУТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ 118

4.1 Нормирование расхода электроэнергии электробусом на городском

регулярном маршруте 118

4.2 Разработка алгоритма выбора рационального городского регулярного маршрута и организации на нем зарядной инфраструктуры 122

4.3 Выбор рационального городского регулярного маршрута для ввода электробуса в эксплуатацию в г. Тюмени 127

4.4 Вывод по разделу 4 132

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 134

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 136

Приложение А 152

Приложение Б 156

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

НаоснованиипроведенныхисследованийрешенанаучнопрактическаязадачасвязаннаясповышениемэффективностиэксплуатацииэлектробусанагородскомрегулярноммаршрутепутемнормированиярасходаэлектроэнергииприосуществлениизарядатяговыхаккумуляторныхбатарейотзаряднойинфраструктурыконцепцияОС

 ОпределеночтосущественноважнымифакторамиопределяющимимаршрутнуюнормурасходаэлектроэнергииэлектробусовявляютсяскоростьсообщениякотораяпозволяетучитыватьтехникоэксплуатационныепоказателимаршрутаиспособствуетупрощениюмоделирасходаэлектроэнергииитемператураокружающеговоздухаИхзначимостьдоказанаврезультатеэкспертнойоценкиметодомпопарногосравненияфакторов

 ВыявленочтоснижениескоростисообщенияиотклонениетемпературыокружающеговоздухаотоптимальногозначенияприводиткувеличениюрасходаэлектроэнергииэлектробусомотдооткВтчкмдокВтчкмВлияниескоростисообщениянамаршрутнуюнормурасходаэлектроэнергииэлектробусомможетбытьописанолинейнойфункциейатемпературыокружающеговоздухаквадратичной

 РазработанадвухфакторнаяматематическаямодельрасчетамаршрутнойнормырасходаэлектроэнергииэлектробусомучитывающаявлияниескоростисообщенияитемпературыокружающеговоздухаВидмоделиобусловленособенностямивоздействияданныхфакторовнавыходнойпараметриподтвержденврезультатеобработкиэкспериментальныхданныхофункционированииэлектробусовнагородскихрегулярныхмаршрутахвгМосквеимаршрутевгТюмени

 Разработанаметодиканормированиярасходаэлектроэнергииэлектробусомкотораявключаетматематическуюмодельмаршрутнойнормы





расходаэлектроэнергииэлектробусомВрезультатепроверкиприменимостиеёнапрактикеустановленочтоотклонениефактическогозначениямаршрутнойнормырасходаэлектроэнергииэлектробусомотрасчетногопометодикесоставляет±кВтчкмМетодикавходитвсоставалгоритмавыборарациональногогородскогорегулярногомаршрутадляэксплуатацииэлектробусаиорганизациинанемзаряднойинфраструктурыПрименениеалгоритмаприводиткуменьшениюкапитальныхзатратнаорганизациюзаряднойинфраструктурывразаисебестоимостидвиженияэлектробусанарубкматакжепозволяетснизитьвеличинупотерянногодоходавследствиепростоядлязарядатяговойаккумуляторнойбатареинарубзарабочуюсмену

 ДальнейшиеисследованияврассматриваемойобластибудутнаправленынауточнениемоделирасходаэлектроэнергииэлектробусомизучениеособенностейформированиямаршрутнойнормырасходаэлектроэнергииэлектробусамисдинамическойзарядкойивыборомрациональногомаршрутадлявводаихвэксплуатациюЭтопозволитсформироватькомплекснуюметодикураспределениясовременноговидатранспортныхсредствэлектробусовпомаршрутнойсетигородоввРоссийскойФедерации