

О.В. Майборода¹, Г.К. Каленов², М.Б. Мустаяп³¹Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ), Москва, Россия²Казахский аграрно-технический университет им. С.Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан³Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан(E-mail: mov@bk.ru, kalenov_gk@mail.ru, mbm-kz@bk.ru)**Анализ путей уменьшения выбросов CO₂ транспортными средствами**

Аннотация. Рассмотрены возможные способы уменьшения выбросов CO₂. Выбросы CO₂ снижаются пропорционально уменьшению эксплуатационного расхода топлива. Применение электромобилей не обнуляет выбросы CO₂, а только уменьшает их. Электроэнергию в основном генерируют тепловые электростанции. Уменьшая расход электроэнергии электромобилем, мы уменьшим выбросы CO₂ тепловыми электростанциями. В статье рассмотрены следующие способы уменьшения эксплуатационного расхода топлива автомобилями и электроэнергии электромобилями: ограничение избыточной мощности двигателей автомобилей и электромобилей; применение гибридных силовых установок; применение экономичных алгоритмов регулирования скорости автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и электромобилей. Обращено внимание на необходимость разработки экономичного алгоритма регулирования скорости для электромобилей. Показано, что существующие конструкции автоматических трансмиссий и конструкции большинства электромобилей не позволяют использовать движение накатом для уменьшения эксплуатационного расхода топлива (электроэнергии). Показана необходимость сохранения разрешенной скорости легковых автомобилей на автомагистралях на уровне 110 км/ч. Рассмотрено влияние скользкости дорожного покрытия и интенсивности дорожного движения на среднюю и максимальную скорости транспортного потока. Гибкое регулирование максимальной скорости и ограничение возможности обгона увеличат время движения автомобиля с постоянной скоростью, что снизит расход топлива.

Ключевые слова: углеродный след, эксплуатационный расход топлива, экономичные алгоритмы регулирования скорости, управление транспортными потоками.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-111-118**Введение**

Чтобы снизить выбросы CO₂, необходимо уменьшить эксплуатационный расход топлива. Вопреки распространенному мнению, электромобиль не является транспортным средством (ТС) с нулевым выбросом CO₂, поскольку большая часть электроэнергии генерируется на тепловых электростанциях. Уменьшение расхода электроэнергии электромобилем не менее важно еще по одной причине. Чем меньше эксплуатационный расход электроэнергии, тем больше запас хода электромобиля. Поэтому снижение эксплуатационного расхода электроэнергии так же актуально, как и уменьшение эксплуатационного расхода топлива.

Основная часть

Для уменьшения эксплуатационного расхода топлива и эксплуатационного расхода электроэнергии мощность двигателей ТС не должна быть больше величины, обеспечивающей движение ТС в транспортном потоке с разрешенной скоростью, надежное выполнение обгонов и

опережений. Сегодня большинство двигателей легковых автомобилей имеет избыточную мощность, которая увеличивает эксплуатационный расход топлива (электроэнергии) и снижает надежность управления ТС.

Чем выше конструктивная скорость V_k и меньше время разгона до скорости 100 км/ч T_{100} , тем больше максимальная скорость V_{max} , до которой разгоняются водители на участках свободного движения. Большинство водителей разгоняется до скорости, равной $0,63V_k$.

Задавшись величиной V_{max} , можно определить необходимую конструктивную скорость из уравнения:

$$V_k = V_{max} / 0,63 \quad (1)$$

В соответствии с Правилами дорожного движения (ПДД) максимальная скорость легковых автомобилей на автомагистралях России ограничена до 110 км/ч. Из уравнения (1) следует, что конструктивная скорость легковых автомобилей должна быть ограничена до 180 км/ч.

В табл.1 приведены данные, иллюстрирующие влияние максимальной мощности N_{max} на скоростные свойства и расход топлива: конструктивную скорость V_k , время разгона до скорости 100 км/ч T_{100} , расход топлива в смешанном ездовом цикле $q_{ц}$, коэффициент расхода топлива k_q при изменении конструктивной скорости относительно $V_k = 180$ км/ч и $T_{100} = 12$ с, среднее ускорение разгона J и влияние ускорения разгона на надежность управления ТС.

Таблица 1

N_{max} , кВт	48	59	74	103	132	221	404
V_k , км/ч	160	170	180	200	220	250	310
T_{100} , с	16	14	12	10	8	6	4
$q_{ц}$, л /100км	4,5	4,97	5,56	6,36	7,5	9,27	12,5
k_q	0,81	0,89	1,0	1,14	1,35	1,67	2,25
J , м/с ²	1,75	2,0	2,3	2,8	3,5	4,7	7,0
Уровень критичности	Легкая		Средняя		Критическая ситуация		

Влияние максимальной мощности N_{max} на скоростные свойства и расход топлива.

Из приведенных в табл.1 данных видно, как быстро увеличивается мощность двигателя, необходимая для повышения скоростных свойств, до значений, которые никогда не будут реализованы при движении в транспортном потоке. Абсолютная величина расхода топлива в смешанном ездовом цикле не равна эксплуатационному расходу топлива. Но относительный расход топлива k_q в ездовом цикле можно принять за относительный эксплуатационный расход топлива. Из приведенных в табл.1 данных видно, как быстро увеличивается относительный расход топлива k_q по мере увеличения конструктивной скорости относительно 180 км/ч и уменьшения времени разгона до 100 км/ч относительно 12 с. Ограничение скоростных свойств легковых автомобилей позволит решить еще одну важную задачу – повысить надежность управления ТС, потому что разгон со средним ускорением, превышающим $2,3$ м/с², создает конфликтные ситуации в транспортном потоке, критичность которых увеличивается до недопустимых значений при уменьшении времени разгона T_{100} [1].

Наибольшее уменьшение расхода топлива можно получить при использовании гибридной установки, в которой двигатель внутреннего сгорания (ДВС) работает только на зарядку аккумуляторной батареи, питающей электродвигатель. В этом случае ДВС всегда загружен на 100%, а постоянная частота вращения коленчатого вала должна соответствовать минимальному

удельному расходу топлива.

Ограничение максимальной мощности двигателя электромобиля позволит снизить эксплуатационный расход электроэнергии. Поскольку скоростная и нагрузочная характеристики электродвигателя отличаются от таких характеристик ДВС [2], необходимо разработать методику определения оптимальной и максимальной мощности электродвигателя, учитывающую его особенности.

Еще одним способом снижения потребления топлива (электроэнергии) является уменьшение годовых пробегов легковых автомобилей личного пользования. Это достигается путем совершенствования качества функционирования общественного транспорта. Примером является развитие общественного транспорта в городе Москве.

Ограничения максимальной скорости, устанавливаемые ПДД, являются одним из средств уменьшения эксплуатационного расхода топлива. Декларируемые в настоящее время предложения об увеличении разрешенной скорости для легковых автомобилей на автомагистралях со 110 до 130 км/ч увеличат расход топлива на 19...24%.

Ограничение максимальной мощности двигателя легкового автомобиля и ограничение максимальной скорости легковых автомобилей на автомагистралях до 110 км/ч позволит снизить эксплуатационный расход топлива независимо от квалификации водителя.

Движение автомобиля представляет собой повторяющиеся циклы, которые включают следующие фазы: разгон, движение с постоянной скоростью, снижение скорости до безопасной величины, которая в пределе равна нулю. В каждой фазе цикла возможно уменьшить расход топлива путем применения экономичного алгоритма регулирования скорости.

Количество энергии E , затрачиваемой на разгон ТС массой m от скорости V_1 до скорости V_2 , определяется уравнением:

$$E = m * (V_2^2 - V_1^2) / 2 \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что величина E не зависит от ускорения разгона, поэтому для уменьшения расхода топлива при разгоне ДВС должен работать со 100%-ной загрузкой, при которой КПД достигает максимальной величины. Поэтому при разгоне двигатель должен работать по внешней скоростной характеристике. Чтобы при работе двигателя по внешней скоростной характеристике получить минимальный путевой расход топлива, переходить на более высокие передачи необходимо при пониженной частоте вращения коленчатого вала. Оптимальная частота вращения коленчатого вала n_{opt} , при которой надо переходить на более высокие передачи, зависит от номинальной частоты вращения коленчатого вала n_n . Приблизительно величина n_{opt} определяется уравнением [3]:

$$n_{opt} = 0.234n_n + 1150, \text{ мин}^{-1} \quad (3)$$

Точная величина n_{opt} определяется экспериментально.

Наличие избыточной мощности не позволяет реализовать этот режим работы двигателя при разгоне, потому что большое ускорение разгона при движении ТС в транспортном потоке является причиной возникновения конфликтных ситуаций, приводящих к ДТП [1].

При наличии на ТС автоматической коробки передач (АКП) переключение на более высокие передачи должно происходить при оптимальной частоте вращения коленчатого вала и 100%-ной нагрузке двигателя. Большинство существующих АКП не позволяет реализовать экономичный алгоритм регулирования скорости при разгоне, потому что при перемещении педали скорости на 100% ее хода переключение на более высокие передачи происходит при номинальной частоте вращения коленчатого вала. Для реализации экономичного алгоритма регулирования скорости на ТС с АКП водитель должен иметь возможность выбирать между экономичным и скоростным алгоритмами регулирования скорости при перемещении педали скорости на 100% ее хода. Для

этого наиболее удобно применять прожимаемый упор. Пока водитель не прожал его, разгон выполняется по экономичному алгоритму, при прожатии упора – по скоростному алгоритму регулирования скорости.

Нагрузочная и скоростная характеристики электродвигателя отличаются от таких характеристик ДВС. Кроме того, отсутствует многоступенчатая КП, поэтому требуется разработка экономичного алгоритма регулирования скорости электромобилей при разгоне, учитывающая особенности электродвигателя.

После завершения разгона до заданной водителем скорости наступает вторая фаза – движение с постоянной скоростью. При этом мощность, необходимая для преодоления сопротивления движению ТС, значительно уменьшается. Для повышения загрузки двигателя движение с постоянной скоростью должно выполняться на самой высокой передаче, при которой двигатель работает устойчиво.

Для повышения загрузки двигателя при движении с постоянной скоростью много лет назад было предложено отключение цилиндров, однако технические трудности в течение многих лет не позволяли реализовать такой подход. Сегодня, при наличии электронного управления впрыском топлива, эта задача легко решается. Отключение половины цилиндров двигателя легкового автомобиля с конструктивной скоростью 180 км/ч уменьшает расход топлива при движении со скоростью 60; 90 и 110 км/ч на 19; 28 и 32% соответственно.

У грузовых автомобилей отсутствуют резервы мощности, и большое влияние на расход топлива оказывает вес перевозимого груза. Поэтому отключение половины цилиндров возможно только в ограниченной области значений скорости и веса груза.

При разгоне и движении на подъем расходуется дополнительная энергия. Для уменьшения расхода топлива кинетическая энергия, накопленная в результате увеличения скорости, и потенциальная энергия, накопленная при подъеме, должны максимально использоваться для движения автомобиля при планируемых снижениях скорости и движении на пологих спусках.

При наличии механической коробки передач (МКП) это достигается путем перевода рычага КП в нейтральное положение, что позволяет перейти к движению накатом. При испытаниях автопоезда полной массой 34 т каждый процент увеличения времени движения накатом уменьшал расход топлива на 0,5%. Относительное время движения накатом у разных водителей изменялось от 0 до 20%, а полученная в результате экономия топлива от 0 до 10% соответственно.

Большинство АКП не позволяет использовать режим движения накатом. Аналогичная проблема существует и у большинства электромобилей [2].

Необходимо внести изменения в конструкцию АКП и конструкцию электромобилей, которые позволят применять движение накатом.

Применение экономичного алгоритма регулирования скорости на ТС с МКП в среднем уменьшает расход топлива на 15...20% без внесения изменений в конструкцию автомобиля.

Большое влияние на среднюю скорость ТС и расход топлива может оказывать гибкая система управления дорожным движением. В зависимости от изменяющихся условий движения транспортного потока должны оперативно вводиться изменения разрешенной скорости, запрещения и отмены запрещения обгонов.

При увеличении скользкости дорожного покрытия надежность управления ТС снижается, а эксплуатационный расход топлива увеличивается. Величине разрешенной скорости, устанавливаемой ПДД, соответствует высокий коэффициент сцепления. Чтобы надежность управления ТС при уменьшении коэффициента сцепления не снижалась, остановочный путь должен оставаться постоянным. Для этого разрешенная скорость V_2 должна уменьшаться относительно разрешенной скорости V_1 при уменьшении коэффициента сцепления от ϕ_1 до ϕ_2 , в соответствии с уравнением:

$$V_2 = V_1 \cdot (\phi_2 / \phi_1)^{0.5} \quad (4)$$

Средняя скорость ТС зависит от уровня удобства движения в транспортном потоке. Уровень удобства движения (свободный, частично связанный, связанный и насыщенный транспортный поток) определяется интенсивностью дорожного движения. При увеличении интенсивности дорожного движения средняя скорость ТС уменьшается. При этом должна уменьшаться и разрешенная скорость, до которой целесообразно разгоняться водителям ТС на участках свободного движения в свободном и частично связанном транспортных потоках для поддержания оптимальной средней скорости. В связанном и насыщенном транспортных потоках водитель должен выдерживать дистанцию, которая позволит тормозить штатно при аварийном торможении автомобиля-лидера.

Обсуждение

При превышении оптимальной максимальной скорости средняя скорость растет тем медленнее, чем выше интенсивность дорожного движения, а количество обгонов, опережений, коэффициент аварийности и расход топлива увеличиваются все быстрее. Для надежного, эффективного и экологичного движения транспортного потока необходимо регулировать разрешенную скорость и шум ускорения в транспортном потоке в зависимости от скользкости дорожного покрытия и интенсивности дорожного движения.

Результаты

Разработка теоретических основ управления ТС [4,5,6], устройство для контроля управления ТС [7] и эффективное применение навигационных систем позволяют организовать систему управления качеством дорожного движения. Навигационная система прокладывает наиболее выгодный маршрут движения ТС на основании измерения средней скорости движения транспортного потока. Зная среднюю скорость транспортного потока, мы можем определить оптимальную максимальную скорость и допустимый уровень неравномерности дорожного движения ТС и информировать об этом каждого водителя, а устройство для контроля управления ТС фиксирует каждый случай нарушения установленных ограничений скорости и неравномерности дорожного движения, степень возникающей при этом опасности. Кроме того, устройство определит величину коэффициента расхода топлива.

Гибкое регулирование разрешенной скорости, запрещение и отмена запрещения обгонов в зависимости от интенсивности дорожного движения увеличат время движения ТС с постоянной скоростью, что приведет к снижению эксплуатационного расхода топлива (электроэнергии).

С помощью навигационной системы можно организовать «зеленую волну» при движении в городских условиях между светофорами. Для этого в навигационную систему необходимо внести дислокацию светофоров, расстояния между ними и циклы их работы. Передавая эти сведения устройству для контроля управления ТС, можно вычислить скорость, двигаясь с которой, ТС подъедет к следующему светофору в момент включения разрешающего сигнала.

Выводы

Для уменьшения выбросов CO₂ необходимо снизить эксплуатационный расход топлива (электроэнергии). Чтобы снизить эксплуатационный расход топлива, необходимо в комплексе использовать все возможные методы решения этой задачи.

Реализация этих методов невозможна без нормирования эксплуатационного расхода топлива (электроэнергии). Информация о надежности управления и результатах оценки соответствия расхода топлива (электроэнергии) установленной норме должна доводиться до водителей через определенные отрезки пройденного пути, чтобы они могли исправлять

допускаемые ошибки. Эта же информация должна доводиться до органов дорожного надзора, чтобы они могли оперативно контролировать нарушения водителями условий надежного, эффективного и экологичного управления ТС.

Для измерения показателей надежного, эффективного и экологичного управления ТС необходимо применить устройство для контроля управления ТС.

Для реализации перечисленных мероприятий потребуются внесение изменений и дополнений в Технический регламент Таможенного Союза «О безопасности колесных транспортных средств».

Список литературы

1. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В.Ф. Бабков. – М.: Академия, 1993 – 188 с.
2. Иванов С. Какой двигатель лучше для электромобилей: асинхронный, синхронный или на постоянных магнитах: insideevs.ru.
3. Сарымсаков Б. А. Разработка экономичной модели управления автомобилем: дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: 05.22.10. – М.: ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет». 2015. – 146 с.
4. Майборода О.В. Основы управления транспортными средствами. Базовый цикл: учебник водителя транспортных средств всех категорий и подкатегорий / О.В. Майборода, А.Л. Травянко. – М.: Издательский центр «Академия», 2020. – 192 с.
5. Майборода О.В. Основы управления транспортными средствами категорий «В», «ВЕ»: Специальный цикл: учебник водителя транспортных средств категорий «В», «ВЕ» / О.В. Майборода. – М.: Издательский центр «Академия», 2019. – 144 с.
6. Майборода О.В. Основы управления транспортными средствами категорий «С», «СЕ» и подкатегорий «С1», «С1Е». Специальный цикл: учебник водителя транспортных средств категорий «С», «СЕ» и подкатегорий «С1», «С1Е»: учебник для студ. Учреждений сред. Проф. Образования / О. В. Майборода, А.Л. Травянко. – М. Издательский центр «Академия», 2020. – 288 с.
7. Патент № 2664094 Российская Федерация, МПК В60R 99/00(2009.01). Устройство для контроля управления транспортным средством: заявл. 01.09.2011; опубл.: 10.02.2012 / Майборода О. В., Рыбкин С. В., Травянко А.Л. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU113218U1_20120210 (дата обращения: 9.09.2020).

О.В. Майборода¹, Ғ.К. Кәленов², М.Б. Мұстаяп³

¹Мәскеу автомобиль-жол институты (МТУ), Мәскеу, Ресей

²С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

³Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан

Көлік құралдарының CO₂ шығарындыларын азайту жолдарын талдау

Аңдатпа. CO₂ шығарындыларын азайтудың мүмкін жолдары қарастырылған. CO₂ шығарындылары отынның пайдалану шығынын азайтуға пропорционалды түрде азаяды. Электромобильдерді қолдану CO₂ шығарындыларын жоймайды, тек оларды азайтады. Электр энергиясын негізінен жылу электр станциялары өндіреді. Электромобильдің электр қуатын тұтынуды азайту арқылы біз жылу электр станцияларының CO₂ шығарындыларын азайтамыз. Мақалада автомобильдер мен электромобильдердің электр энергиясының отын шығынын азайтудың келесі әдістері қарастырылған: автомобильдер мен электромобильдердің қозғалтқыштарының артық қуатын шектеу; гибридік күштік қондырғыларды қолдану; Іштен жану қозғалтқышы бар автомобильдер мен электромобильдердің жылдамдығын реттеудің үнемді

алгоритмдерін қолдану. Электромобильдер үшін жылдамдықты реттеудің экономикалық алгоритмін жасау қажеттілігіне назар аударылды. Автоматты берілістердің қолданыстағы конструкциялары және көптеген электромобильдердің конструкциялары отынның (электр энергиясының) пайдалану шығынын азайту үшін жылжымалы қозғалысты пайдалануға мүмкіндік бермейтіні көрсетілген. Автомагистральдардағы жеңіл автомобильдердің рұқсат етілген жылдамдығын сағатына 110 км/сағ деңгейінде сақтау қажеттілігі көрсетілген. Максималды жылдамдықты икемді реттеу және басып озу мүмкіндігін шектеу автомобильдің қозғалыс уақытын тұрақты жылдамдықпен арттырады, бұл отын шығынын азайтады.

Кілт сөздер: көміртегі ізі, отынды пайдалану шығыны, жылдамдықты басқарудың үнемді алгоритмдері, көлік ағындарын басқару.

O.V. Mayboroda¹, K. G. Kalenov², M. B. Mustayap³

¹*Moscow Automobile and Road Institute (STU), Moscow, Russia*

²*S.Seifullin Kazakh Agro- Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

³*Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan*

Analysis of ways to reduce CO₂ emissions by vehicles

Abstract. The article considers possible ways to reduce CO₂ emissions. CO₂ emissions are reduced in proportion to the reduction in operational fuel consumption. The use of electric vehicles does not reset CO₂ emissions, but only reduces them. Electricity is mainly generated by thermal power plants. By reducing electric vehicle power consumption, the authors reduce CO₂ emissions from thermal power plants. The article considers the following ways to reduce the operational fuel consumption of cars and electric power by electric vehicles: limiting the excess power of the engines of cars and electric vehicles; the use of hybrid power plants; the use of economical algorithms for regulating the speed of cars with an internal combustion engine and electric vehicles. The article focuses on the need to develop an economical algorithm for speed control for electric vehicles. The article shows that the existing designs of automatic transmissions and the designs of most electric vehicles do not allow the use of rolling motion to reduce the operational consumption of fuel (electricity). The article presents the necessity of maintaining the permitted speed of passenger cars on motorways at the level of 110 km/h. The article considers the influence of the slipperiness of the road surface and the intensity of traffic on the average and maximum speeds of the traffic flow. Flexible regulation of the maximum speed and limitation of overtaking increase the driving time of the car at a constant speed, which reduces fuel consumption.

Keywords: carbon footprint, operational fuel consumption, economical speed control algorithms, traffic flow management.

References

1. Babkov, V.F. Road conditions and traffic safety: textbook for universities /V.F. Babkov. – M.: Academy, 1993 – 188 p.
2. Ivanov S. Which engine is better for electric vehicles: asynchronous, synchronous or permanent magnets: insideevs.ru .
3. Sarymsakov B. A. Development of an economical car driving model: dis. Candidate of Technical Sciences: 05.22.10. – Moscow: Moscow Automobile and Road State Technical University. 2015. – 146 p.
4. Mayboroda O.V. Fundamentals of vehicle management. Basic cycle: textbook of the driver of vehicles of all categories and subcategories /O.V. Mayboroda, A.L. Travnyanko. – M.: Publishing Center "Academy", 2020. – 192 p
5. Mayboroda O.V. Fundamentals of vehicle management of categories "B", "VE": Special cycle: textbook of the driver of vehicles of categories "V", "VE" /O.Mayboroda. – M.: Publishing center

"Academy", 2019. – 144 p.

6. Mayboroda O.V. Fundamentals of vehicle management of categories "C", "CE" and subcategories "C1", "C1E". Special cycle: textbook of the driver of vehicles of categories "C", "CE" and subcategories "C1", "C1E": textbook for students. Institutions of environments. Prof. Education /O.V. Mayboroda, A.L. Travyanko. – M. Publishing Center "Academy", 2020. – 288 p.

7. Patent No. 2664094 Russian Federation, IPC B60R 99/00(2009.01). Device for vehicle control control : application 01.09.2011: publ.: 10.02.2012 / Mayboroda O. V., Rybkin S. V., Travyanko A.L. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU113218U1_20120210 (accessed 9.09.2020).

Сведения об авторах:

Майборода О.В. – кандидат технических наук, Московский автомобильно-дорожный институт (ГТУ), Москва, Россия.

Каленов Г.К. – кандидат технических наук, Казахский аграрно-технический университет имени С.Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан.

Мустаяп М.Б. – ст.препод., Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан.

Mayboroda O.V. – Candidate of Technical Sciences, Moscow Automobile and Road Institute (GTU), Moscow, Russia.

Kalenov G.K. – Candidate of Technical Sciences, S.Seifullin Kazakh Agro- Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Mustayap M.B. – Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan