Т Е Х Н О С Ф Е Р Н А Я Б Е З О П А С Н О С Т Ь

УДК 621.437+620.97

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛЕГКИХ КОММЕРЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ

© 2023 ***Горожанкин С.А., Савенков Н.В.***

В работе исследованы возможности повышения топливной экономичности транспортных средств категории N1 для городского ездового цикла по ГОСТ Р 41.101-99 путем установки дополнительной обратимой электрической машины в составе силовой установки. Это позволяет за счет согласования режимов работы ДВС и электрического двигателя снизить расход топлива при эксплуатации таких автомобилей в городских условиях. В качестве критерия эффективности процесса движения рассмотрены такие показатели как расход топлива в рассмотренном ездовом цикле. Результаты получены на примере модельного ряда автомобилей семейства «Соболь».

Ключевые слова: автомобиль, гибридная силовая установка, ездовой цикл, расход топлива.

Введение. В настоящее время неуклонно расширяется использование в городах автотранспортных средств с электрическими двигателями, а также гибридными силовыми установками. Это позволяет существенно уменьшить выбросы ингредиентов продуктов сгорания тепловых двигателей, загрязняющих атмосферу, а также в значительной мере сократить расход невозобновляемых органических топлив нефтяного происхождения. Применение вышеперечисленных силовых установок характерно преимущественно для легковых автомобилей. В то же время непрерывно увеличивается относительная доля легкого коммерческого транспорта, причем две трети таких автомобилей, используемых в странах СНГ, выпущено предприятиями автомобильной промышленности Российской Федерации. Среди них доминирует ГАЗ - крупный производитель микроавтобусов, легковых и грузовых автомобилей.

В процессе перевозок в городах предпочтение отдается автотранспортным средствам, грузоподъемностью до 1,5 тонны, к которым относятся автомобили «Соболь» и «Газель». Однако их эксплуатация сопровождается значительным количеством вредных выбросов, особенно при работе таких автомобилей в закрытых помещениях (склады, торговые центры, крытые рынки и др.). Перечисленные обстоятельства определили настоятельную потребность в создании конструкций автомобилей с гибридными силовыми установками. Представляется целесообразным и возможным установка на указанных автомобилях дополнительных агрегатов с целью снижения загрязнения окружающей среды.

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование возможности применения гибридной силовой установки в вышеперечисленных моделях автомобилей, а также рациональный выбор режимов ее работы, обеспечивающих минимальный путевой расход топлива.

Базовой моделью автомобилей ГАЗ «Соболь» является фургон ГАЗ-2752 в 3-местном варианте или 7-местном грузо-пассажирском варианте «Комби» [1].

Среди этих автомобилей выпускаются их полноприводные варианты с жёстким передним мостом и карданными шарнирами в приводе передних ведущих колёс. Именно такие автомобили являются наиболее подходящими для установки на них

дополнительного тягового вентильного электродвигателя в качестве привода переднего ведущего моста без установки раздаточной коробки. Этот электродвигатель в процессе разгона и движения обеспечивает передачу дополнительно мощности движителю (ведущим колесам). Энергия к нему передается от специальной аккумуляторной батареи через соответствующий преобразователь (инвертор). На валу привода также может быть установлен электрогенератор, предназначенный для пополнения заряда аккумуляторной батареи в процессе замедления автомобиля.

Более целесообразным представляется установка единой обратимой электромашины переменного тока, которая в процессах замедления и торможения может переключаться в режим генератора с целью использования кинетической энергии автомобиля для зарядки аккумулятора.

Для тягового режима такого автомобиля уравнение баланса мощности [2] приобретает вид:

$$N_{ДВС}(V, j, i) = \begin{pmatrix} V\left((\psi + i)\cdot m_a g + \frac{c_x \rho}{2} F V^2 + m_a j\right) + \\ (J_K n_k + J_{КП} U_{ГП}^2)\frac{j \cdot V}{r_k^2} \end{pmatrix} / \eta_{тр.ДВС} - N_{эл.дв.} \cdot \eta_{тр.эл.} \qquad (1)$$

В приведенном выражении:

$N_{ДВС}$ – текущее значение эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания;
V – скорость движения автомобиля;
j – продольное ускорение автомобиля;
ψ – коэффициент трения качения;
$i = \tan(\alpha)$ - продольный уклон дороги в зависимости от угла уклона α;
m_a – масса автомобиля;
g – ускорение земного тяготения;
c_x – коэффициент лобового сопротивления автомобиля;
ρ – плотность воздуха;
F – площадь миделевого сечения автомобиля;
$n_к$ – частота вращения карданного вала;
$U_{ГП}$– передаточное число главной передачи;
$U_{КП}$ – передаточное число включенной передачи в коробке передач;
$r_к$ – кинематический радиус качения колеса;
J_K – момент инерции вращающихся частей одного колеса;
n_K – общее количество колес на автомобиле;
$J_{КП}$ – момент инерции карданной передачи;
$N_{эл.дв.}$ – эффективная мощность электродвигателя (на его валу);
$\eta_{тр.эл.}$ – КПД трансмиссии от электродвигателя к движителю (передним колесам автомобиля);
$\eta_{тр.ДВС}$ – КПД трансмиссии от ДВС к движителю (задним ведущим колесам).

С учетом того, что моменты инерции вышеперечисленных вращающихся элементов (J_K и $J_{КП}$) сравнительно невелики, причем их накопленная в процессе разгона кинетическая энергия может быть практически полностью возвращена (с учетом КПД трансмиссии) в процессе замедления при переводе электродвигателя в режим электрогенератора, выражение (1) для движения автомобиля по горизонтальному участку дороги возможно упростить и представить как:

$$N_{ДВС}(V, j) = V\left(\psi m_a g + \frac{c_x \rho}{2} F V^2 + m_a j\right) / \eta_{тр.ДВС} - N_{эл.дв.} \cdot \eta_{тр.эл.} \cdot$$

Приведенное выражение принято для расчета режимов разгона и движения с постоянной скоростью для всех участков в городском цикле на дороге. Для исследуемых автомобилей модели ГАЗ «Соболь» с конструкцией кузова «фургон», площадь миделевого сечения составляет 5 м^2, коэффициент аэродинамического сопротивления c_x равен 0.54. Остальные параметры приняты следующими: m = 2600 кг; ψ = 0,016; $\eta_{тр.ДВС}$ = 0,95; $\eta_{тр.эл.}$ = 0,95.

Значение мощности ДВС на всех режимах определялось в соответствии с известными зависимостями для расчета их частичных скоростных характеристик [3] по эффективной мощности и удельному расходу топлива.

Для движения по горизонтальному участку дороги в режиме торможения и работы электромашины в генераторном режиме уравнение баланса мощности за счет использования кинетической энергии автомобиля приобретает вид

$$N_{ген.}(V, j) = V \cdot \left(\psi m_a g + \frac{c_x \rho}{2} F V^2 + m_a j\right) \cdot \left(\eta_{тр.ген.} \cdot \eta_{ген.}\right).$$

В приведенном выражении:

$N_{ген.}$ – электрическая мощность генератора (на его клеммах);

$\eta_{тр.ген.}$ – КПД трансмиссии генератора;

$\eta_{ген.}$ – КПД генератора.

Мощность электродвигателя вычисляется в соответствии с выражением

$$N_{эл.дв.} = 0.10472 \cdot M_{эл.дв.\cdot} \cdot n_{эл.дв.}, \quad (2)$$

где: $M_{эл.дв.}$ – крутящий момент электродвигателя, Н*м;

$n_{эл.дв.}$ – частота вращения электродвигателя, мин$^{-1}$.

Крутящий момент современных синхронных электродвигателей, применяемых в гибридных силовых установках, в зависимости от их частоты вращения вычисляется из зависимости:

$$M_{эл.дв.\cdot} = M_{эл.дв.ном.\cdot} \cdot \overline{M}_{эл.дв.} \quad (3)$$

В последнем выражении $M_{эл.дв.ном.}$ – крутящий момент электродвигателя на номинальном режиме, а $\overline{M}_{эл.дв.}$ – относительный (безразмерный) крутящий момент электродвигателя. Аналитическое выражение для безразмерного крутящего момента электродвигателя имеет вид [5]:

$$\overline{M}_{эл.дв.} = 2.6778 - 2.5824 \cdot \overline{n} + 1.06398 \cdot \overline{n}^2 - 0.15948 \cdot \overline{n}^3 - 0.00014792 \cdot \overline{n}^4. \quad (4)$$

Приведенное выражение использовано для вычисления безразмерного крутящего момента электродвигателя в диапазоне относительных частот вращения $\overline{n}$ от 0.92 до 3.174. При $\overline{n}$ < 0.92 принималось постоянное значение $\overline{M}_{эл.дв.}$ = 1.0782.

Величина последнего в зависимости от относительной частоты $\overline{n}$ вращения графически представлена на рис. 1.

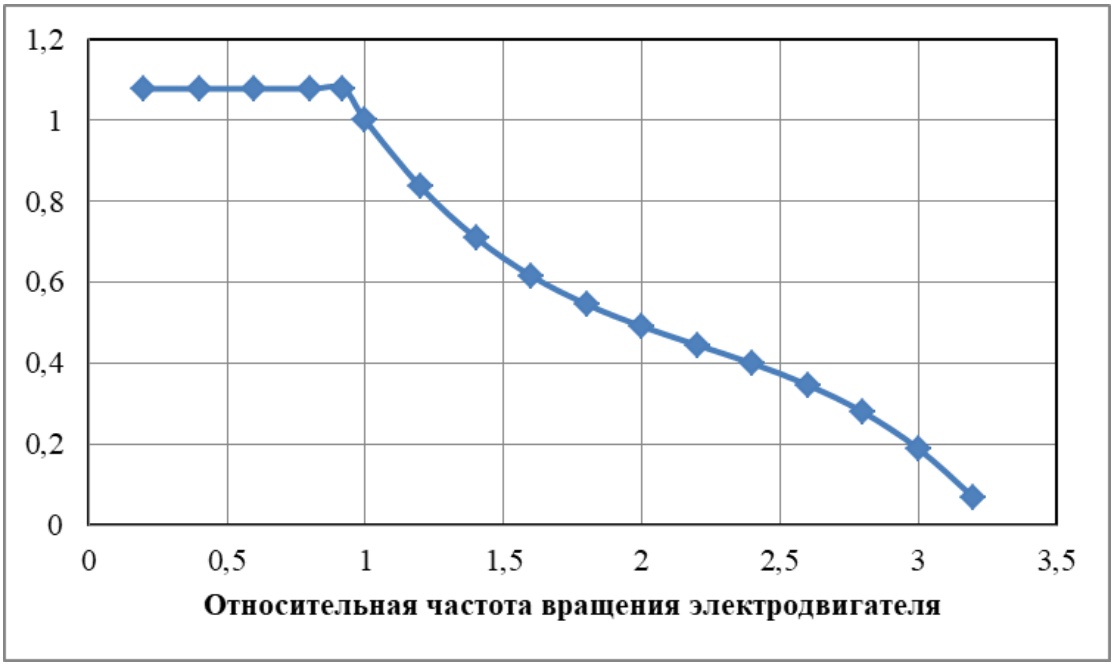

Рис. 1. Изменение безразмерного крутящего момента электродвигателя

Следует отметить, что характеристика крутящего момента электродвигателя благоприятна для повышения его «приспособляемости» в диапазоне относительных частот вращения от 0.92 до 3.172. Зависимости (2)-(4) применены также и для вычислений мощности синхронных электрических машин при их работе в режиме электрогенератора.

Изменение КПД электродвигателя в зависимости от степени его нагрузки k и частоты вращения n в процессе вычислений определялось по эмпирической формуле [5]:

$$\eta_{эл.дв.} = \left[1 + 0.893\left(\frac{1}{\eta_{ном}} - 1\right) \cdot \frac{0.12 \cdot \left(\frac{n \cdot \bar{n}}{n_{ном}}\right)^2 + k^2}{k\left(\frac{n \cdot \bar{n}}{n_{ном}}\right)} \right]^{-1},$$

где $\eta_{ном}$ – КПД электродвигателя на номинальном режиме;

k – коэффициент нагрузки по отношению к номинальному режиму;

$n_{ном}$ – номинальная частота вращения электродвигателя.

Для номинального режима величина КПД электромашины принята равной 0.9. Его зависимость от относительной частоты вращения и коэффициентов нагрузки приведена на рис. 2. Очевидно, что в области неполных нагрузок ($k = 0.4...0.8$) величина КПД превышает 0.9 при всех частотах вращения, превышающих номинальную. К сожалению, при частотах вращения ниже 0.5 от номинальной значение КПД существенно снижается до уровня ~0.7.

Мощность электродвигателя практически сохраняется в диапазоне относительных частот вращения $\bar{n}$ от 1 до ~2.5 при всех значениях его неполных нагрузок k, как это показано на рис. 3. Это позволяет обеспечить, при необходимости, зарядку аккумулятора при движении автомобиля с постоянной скоростью.

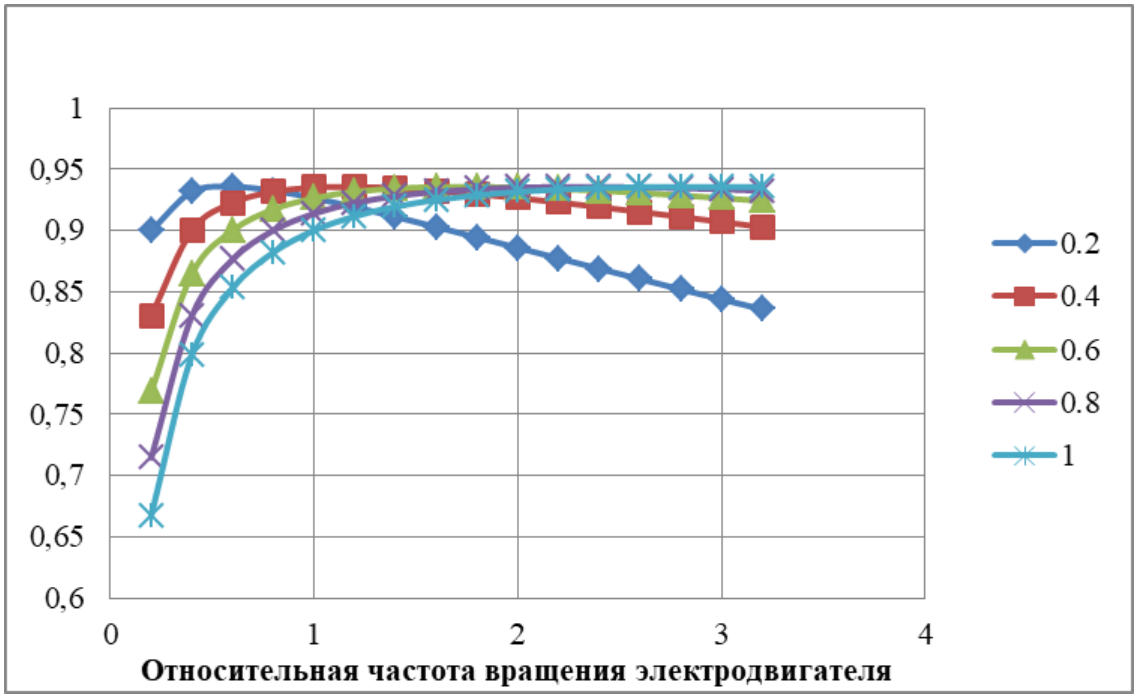

Рис. 2. Изменение КПД электродвигателя в зависимости от его нагрузки и частоты вращения

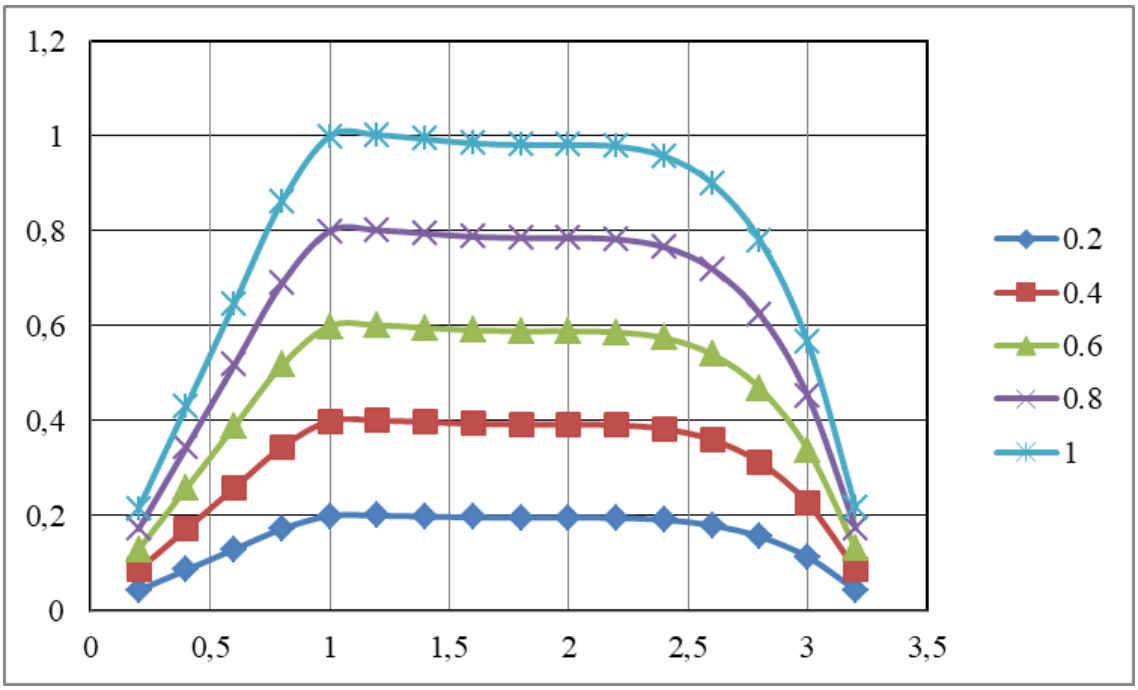

Рис. 3. Мощность, развиваемая электродвигателем как функция частоты вращения и нагрузки

Приведенные результаты для параметров электрических машин были использованы для оценки эффективности работы гибридной силовой установки исследуемого автомобиля.

При этом руководствовались следующими принципиальными требованиями:

1. Использовать мощность, развиваемую электродвигателем на режимах разгона и движения с постоянной скоростью, что позволяет уменьшить путевой расход топлива.

2. Применить режим рекуперативного торможения путем перевода электромашины в генераторный режим с целью подзарядки аккумулятора.

3. Обеспечить в течение прохождения городского ездового цикла возвращение в аккумулятор той же энергии, которая была от него получена и использована при разгонах и движении с постоянной скоростью.

Энергия, отбираемая от аккумулятора в процессе работы электродвигателя на каждом из участков цикла в тяговом режиме, определяется зависимостью:

$$E_{акк.дв.} = \int_0^T \frac{N_{эл.дв.}}{\eta_{эл.дв.} \cdot \eta_{пр.эл.дв.}} dt ,$$

где $\eta_{пр.эл.дв.}$. – КПД преобразователя постоянного тока в переменный (инвертора) электродвигателя.

Энергия, передаваемая в аккумулятор в процессе его зарядки при работе электромашины в режиме генератора, определяется зависимостью:

$$E_{акк.ген.} = \int_0^T N_{ген.} \cdot \eta_{пр.ген.} \cdot \eta_{акк.} \cdot dt ,$$

где $\eta_{пр.ген.}$ – КПД преобразователя переменного тока в постоянный (выпрямителя) для генератора; $\eta_{акк.}$ – КПД процесса заряда-разряда аккумулятора.

Следует учитывать, что в электрических аккумуляторах накапливается (аккумулируется) только часть электрической энергии, переданная в них. В настоящее время наиболее совершенными являются литий-ионные аккумуляторы обладающие значениями КПД от 0.9 до 0.97, хотя верхняя граница многими подвергается сомнению. Это подтверждается необходимостью их охлаждения в процессе работы, поскольку многие из них оснащаются специальными жидкостными системами охлаждения. Разноречивы также данные о КПД электрогенераторов (от 0.85 до 0.9) и электродвигателей. Потери в кабельных линиях значительны вследствие больших величин рабочих токов. Этим объясняется повышение напряжения в электрических цепях до 650 В.

В проведенных расчетах значения $\eta_{пр.эл.дв.}$ и $\eta_{пр.ген.}$ были приняты равными 0.97, а КПД процесса заряда-разряда аккумулятора $\eta_{акк.}$ = 0.8.

В исследованиях принималось, что в результате прохождения автомобилем всех участков простого городского цикла должно выполняться условие:

$$\left| \sum_1^n E_{акк.ген.} \right| = \left| \sum_1^m E_{акк.дв.} \right| .$$

В данном случае n – число участков, на которых используется электродвигатель, либо обратимая электромашина в режиме двигателя, m – число участков, на которых используется электрогенератор для зарядки аккумуляторов.

Схема движения автомобиля в простом городском цикле [6] приведена на рис.4. Цикл включает 23 участка, включая остановки автомобиля, сопровождающиеся работой двигателя на холостом ходу. Активные участки 2, 3, 4, 7, 9, 10. 11, 14. 16, 18, 19, 20, 21 и 22 обозначены на схеме цифрами. На участках 2, 3, 7, 9, 10, 14. 16, 18, 19 и 21 для движения используется электродвигатель, либо обратимая электромашина в режиме двигателя, а на участках 4, 11, 20 и 22 включается генератор, либо обратимая машина в режиме генератора.

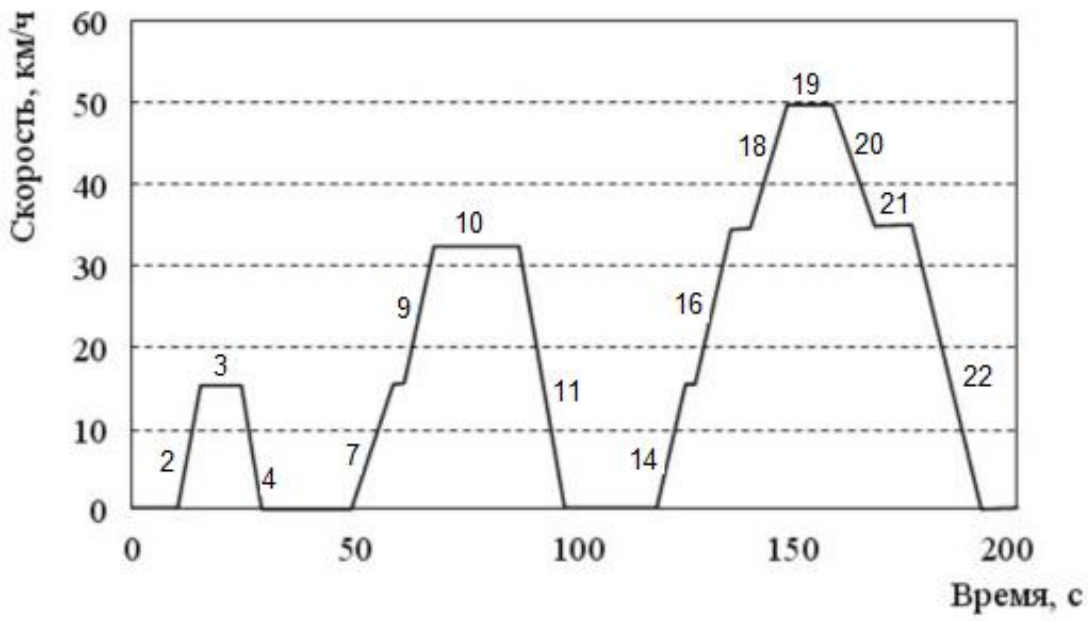

Рис. 4. Схема движения автомобиля в простом городском цикле

Для проведения вычислений параметров движения автомобиля и параметров его силовой установки создана специальная программа вычислений с применением ПЭВМ. Она разработана на языке программирования TurboC^{++} на базе комплекса программ, предназначенных для расчетов процессов движения автомобилей на неустановившихся режимах, созданных на кафедре АТСЭ ФГБОУ ВО «ДОННАСА». Работа программы осуществляется с применением программного обеспечения BorlandC^{++}. Исходные параметры для расчетов приняты в соответствии с вышеприведенными характеристиками автомобиля и его двигателя внутреннего сгорания.

Алгоритм программы позволяет в соответствии с требованиями ГОСТ Р 41.101-99 (Правила ЕЭК ООН N 101) [6] для городского цикла на дороге для всех участков цикла, как показано на рисунке 1, вычислять любой момент времени в соответствии с текущими значениями скорости и ускорения автомобиля, параметры работы его двигателя в соответствии с номером включенной передачи.

В процессе имитации движения автомобиля для каждого элементарного участка движения в соответствии с зависимостью (1) вычисляется потребная тяговая мощность для автомобиля в зависимости от его массы, текущих значений мощности, развиваемой двигателями с учетом передаточных чисел включенной передачи и остальных элементов трансмиссии. Это дает возможность непрерывно вычислять текущие значения коэффициента использования мощности двигателя с целью недопущения перегрузок двигателя по частоте вращения и крутящему моменту. Параллельно проводится вычисление текущих значений как удельного, так и суммарного расходов топлива. В результате определяется суммарный расход топлива на каждом элементарном участке. Помимо этого вычисляется расход топлива для всего цикла в целом и, соответственно, средний путевой расход. В ходе вычислений временной шаг принимался в пределах 0,01…0,05 с, что позволило проводить вычисления с точностью до 4-х значащих цифр. Таким образом, программа позволяет имитировать динамику движения автомобиля с гибридной силовой установкой в городских условиях.

Полная кинетическая энергия движущегося автомобиля для четырех рассматриваемых участков торможения составляет 376 кДж. К сожалению, далеко не вся эта энергия может быть использована для зарядки аккумулятора. Диссипация этой энергии вследствие трения качения, аэродинамического сопротивления автомобиля, а также потери в генераторе и преобразователях позволяют использовать только 169.3 кДж этой энергии, т.е. около 45%. На практике эта величина, естественно уменьшится, т.к. торможение с применением штатной системы не позволит полностью использовать эту энергию.

Исследования и расчеты показали, что расход топлива автомобиля «Соболь» в городском цикле составляет 144.5 г при его эксплуатации с ДВС мощностью 79 кВт (107 л.с.). Установка на валу привода переднего моста обратимой электромашины мощностью ~14 кВт дает возможность снизить расход топлива до 134.5 г, т.е. на 6.9%. При этом предполагается, что в процессах замедления ДВС переводится в режим холостого хода. Расчетная мощность в режиме электродвигателя составила 2.04 кВт, а в режиме генератора ~14 кВт. Значительное превышение мощности в генераторном режиме обусловлено резким уменьшением КПД при значениях $\overline{n}$ < 0.2. В то же время установка обратимой машины позволяет, в случае необходимости (например, при обгонах) увеличить тяговую мощность силовой установки на 14 кВт (19 л.с.), что весьма существенно.

Следует учесть, что в ходе цикла при остановках автомобиля общей продолжительностью 60 с двигатель внутреннего сгорания работает в режиме холостого хода. При этом фактический расход топлива на режимах движения составляет 120.5 г. при движении с использованием только ДВС. Соответственно для гибридной силовой установки этот расход снижается до 110.5 г, что соответствует экономии топлива на 8.3%.

Необходимо отметить, что движение в городском цикле предусматривает торможение автомобиля со скорости ~10 км/ч с применением штатных тормозов. Если рассматривать этот вариант, то энергия, которая может быть передана в аккумулятор, составляет 140.4 кДж, т.е. на 17% меньше. В этом случае используемая мощность электродвигателя должна составлять 1.69 кВт, но и мощность генератора может быть уменьшена до 8.6 кВт.

Таким образом, для достижения энергетического баланса в одном ездовом цикле необходимо обеспечить отдачу и последующее накопление электроэнергии ~170 кДж (0.047 кВт*ч). Для обеспечения пятикратного прохождения городского цикла без подзарядки аккумулятора и недопустимости его полной разрядки необходимая емкость должна составлять не менее 0.5. С учетом удельной мощности современных аккумуляторов 90-200 Вт*ч/кг [7] масса батареи таких аккумуляторов должна составить не менее 5 кг.

В то же время желательно применить аккумулятор существенно большей емкости, поскольку при работе нежелательны частые режимы работы с большим током отдачи, что снижает его долговечность. Увеличение емкости аккумулятора до ~5 кВт*ч (масса около 50 кг) позволит обеспечить непродолжительное движение автомобиля с невысокой скоростью на закрытых стоянках, в помещениях и цехах. Автомобиль в этом случае становится переднеприводным, а мощности электродвигателя 14 кВт вполне достаточно для перемещений и маневрирования.

Определенным недостатком остается возможность подзарядки аккумулятора лишь при движении автомобиля, либо от стационарной электросети на стоянке.

В настоящее время авторами исследуются вопросы использования более мощной обратимой синхронной электромашины мощностью до ~40 кВт для обеспечения разгонов с использованием только ее в режиме электродвигателя. Это позволит при движении на участках с постоянной скоростью обеспечивать работу ДВС с меньшим удельным расходом топлива за счет повышения его коэффициента использования мощности при параллельной интенсивной зарядке аккумулятора. При этом, становится возможным оптимизация режимов работы силовой установки такого автомобиля не только в городском, но и в загородном циклах.

Выводы. 1. Полученные результаты дают основание рекомендовать рациональную компоновку силовой установки для малотоннажного грузового автомобиля ГАЗ «Соболь». Это потребует реконструкции ведущего переднего моста с установкой в его составе обратимой электрической машины переменного тока, которая обеспечит дополнительную тяговую мощность при разгоне и движении автомобиля, а также зарядку аккумуляторов в процессах замедления и торможения. Установка блока аккумуляторных батарей возможна под кузовом автомобиля.

2. Установка дополнительных агрегатов, особенно блока аккумуляторных батарей приведет, несмотря на снятие раздаточной коробки, к незначительному увеличению массы автомобиля, что практически не изменит его грузоподъемность. Для таких автомобилей определяющим параметром, зачастую, является не грузоподъемность, а объемная вместимость.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Грузовик ГАЗ Соболь технические характеристики, комплектации и цены [сайт]. – URL: https://www.drom.ru/catalog/lcv/gaz/sobol/ (дата обращения 01.08.2023)
2. Горожанкин, С. А. Расчет тяговоскоростных и топливноэкономических свойств автомобилей в современных эксплуатационных условиях : учеб ное пособие по дисциплине «Теория эксплуатационных свойств» для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспорт нотехнологических машин и комплексов» / С. А. Горожанкин, А. Д. Бумага, Н. В. Савенков. – Донецк : РА ДОН, 2019. – 244 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
4. Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей : учеб. пособие для вузов. / А. И. Колчин, В. П. Демидов / 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 496 с.
5. Фираго, Б. И. Энергетические показатели синхронного частотно-регулируемого электропривода / Б. И. Фираго, С. В. Александровский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. Объединений СНГ. – 2018. – Т.61, №4. – С. 287-298.
6. ГОСТ Р 41.101-99 (Правила ЕЭК ООН №101). Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения объема выбросов диоксида углерода и расхода топлива, а также транспортных средств категории M1 и и N1, оборудованных электроприводом, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода : государственный стандарт : издание официальное: принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 26 мая 1999 г. № 184 : введен впервые : дата вступления в силу 01.01.1997. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 37 с.
7. Таганова, А. А. Герметические химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации : справочник / А. А. Таганова, Ю. И. Бубнов, С. Б. Орлов. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2005. – 264 с.

Поступила в редакцию 14.08.2023, рекомендована к печати 31.08.2023 г.

STUDY OF THE ELECTRICPOWER PLANT FOR LIGHT COMMERCIAL VEHICLES

Gorozhankin S.A., Savenkov N.V.

The paper investigates the possibilities of improving the fuel efficiency of vehicles of category N1 for the urban driving cycle in accordance with GOST R 41.101-99 by installing an additional reversible electric machine as part of the power plant. This allows, by harmonizing the operating modes of the internal combustion engine and the electric motor, to reduce fuel consumption when operating such vehicles in urban environments. As a criterion for the efficiency of the driving process, indicators such as fuel consumption in the considered driving cycle are considered. The results are obtained on the example of the model range of cars of the Sobol family.

Keywords: car, hybrid power plant, driving cycle, fuel consumption.

Горожанкин Сергей Андреевич
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «ДОННАСА»,
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: s.a.gorozhankin@donnasa.ru

Savenkov Nikita Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automotive Transport, Service and Operation of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
Russian Federation, DPR, Donetsk.

Савенков Никита Владимирович
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ФГБОУ ВО «ДОННАСА»,
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.
E-mail: n.v.savenkov@donnasa.ru

Gorozhankin Sergey Andreevich
Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Automotive Transport, Service and Operation of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
Russian Federation, DPR, Donetsk.