

УДК 621.331

DOI: 10.24160/1993-6982-2018-3-73-79

Метод оценки требований к гибридным электрическим трансмиссиям на основе анализа траекторий движения транспортного средства с использованием данных GPS и акселерометра

Чан Суан Чунг, Е.С. Кулик, А.С. Анучин

Представлен метод оценки требований к гибридным электрическим трансмиссиям. Оценка эффективности транспортного средства основана на применении стандартных циклов движения, разработанных для определенных условий. Однако, циклы часто критикуются за вид кривой скорости, так как предлагаемые ими ускорения сильно отличаются от реального поведения транспортного средства, управляемого водителем. Таким образом, стандартные циклы движения не позволяют правильно оптимизировать трансмиссию, поскольку не соответствуют реальной траектории движения транспортного средства и, как результат, получается несоответствие реального расхода топлива/заряда заявленному. Для эффективной оптимизации трансмиссии, на этапе проектирования, следует учитывать точную циклограмму движения транспортного средства, что требует получения точных данных по траектории движения.

Предложенный метод, основанный на анализе данных GPS-трека транспортного средства и данных акселерометра, предоставляет данные по тангенциальному и нормальному ускорениям, углу наклона профиля дороги, значению мгновенной мощности на всем протяжении маршрута. Использован алгоритм для устранения ошибки накопления, возникающей при интегрировании данных акселерометра, с помощью интерполированной траектории GPS. Для оценки необходимого тягового усилия и мощности на валу двигателя, разработана механическая модель транспортного средства. Данные, полученные с использованием описанного метода, позволяют моделировать и оптимизировать параметры гибридных и электрических трансмиссий.

Ключевые слова: оптимизация трансмиссии, механическая модель, гибридный электрический транспорт, GPS-трек.

Для цитирования: Чан Суан Чунг, Кулик Е.С., Анучин А.С. Метод оценки требований к гибридным электрическим трансмиссиям на основе анализа траекторий движения транспортного средства с использованием данных GPS и акселерометра // Вестник МЭИ. 2018. № 3. С. 73—79. DOI: 10.24160/1993-6982-2018-3-73-79.

A Method for Estimating the Requirements for Hybrid Electric Powertrains through Analyzing the Vehicle Trajectory Based on GPS and Accelerometer Readings

Xuan Trung Tran, E.S. Kulik, A.S. Anuchin

A method for estimating the requirements for hybrid electric powertrains is presented. Typically, the efficiency of a vehicle is estimated by applying standard driving cycles developed for certain conditions. However, these cycles are often criticized for the suggested speed profile, because the accelerations specified in them differ considerably from the real behavior of a vehicle controlled by a driver. Thus, the use of standard driving cycles does not allow a powertrain to be optimized in a correct way because they do not correspond to the real vehicle motion trajectory. As a result, there is a discrepancy between the real fuel consumption / charge and the declared one. For the powertrain to be effectively optimized, the exact vehicle motion cyclogram should be taken into account at the design stage, which involves the need of obtaining accurate data on the motion trajectory.

The proposed method, which is based on analyzing the vehicle's GPS tracking data and the accelerometer data, yields data on the tangential and normal acceleration, on the road profile slope angle, and on the vehicle instantaneous power over its entire route. The method uses an algorithm that eliminates the accumulation error that occurs in integrating the accelerometer data by using the interpolated GPS trajectory. A vehicle mechanical model intended for estimating the necessary traction force and power on the motor shaft has been developed. The data obtained using the described method open the possibility to model and optimize the parameters of hybrid and purely electric powertrains.

Key words: powertrain optimization, mechanical model, hybrid electric vehicles, GPS tracking.

For citation: Xuan Trung Tran, Kulik E.S., Anuchin A.S. A Method for Estimating the Requirements for Hybrid Electric Powertrains through Analyzing the Vehicle Trajectory Based on GPS and Accelerometer Readings. MPEI Vestnik. 2018;3:73—79. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2018-3-73-79.

Введение

Ужесточение экологических норм для автотранспорта, заявления о проблеме истощения мировых запасов нефти, увеличение цен на топливо — все это приводит автомобильную индустрию к постепенному отказу от классического транспорта с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Современным вариантом замещения является электрический и гибридный электрический транспорт. Статистика показывает, что подобный транспорт занимает все больший процент в автомобильном парке многих стран мира [1]. Его главное преимущество заключается в более низком потреблении топлива и, следовательно, более низком уровне выбросов загрязняющих веществ при сохранении динамики как у аналогичного транспорта с ДВС.

Электрические автомобили при своей экологичности и бесшумности имеют явный недостаток перед гибридным транспортом, их подзарядка длится по нескольку часов. Это недопустимо для городского автобуса, поскольку в среднем единица автопарка делает 10 рейсов за рабочий день, а при таком большом времени простоя число сократится в несколько раз. Гибридная трансмиссия, использующая тепловую и электрическую тягу, обладает удобным энергоносителем — жидким топливом и высокими динамическими показателями за счет электродвигателя (максимальный момент доступен уже при 0 об/мин).

Гибридная трансмиссия представляет собой сложную систему электронных и механических компонентов, каждый из которых обладает своим рядом параметров. От емкости накопителя (суперконденсатор и/или аккумуляторная батарея), номинальной мощности первичного источника энергии (ДВС + генератор), максимальной и средней мощности двигателя зависит динамика и топливная экономичность транспортного средства. Оптимальная динамика и экономичность автомобиля при эксплуатации могут быть достигнуты за счет оптимизации конструкции и правильного выбора элементов трансмиссии [2].

Разработка и тестирование трансмиссии с использованием реальных компонентов являются долгими и дорогостоящими процессами. Современный способ тестирования и оптимизации — применение компьютерного моделирования. Имитируются основные узлы, с последующим оптимальным подбором компонентов трансмиссии [3]. Как правило, оценка эффективности транспортного средства основана на применении стандартного цикла движения, разработанного для определенных условий. Новый европейский цикл движения (New European Driving Cycle — NEDC), представляющий собой циклограмму скорости от времени для некоего городского автомобиля, широко используется в Евросоюзе для испытаний и сертификации транспортных средств с точки зрения уровня выбросов и расхода топлива [4]. Современная методология оптимизации

трансмиссий предполагает использование одного цикла движения. Однако, исследования показали, что для различных циклов движения с разными стилями вождения и условиями трафика имеется свой оптимальный набор параметров. Одним из предложенных решений этой задачи является метод, который предлагает использовать шаблоны движения, являющиеся комбинацией стандартных циклов движения с разной динамикой [5]. Оптимизация данными методами является некорректной, так как ни один стандартный цикл движения не соответствует реальной траектории движения, в результате чего получается несоответствие реального расхода топлива заявленному. Эффективную оптимизацию трансмиссии можно провести с учетом точных циклограмм движения транспортного средства, что требует получения данных по траектории движения [6].

Данные об ускорении автомобиля могут быть получены из встроенного в него акселерометра. Однако вибрация, тряска на дороге будут вносить ошибку в измерения. Траектории, полученные путем интегрирования, непригодны для анализа [7]. Другой способ получения необходимой информации о маршруте — использование GPS-трека транспортного средства, а затем дифференцирование его по времени. Проблема этого метода заключается в низкой точности оценки положения и недостаточной частоте дискретизации. Для улучшения получаемых кинематических параметров, данные GPS-трека следует обрабатывать с использованием специального алгоритма, пересчитывающего положение в ускорения и угол наклона транспортного средства от времени на протяжении всего маршрута.

Представлен метод оценки требований к гибридным электрическим трансмиссиям на основе анализа траекторий движения транспортного средства. Анализ проводится с использованием алгоритма обработки GPS-трека транспорта, позволяющего получить тангенциальное и нормальное ускорения, угол наклона профиля дороги на всем протяжении маршрута. Полученные данные корректируются данными от акселерометра. Приведен пример, показывающий нагрузочную диаграмму транспортного средства, полученную при помощи предложенного метода.

Алгоритм обработки GPS-трека

Навигационные GPS-системы предоставляют данные, содержащие местоположения транспортных средств в полярной системе координат в функции времени [3]. Точность самых популярных GPS-приемников не превышает ± 1 м, а погрешность измерения высоты намного выше из-за принципа работы GPS (приблизительно ± 10 м). Проблему погрешности высоты можно решить, используя цифровые карты местности, содержащие высоту над уровнем моря для каждой точки ландшафта на карте.

Напрямую использовать полученные с GPS-приемника данные нельзя. Они считываются примерно

один раз в секунду и соединение последовательных точек прямыми линиями даст бесконечное ускорение на стыках. Применение сплайн-интерполяции не решает проблему обработки ошибок в координатах GPS-трека, связанных с простым шумом приемника, и приводит к неверному поведению во время остановок. Для решения этой проблемы разработан специальный алгоритм.

Пусть транспортное средство между опорными точками движется с постоянным ускорением. Информация о поведении транспорта между опорными точками отсутствует. Опорные точки не являются точным положением транспортного средства, так как положение содержит ошибку из-за погрешностей системы GPS. Траектория транспорта описывается следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} &= \int \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} dt, \\ \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} &= \int \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} dt, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где a_x, a_y, a_z — ускорения в каждом направлении; v_x, v_y, v_z — скорости; x, y, z — координаты транспорта.

Для любого набора опорных точек во времени ускорение, требуемое, чтобы пройти через следующую опорную точку, можно оценить как

$$\begin{bmatrix} a_x[n] \\ a_y[n] \\ a_z[n] \end{bmatrix} = f \frac{2}{(t[n+1] - t[n])^2} \times \left(\begin{bmatrix} x[n+1] \\ y[n+1] \\ z[n+1] \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x[n] \\ y[n] \\ z[n] \end{bmatrix} - (t[n+1] - t[n]) \begin{bmatrix} v_x[n] \\ v_y[n] \\ v_z[n] \end{bmatrix} \right),$$

где $a_i[n]$ — ускорение в определенном направлении, которое прикладывается к транспортному средству при движении от точки n к $n + 1$; $v_i[n]$ — начальная скорость в точке n в начале движения между точками n и $n + 1$; $t[n]$ — время для точки n ; f — коэффициент аппроксимации, варьирующийся от 0 до 1.

Коэффициент аппроксимации определяет, насколько точно новая траектория, оцененная по (1), придерживается опорных точек. Если коэффициент равен 1, то траектория пройдет строго через опорные точки, если он меньше 1, траектория будет лежать вблизи опорных точек. Пример траекторий, полученных в опыте при движении автомобиля, представлен на рис. 1.

Траектория с единичным коэффициентом содержит колебания. При значении 0,6 траектория достаточно гладкая, но трек расходится с опорными точками на несколько метров, что больше, чем погрешность приемника GPS. Оптимальный результат получен с коэффициентом аппроксимации равным 0,8, поскольку в траектории отсутствуют колебания. Когда автомобиль останавливается и данные GPS остаются неизменны-

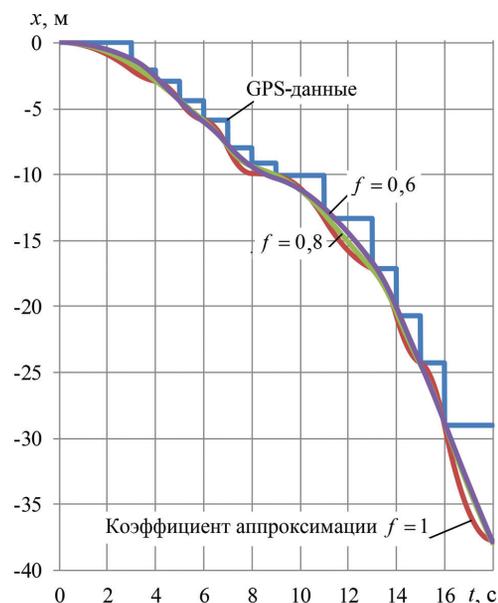


Рис. 1. Аппроксимация GPS-трека

ми, модель так же останавливается с погрешностью не более двух метров относительно позиции GPS.

Коррекция полученных данных с помощью акселерометра, гироскопа и компаса

Недостатками системы GPS является низкая частота дискретизации и зависимость точности данных от окружающей среды. Погода, плотность городской застройки, наличие лесополосы — все это сильно влияет на точность полученных данных. Ускорения также возможно получить от акселерометра, который не зависит от наличия внешних сигналов.

Назовем траекторию, полученную от обработки GPS интерполированной, а траекторию, полученную путем интегрирования ускорений от акселерометра, — траекторией акселерометра.

При обработке информации от акселерометра следует учитывать, что полученные данные будут иметь погрешность. При интегрировании, в данных скорости и траектории будут накапливаться ошибки. Однако, при наличии интерполированной траектории, которая содержит мгновенную ошибку положения, но не содержит ошибки накопления, данные по ускорению возможно скорректировать. Следя за отклонением траектории акселерометра от интерполированной, ускорения могут быть скорректированы таким образом, чтобы ошибка интегрирования была нивелирована.

Скорректированные ускорения оцениваются выражением

$$\begin{bmatrix} a_{x\text{кор}}[k+1] \\ a_{y\text{кор}}[k+1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{x\text{акс}}[k+1] + K_{\text{кор}} [x_{\text{GPS}}[k+1] - x_{\text{кор}}[k]] \\ a_{y\text{акс}}[k+1] + K_{\text{кор}} [y_{\text{GPS}}[k+1] - y_{\text{кор}}[k]] \end{bmatrix},$$

где $a_{\text{хкор}}[k+1]$, $a_{\text{укор}}[k+1]$, $a_{\text{хакс}}[k+1]$, $a_{\text{уакс}}[k+1]$ — ускорения коррекционного трека и акселерометра в момент времени $[k+1]$; $K_{\text{кор}}$ — коэффициент коррекции; $x_{\text{кор}}[k]$, $y_{\text{кор}}[k]$ — координаты коррекционного трека в момент времени $[k]$; $x_{\text{GPS}}[k+1]$, $y_{\text{GPS}}[k+1]$ — координаты интерполированного трека в момент времени $[k+1]$.

От величины коэффициента коррекции будет зависеть, насколько скорректированная траектория будет приближена к траектории GPS, чем больше $K_{\text{кор}}$, тем точнее скорректированная траектория проходит по интерполированной.

В качестве акселерометра использована микросхема MPU-9250, совмещающая в себе трехосевой акселерометр и трехосевой гироскоп. Она позволяет получить мгновенные проекции векторов ускорения на осях Ox , Oy и Oz , а также углы поворота вокруг этих осей (рис. 2). Для получения данных об ускорении в полярной системе координат требуется измерять ускорение по оси Oy и углы вращения вокруг осей Ox и Oz .

Ориентация датчика оценивается путем интегрирования угловой скорости. Интеграция погрешностей измерения приводит к их накоплению в вычислении ориентации. Это дает дрейф нуля гироскопа, поэтому гироскоп не может обеспечить абсолютное измерение

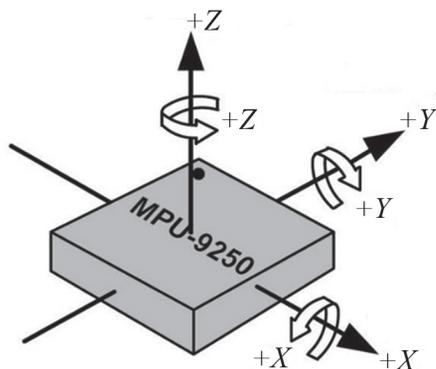


Рис. 2. Ориентация осей

ориентации. Для решения данной проблемы применяется фильтр Маджвика [8 — 10].

Вектор скорости в полярной системе координат может быть оценен как

$$\begin{bmatrix} V \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\ \text{atan 2}(v_x, v_y) \end{bmatrix},$$

где V — абсолютное значение скорости; θ — угол вектора скорости.

Тангенциальное и нормальное ускорения можно определить путем координатного преобразования, которое поворачивает их в ортогональной неподвижной системе координат на угол вектора скорости транспортного средства:

$$\begin{bmatrix} a_t \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x \cos \theta + a_y \sin \theta \\ -a_x \sin \theta + a_y \cos \theta \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Механическая модель транспортного средства

Параметрами, отвечающими за динамику и которые можно получить из модели трансмиссии, являются мощность и момент на валу электродвигателя, тогда как динамическими показателями автотранспорта являются линейная и угловая скорости, нормальное и тангенциальное ускорения. Необходима механическая модель транспортного средства для приведения динамических параметров автомобиля к параметрам трансмиссии.

Для ориентации векторов внешних воздействий на автомобиль (рис. 3) введем подвижную систему координат $\gamma C\beta$, начало которой связано с центром масс автомобиля.

Проекция векторной суммы сил, приложенных к автомобилю,

$$ma = F_T + P + F_K + F_{\text{аэр}} + R_1 + R_2$$

на оси Ox , Oy описывается выражениями:

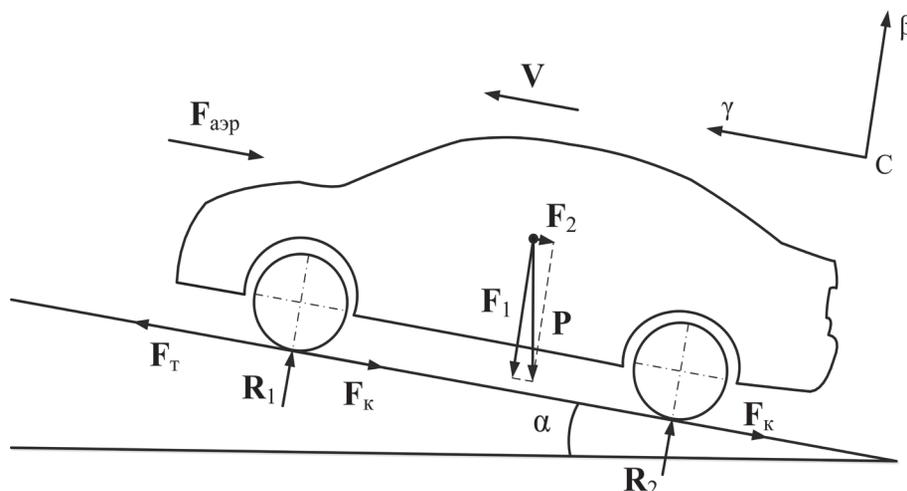


Рис. 3. Механическая модель автомобиля

$$\frac{ma_t}{\cos \alpha} = F_T - F_2 - F_K - F_{\text{аэр}}; \quad (3)$$

$$R_1 + R_2 = F_1,$$

где F_T — тяговое усилие; R_1, R_2 — реакции опоры действующие на колеса; F_K — сила трения качения колеса; P — сила тяжести автомобиля; $F_{\text{аэр}}$ — сила сопротивления воздуха; α — уклон дороги.

Из (2) получим тяговое усилие, которое необходимо развить колесам

$$F_T = m \frac{a_t}{\cos \alpha} + F_{\text{аэр}} + F_K + mg \sin \alpha.$$

Для нахождения мощности на валу, требуемое усилие (3) следует умножить на скорость

$$P = F_{\text{тяги}} V.$$

Суммарный момент на валу тягового двигателя без учета КПД редуктора оценивается через радиус колес и передаточное отношение редуктора i :

$$M = (P/iV)R_{\text{колеса}}.$$

Для корректного анализа следует учитывать, что транспортное средство практически все время движется по криволинейной траектории. В таком случае тангенциальное ускорение определяет динамику транспортного средства, а нормальное ускорение необходимо для коррекции модели. Под действием центробежной силы возникает явление бокового увода, которое обусловлено отклонением вектора скорости колеса транспортного средства от плоскости его вращения.

При качении с уводом кроме радиальной деформации шина деформируется также в боковом направле-

нии, что приводит к увеличению потерь на качение. Значение коэффициента силы трения качения при увode можно определяется по [11]:

$$f_{\text{ув}} = f_K + \frac{k_{\text{ув}} \sigma_{\text{ув}}}{F_1},$$

где $k_{\text{ув}}$ — коэффициент сопротивления уводу колеса.

Угол увода можно оценить с использованием специальных алгоритмов и компьютерного моделирования [12]. Поскольку на транспортное средство всегда действует какая-либо поперечная сила, которая может быть составляющей силой тяжести при поперечном уклоне дороги, силой ветра, случайными воздействиями от неровностей дороги, примем постоянным угол увода равный 3° .

С учетом криволинейного движения, выражение для силы трения качения будет иметь вид:

$$F_k = \sum_{i=1}^n F_{ki} = \sum_{i=1}^n f_i R_i = \left(f_K + \frac{k_{\text{ув}} \sigma_{\text{ув}}}{F_1} \right) mg \cos \alpha,$$

где n — число колес автомобиля.

Экспериментальные данные обработки трека

Эксперимент проводился на легковом автомобиле Ford Focus. Маршрут движения на карте города представлен на рис. 4. Интерполированная траектория, траектория акселерометра и скорректированная траектория изображены на рис. 5. Коррекция проводилась с $K_{\text{кор}} = 1$, скорректированный трек стремится к интерполированному, но не повторяет его точно. Модуль ускорения и скорости автомобиля показаны на рис. 6, 7, мощность, которую развивал автомобиль во время движения, продемонстрирована на рис. 8. Хорошо видны



Рис. 4. GPS-трек автомобиля

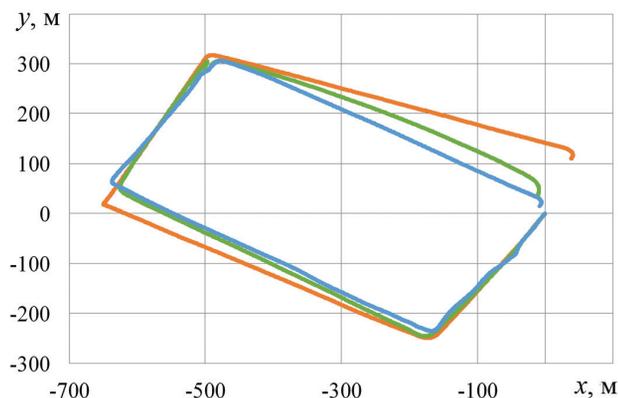


Рис. 5. Траектории движения: красная — траектория акселерометра; синяя — интерполированная; зеленая — скорректированная

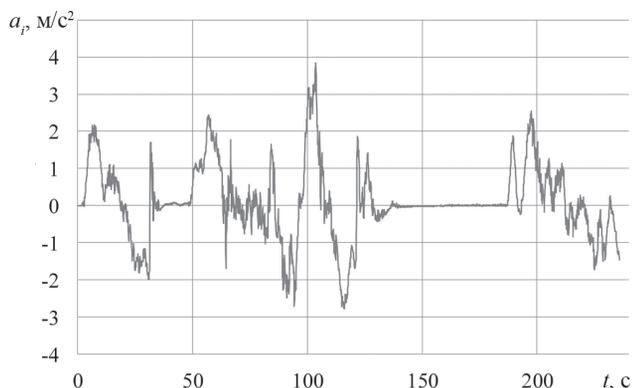


Рис. 6. Ускорение автомобиля

пики потребления при ускорении, значения средней мощности при постоянной скорости, и области, где возможна рекуперация при торможении.

Выводы

Предлагаемый метод оценки требований к гибридным электрическим трансмиссиям предоставляет желаемую и точную информацию о маршруте транспортного средства, циклограмму его скорости и позволяет оценить мгновенную мощность, развиваемую автомобилем, на всем протяжении маршрута. Эти данные могут быть использованы для эффективного моделирования и оптимизации параметров электрических гибридных и электрических трансмиссий. Работа с рядом таких диаграмм максимально приблизит условия теста к условиям на дороге.

Дальнейшая работа будет сосредоточена на создании модели гибридной трансмиссии последовательного типа для городского автобуса и ее оптимизации с помощью диаграмм, выполненных с использованием предложенного метода.

Литература

1. **U.S. Department of Energy.** Energy Information Administration, Alternative Fuels Data Center [Электрон.

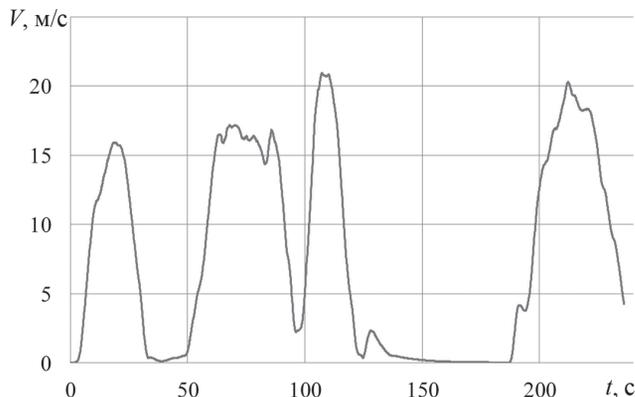


Рис. 7. Скорость автомобиля

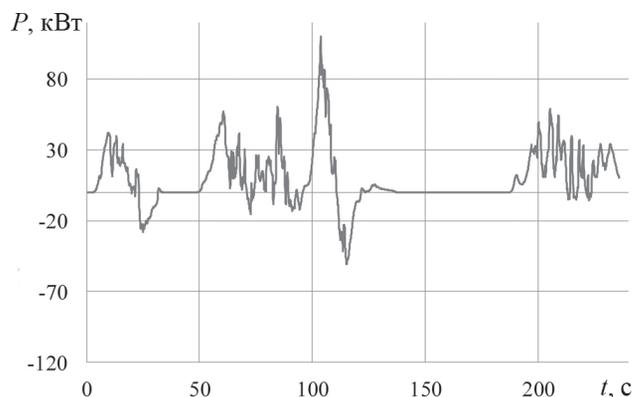


Рис. 8. Мощность, развиваемая автомобилем

ресурс] www.afdc.energy.gov/data (дата обращения 03.04.2017).

2. **Moore T.C.** Tools and Strategies for Hybrid-electric Drive System Optimization. SAE International Warrendale: SAE Tech. Paper Series, 1996.

3. **Desai C., Williamson S.S.** Optimal Design of a Parallel Hybrid Electric Vehicle Using Multi-objective Genetic Algorithms // Proc. IEEE VPPC. Dearborn, 2009. Pp. 871—876.

4. **Shim B.J., Park K.S., Koo J.M., Jin S.H.** Work and Speed Based Engine Operation Condition Analysis for New European Driving Cycle (NEDC) // J. Mechanical Sci. and Tech. 2014. V. 28. No. 2. Pp. 755—761.

5. **Hillol R.K., McGordon A., Jennings P.A.** A Generalized Powertrain Design Optimization Methodology to Reduce Fuel Economy Variability in Hybrid Electric Vehicles // IEEE Trans. on Vehicular Tech. 2014. V. 63. No. 3. Pp. 1055—1070.

6. **Naxin C., Fengxia L., Jian W., Xiaoxia W.** Optimization of HEV Energy Management Strategy Based on Driving Cycle Modeling // Proc. 34th Chinese Control Conf. 2015. Pp. 7983—7987.

7. **Wallace B. e. a.** Measurement of Vehicle Acceleration in Studies of Older Drivers from GPS Position and OBDII Velocity Sensors // Proc IEEE Intern. Symp. Medical Meas. and Appl. 2015. Pp. 391—396.

8. **Beauregard S.** Omnidirectional Pedestrian Navigation for First Responders // Proc. 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication. 2007. Pp. 33—36.

9. **Mahony R., Hamel T., Pfimlin J.-M.** Nonlinear Complementary Filters on the Special Orthogonal Group. Automatic Control // IEEE Trans. 2008. V. 53 (5). Pp. 1203—1218.

10. **Yong-xiang Zhang.** A Method of Resolving Gyro Zero Drift in Electronic Stabilization System // Proc. Intern. Conf. Computer and Automation Eng. 2009.

11. **Тарасик В.П.** Теория движения автомобилей. СПб.: БХВ – Петербург, 2006.

12. **Sachidananda Sen, Shouvik Chakraborty, Ashoke Sutradhar.** Estimation of Tire Slip-angles for Vehicle Stability Control Using Kalman Filtering Approach // Proc. Intern. Conf. Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth. 2015.

References

1. **U.S. Department of Energy.** Energy Information Administration, Alternative Fuels Data Center [Elektron. Resurs] www.afdc.energy.gov/data (Data Obrashcheniya 03.04.2017).

2. **Moore T.C.** Tools and Strategies for Hybrid-electric Drive System Optimization. SAE International Warrendale: SAE Tech. Paper Series, 1996.

3. **Desai C., Williamson S.S.** Optimal Design of a Parallel Hybrid Electric Vehicle Using Multi-objective Genetic Algorithms. Proc. IEEE VPPC. Dearborn, 2009: 871—876.

4. **Shim B.J., Park K.S., Koo J.M., Jin S.H.** Work and Speed Based Engine Operation Condition Analysis for New European Driving Cycle (NEDC). J. Mechanical Sci. and Tech. 2014;28;2:755—761.

5. **Hillool R.K., McGordon A., Jennings P.A.** A Generalized Powertrain Design Optimization Methodology to Reduce Fuel Economy Variability in Hybrid Electric Vehicles. IEEE Trans. on Vehicular Tech. 2014;63;3:1055—1070.

6. **Naxin C., Fengxia L., Jian W., Xiaoxia W.** Optimization of HEV Energy Management Strategy Based on Driving Cycle Modeling. Proc. 34th Chinese Control Conf. 2015:7983—7987.

7. **Wallace B. e. a.** Measurement of Vehicle Acceleration in Studies of Older Drivers from GPS Position and OBDII Velocity Sensors. Proc IEEE Intern. Symp. Medical Meas. and Appl. 2015:391—396.

8. **Beauregard S.** Omnidirectional Pedestrian Navigation for First Responders. Proc. 4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication. 2007:33—36.

9. **Mahony R., Hamel T., Pfimlin J.-M.** Nonlinear Complementary Filters on the Special Orthogonal Group. Automatic Control. IEEE Trans. 2008;53 (5):1203—1218.

10. **Yong-xiang Zhang.** A Method of Resolving Gyro Zero Drift in Electronic Stabilization System. Proc. Intern. Conf. Computer and Automation Eng. 2009.

11. **Tarasik V.P.** Teoriya Dvizheniya Avtomobiley. SPb.: BHV – Peterburg, 2006. (in Russian).

12. **Sachidananda Sen, Shouvik Chakraborty, Ashoke Sutradhar.** Estimation of Tire Slip-angles for Vehicle Stability Control Using Kalman Filtering Approach. Proc. Intern. Conf. Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth. 2015.

Сведения об авторах

Чан Суан Чунг — аспирант кафедры автоматизированного электропривода НИУ «МЭИ», e-mail: xuantrungtran85@gmail.com

Кулик Егор Сергеевич — студент кафедры автоматизированного электропривода НИУ «МЭИ», e-mail: kulikegorka@gmail.com

Анучин Алексей Сергеевич — кандидат технических наук, заведующий кафедрой автоматизированного электропривода НИУ «МЭИ», e-mail: anuchinas@mpei.ru

Information about authors

Xuan Trung Tran — Ph.D.-student of Automated Electric Drives Dept., NRU MPEI, e-mail: xuantrungtran85@gmail.com

Kulik Egor S. — Student of Automated Electric Drives Dept., NRU MPEI, e-mail: kulikegorka@gmail.com

Anuchin Aleksey S. — Ph.D. (Techn.), Head of Automated Electric Drives Dept., NRU MPEI, e-mail: anuchinas@mpei.ru

Статья поступила в редакцию 18.12.2017