

Папкин Борис Аркадьевич

канд. техн. наук, заместитель начальника

Великорецкий Александр Александрович

ведущий инженер

Стуколкин Роман Викторович

инженер-исследователь

НТЦ «Силовые агрегаты» ФГБОУ ВО «Московский

политехнический университет»

г. Москва

DOI 10.21661/r-508714

ПРЕДИКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКОЙ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

***Аннотация:** в статье описан состав системы предиктивного управления беспилотного гибридного транспортного средства с последовательной силовой установкой, которая позволяет реализовать оптимальную стратегию управления энергоустановкой в зависимости от текущего состояния транспортного средства и с учетом различных внешних факторов, а также описан ее алгоритм работы, позволяющий на основе учета влияния внешних факторов проводить оптимизацию энергопотребления транспортного средства и режимов работы двигатель-генераторной установки, повышать долю аккумулируемой энергии рекуперативного торможения и максимально увеличивать использование электроэнергии из внешней сети посредством внешнего зарядного устройства, что в совокупности способствует повышению эффективности работы всех систем энергоустановки автомобиля и, как следствие, приводит к увеличению топливной экономичности и сокращению выбросов вредных веществ с отработавшими газами.*

***Ключевые слова:** гибридный автомобиль, беспилотный транспорт, энергоустановка, внешние факторы, предиктивное управление.*

Настоящая работа подготовлена в рамках соглашения №14.577.21.0249 от 26 сентября 2017 года о предоставлении субсидии при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57717X0249).

Повышение энергоэффективности, экологической чистоты и ресурса транспортных средств (ТС) остаются по-прежнему актуальными задачами современной науки и техники. Бурно развивающиеся системы спутниковой навигации, машинного зрения и радиолокационные системы позволяют по-новому подойти к проектированию транспортных средств и транспортных энергоустановок, смещая вектор развития в сторону беспилотного транспорта. Возможность оценивать события, которые могут возникнуть в будущем, на пути следования транспортного средства, позволяет оптимизировать алгоритмы управления транспортным средством и его энергоустановкой, в значительной мере обеспечить снижение расхода топлива, уменьшить уровень выбросов вредных веществ, обеспечить благоприятные, с точки зрения ресурса, режимы работы систем и агрегатов транспортных средств [1]. Реализация указанных возможностей требует разработки новых систем управления энергоустановками и движением транспортных средств – систем предиктивного (прогностического) управления.

Тенденции последних лет в конструировании автотранспортных средств показывают, что все больше энергоустановок приобретают электрическую тягу. Транспортные средства с гибридными электрическими установками, в состав которых входят двигатель внутреннего сгорания (ДВС), буферный накопитель энергии и тяговый электропривод обладают наибольшими возможностями для реализации предиктивного управления [2]. Оптимальное управление мощностью ДВС, степенью заряженности буферного накопителя энергии, рекуперацией энергии, выделяющейся при замедлении транспортного средства с возможностью построения алгоритма управления, учитывающего предстоящие события, позволит достичь перспективных норм на выбросы вредных веществ, значительное увеличение запаса хода на электротяге и срок службы компонентов энергоустановки и транспортного средства в целом. Отдельно стоит отметить

перспективность применения прогностических технологий управления системами ТС, в частности его энергоустановкой, учитывающих влияние внешних факторов, для беспилотных транспортных средств, ведь именно в них появляется возможность максимально раскрыть потенциал повышения топливной экономичности и экологичности в связи с минимизацией влияния человеческого фактора на управление ТС.

В настоящее время с целью увеличения пробега транспорта с электроприводом на одной зарядке применяются различные решения, причем зачастую комплексно, среди которых наибольшую эффективность и, как следствие, распространенность получили следующие:

- повышение емкости накопителей электроэнергии для автомобилей с полностью электрическим приводом;
- рекуперативное торможение;
- оптимизация энергопотребления путем автоматизации управления.

Последний подход позволяет снизить потребление топлива и электроэнергии без внесения изменений в конструкцию транспортного средства. Программное обеспечение, обладающее прогностическими функциями и управляющее транспортным средством, может позволить как увеличить автономность транспортных средств с электроприводом, в том числе беспилотных, так и снизить уровень выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

Важно отметить, что неучтенные дорожные условия (заторы, ремонтные работы и т. п.), рельеф местности, а также погодные условия (скорость и направление ветра, осадки, температура и т. п.) приводят к непредсказуемости запаса хода транспортного средства. Предииктивное управление энергоустановкой позволяет не только снизить затраты энергии на движение транспортного средства, но и значительно увеличить точность определения оставшегося запаса хода.

В общем случае система предиктивного управления (СПУ) энергоустановкой гибридного транспортного средства, функциональная схема которой представлена на рисунке 1, включает в себя:

- устройство взаимодействия с пользователем, в качестве которого может выступать планшетный компьютер, дисплей или их аналог, с установленным специализированным программным обеспечением;
- систему сбора данных и координат, отвечающую за взаимодействие СПУ с внешним миром посредством информации о положении автомобиля, получаемой от спутниковых систем позиционирования, и данных о внешних факторах (параметры маршрута, погодные условия, дорожная обстановка и т. п.), получаемых из информационных источников (интернет, радио, инфраструктурные информационные объекты);
- блок предиктивного управления, выполняющий расчет оптимальных параметров управления и формирующий стратегию управления энергоустановкой гибридного транспортного средства.

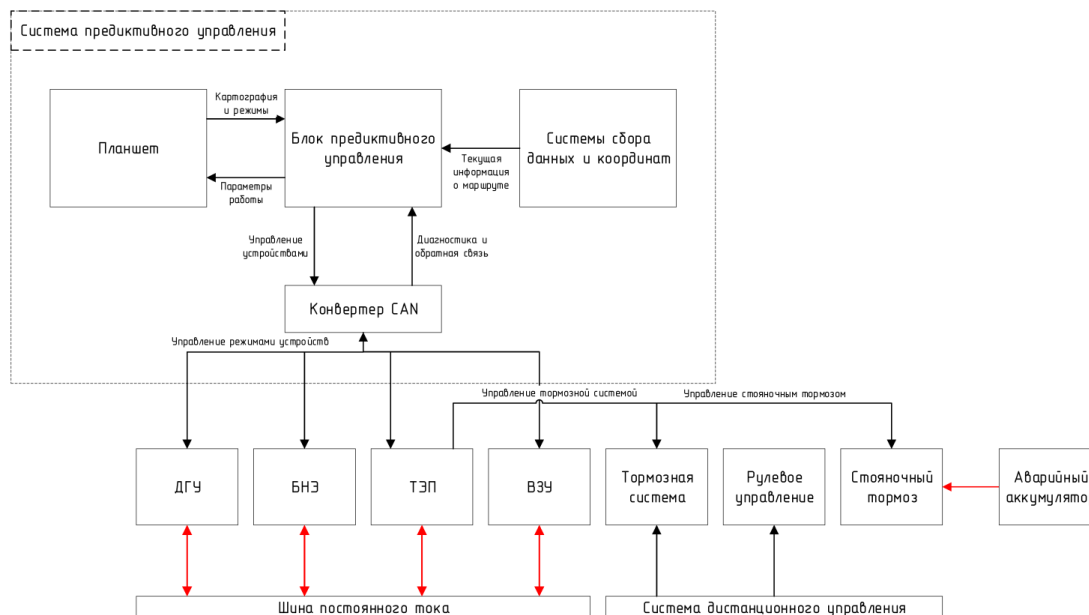


Рис. 1. Функциональная схема системы предиктивного управления энергоустановкой гибридного транспортного средства

ДГУ – двигатель-генераторная установка; БНЭ – буферный накопитель энергии; ТЭП – тяговый электропривод; ВЗУ – внешнее зарядное устройство.

Для управления различными устройствами используются две CAN шины. По шине «управление режимами устройств» блок предиктивного управления задает режимы работы энергоустановки ТС. По второй изолированной CAN шине осуществляется управление вспомогательными агрегатами ТС [3].

Рассмотрим обобщенный алгоритм работы СПУ беспилотного гибридного ТС с последовательной схемой энергоустановки, представленный на рисунке 2.

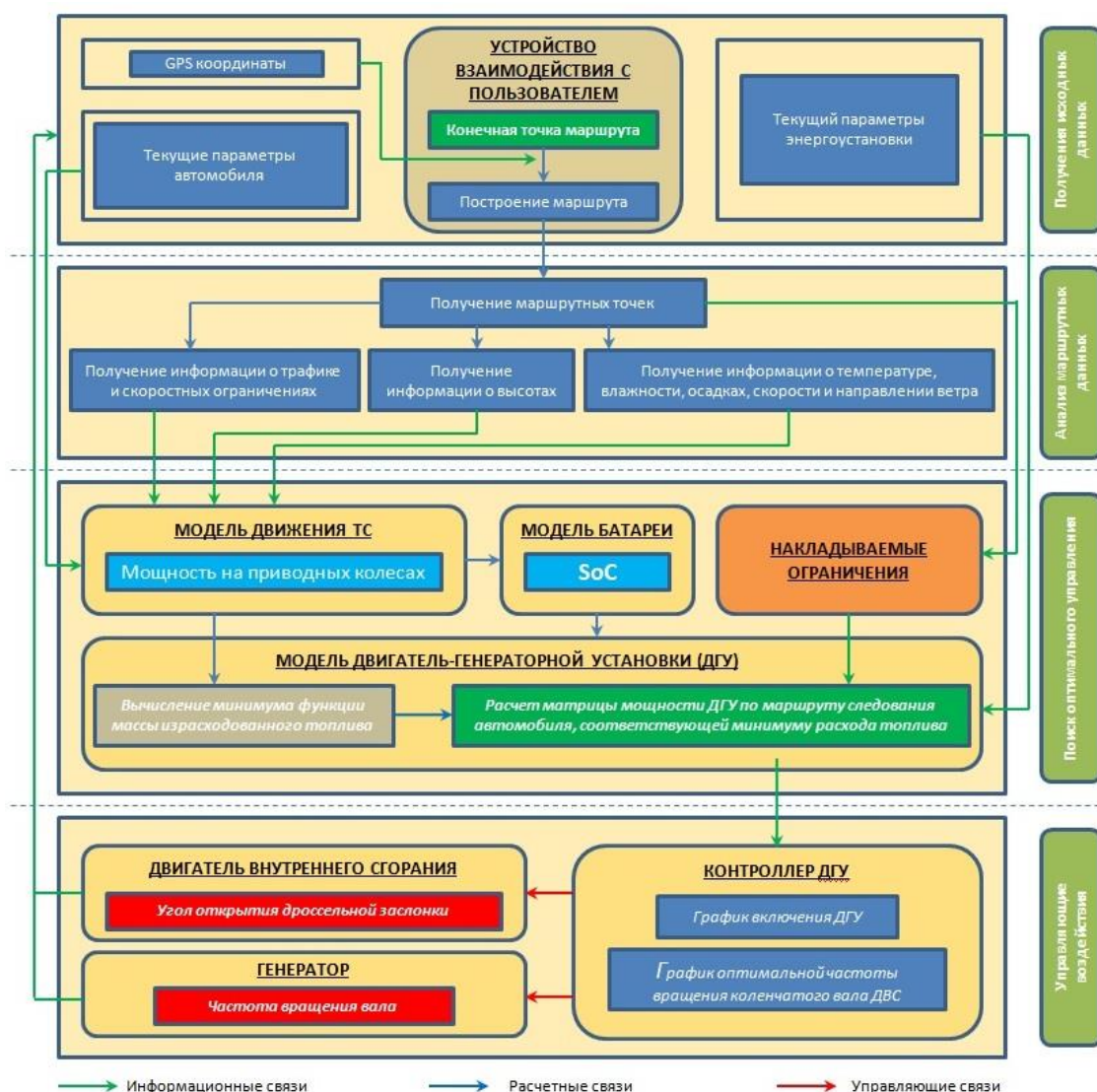


Рис. 2. Обобщенный алгоритм работы СПУ беспилотного гибридного ТС с последовательной схемой энергоустановки

Алгоритм реализуется следующим способом. Оператор дистанционно или вручную задает на устройстве взаимодействия с пользователем конечную точку маршрута следования ТС. Одновременно с этим системы ТС определяют фактическое место нахождения ТС (посредством GPS, Глонасс или т. п.), текущие

параметры автомобиля (скорость, загрузка и иные параметры его систем, не относящихся к энергоустановке) и текущие параметры энергоустановки (параметры ДВС, аккумуляторов, тягового привода). На основании полученных данных происходит построение маршрута следования ТС. Далее посредством данных, полученных из информационных источников, происходит анализ маршрутных данных, в том числе собирается информация о трафике и скоростных ограничениях, о рельефе местности и о погодных условиях на пути следования ТС. Полученная информация поступает в расчетный модуль блока предиктивного управления, где происходит поиск оптимального управления энергоустановкой, а именно поиск минимума функции массы израсходованного двигатель-генераторной установкой топлива, который может рассчитываться как цепь Маркова [4, 5], или с использованием методов динамического программирования [6], или с использованием теории стохастических процессов для анализа работы энергоустановки [7] на основе расчетных параметров степени заряженности аккумуляторов, полученной в ходе моделирования движения ТС по построенному маршруту [8, 9]. На основании расчетных данных производится построение матрицы мощности ДГУ по маршруту следования, соответствующей минимуму расхода топлива.

Полученные оптимальные параметры управления передаются в систему управления энергоустановкой, в частности в контроллер ДГУ, где формируются график включения ДГУ по маршруту следования и график оптимальной частоты вращения коленчатого вала ДВС во время работы ДГУ. На основании полученных данных контроллер ДГУ формирует управляющие воздействия для ДВС и генератора в виде сигналов об угле открытия дроссельной заслонки и частоте вращения вала генератора. После этого датчики энергоустановки фиксируют фактические текущие значения параметров ДВС и генератора и передают их в систему управления ТС.

В ходе движения ТС по маршруту данный алгоритм работы СПУ повторяется циклически с целью уточнения оптимальных параметров управления, которые могут отклоняться от первоначальных значений в связи с неточностью

сведений из информационных источников, погрешностью математических вычислений, а также случайных процессов, влияющих на скорость движения ТС. Таким образом, за счет учета влияния внешних факторов на энергопотребление гибридного ТС происходит оптимизация энергопотребления ТС и режимов работы ДВС ДГУ, повышается доля аккумулируемой энергии рекуперативного торможения и максимально увеличивается использование электроэнергии из внешней сети посредством внешнего зарядного устройства (в случае подзаряжаемого гибридного ТС – PHEV), за счет чего достигается наибольшая эффективность работы всех систем энергоустановки и, как следствие, происходит повышение топливной экономичности и сокращение выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

Список литературы

1. Лежнев Л.Ю. О перспективах внедрения технологий предиктивного управления энергоустановками автотранспортных средств с тяговым электроприводом / Л.Ю. Лежнев, Д.А. Петриченко, В.С. Коротков // Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем: сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 73–77.
2. Lezhnev L.Yu. Predictive control implementation for series hybrid electric vehicles / L.Yu. Lezhnev, N.A. Khripach, D.A. Petrichenko, F.A. Shustrov // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2017. – №8 (11). – P. 1107–1116.
3. Лежнев Л.Ю., Коротков В.С., Некрасов А.С. Система предиктивного управления энергоустановкой гибридного автомобиля: состав и принцип работы / Л.Ю. Лежнев, В.С. Коротков, А.С. Некрасов // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2018. С. 133–135.
4. Ripaccioli G., Berardini D., Di Ciarano S., Bemporad A., Kolmanovsky I.V. A stochastic model predictive control approach for series hybrid

electric power management. // Proceedings of the 2010 American Control Conference. 2010. pp. 5844–5849.

5. Vogel A., Ramachandran D., Gupta R., Raux A. Improving hybrid vehicle fuel efficiency using inverse reinforcement learning. // Proceedings of the Twenty-Sixth AAAI Conference on Artificial intelligence. 2012. pp. 384–390.

6. Lin C.C., Peng H., Grizzle J.W., Kang J.M. Power Management Strategy for a Parallel Hybrid Electric Truck // IEEE Transactions On Control Systems Technology, Vol. 11, No. 6, 2003. pp. 839–849.

7. Li L., You S., Yang C., Yan B., Song J., Chen Z. Driving-behaviour-aware stochastic model predictive control for plug-in hybrid electric buses. // Applied Energy, No. 162, 2016. pp. 868–879.

8. Петриченко Д.А. Особенности моделирования трансмиссии автотранспортных средств с гибридными силовыми установками различных схем / Д.А. Петриченко, И.А. Куликов, Ф.А. Шустров // Научно-практические аспекты развития современной техники и технологий в условиях курса на инновации. Сборник статей по итогам Международной научно – практической конференции. – 2017. – С. 188–197.

9. Kulikov I.A., Lezhnev L.Y., Bakhmutov S.V. Comparative Study of Hybrid Vehicle Powertrains with Respect to Energy Efficiency. J Mach Manuf Reliab 2019;48(1):11–19.