

УДК 629.33.03-83; 629.34.03-83

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ  
УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМ ПРИВОДОМ АВТОМОБИЛЯ**

**# 09, сентябрь 2012**

Саркисов П.И.

*Аспирант кафедры СМ10  
«Колёсные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Попов С.Д.,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н., доцент, профессор Кафедры ЮНЕСКО*

МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[p\\_sark@mail.ru](mailto:p_sark@mail.ru)

Как известно ([1], [2] и др.), сегодня одним из компромиссных решений между экологическими требованиями к автомобилям и стоимостными ограничениями является силовая установка, сочетающая двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и тяговый электродвигатель (ТЭД) (т.н. «гибридная силовая установка»).

Варианты схем таких автомобилей очень многочисленны. Структура прототипа, рассмотренного в работе, предполагает наличие фрикционной муфты, позволяющей разобщать ДВС и колеса, тягового электродвигателя, а также отдельного генератора с приводом от вала ДВС, предназначенного для пополнения заряда батареи.

К сожалению, особенности маркетинговой политики производителей гибридных автомобилей зачастую имеют приоритет над инженерными соображениями. Измерения расхода топлива в Европе производится по стандартизованному профилю движения (NEFZ – от нем. *Neuer Europäischer Fahrzyklus* – новый европейский профиль движения, рис. 1). Данный режим позволяет сравнивать продукцию различных производителей. Законодательно установлено, что результаты испытаний по данному циклу могут использоваться в рекламных целях для продвижения продукта на рынок.

Именно поэтому производители настраивают системы управления гибридным приводом не с позиций минимального расхода энергии при среднестатистическом режиме движения, а для обеспечения наилучших показателей при режиме NEFZ, поскольку эти показатели будут трактоваться как оценочные параметры продукта.

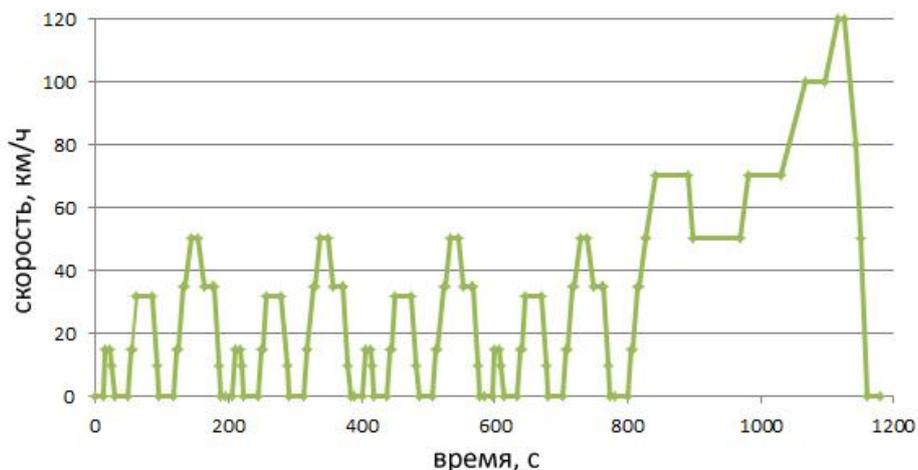


Рис. 1. Стандартизованный для измерения расхода топлива европейский профиль движения NEFZ.

Теоретически, режим NEFZ был разработан с целью максимального приближения к среднестатистическому режиму движения, однако, он не будет в одинаковой степени близко отражать среднестатистические режимы для разных регионов и разных применений.

Современный уровень развития спутниковых систем глобального позиционирования (GPS – от англ. *Global Positioning System*) позволяет практически при любой погоде определять скорость и положение объектов на поверхности Земли с точностью до 10 метров (гражданские системы). Широкое распространение навигационных систем стимулировало точное построение и обновление регулярное карт местности и дорожной сети. С помощью этих систем и данных стало возможным прогнозировать движение автомобиля и использовать эти данные для рационального управления его энергоресурсами [3].

Целью работы является исследование возможности реализации системы прогнозирования движения без повышения производительности бортовой ЭВМ автомобиля и предварительная оценка эффективности системы.

На пути к цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проверка возможности воспроизведения автомобилем заданных заранее параметров движения;
2. Анализ возможностей использования данных о транспортной задаче для оптимизации энергопотребления;
3. Оценка целесообразности применения системы.

Наиболее простой пример эффективности подобной системы приведён на рисунке 2.

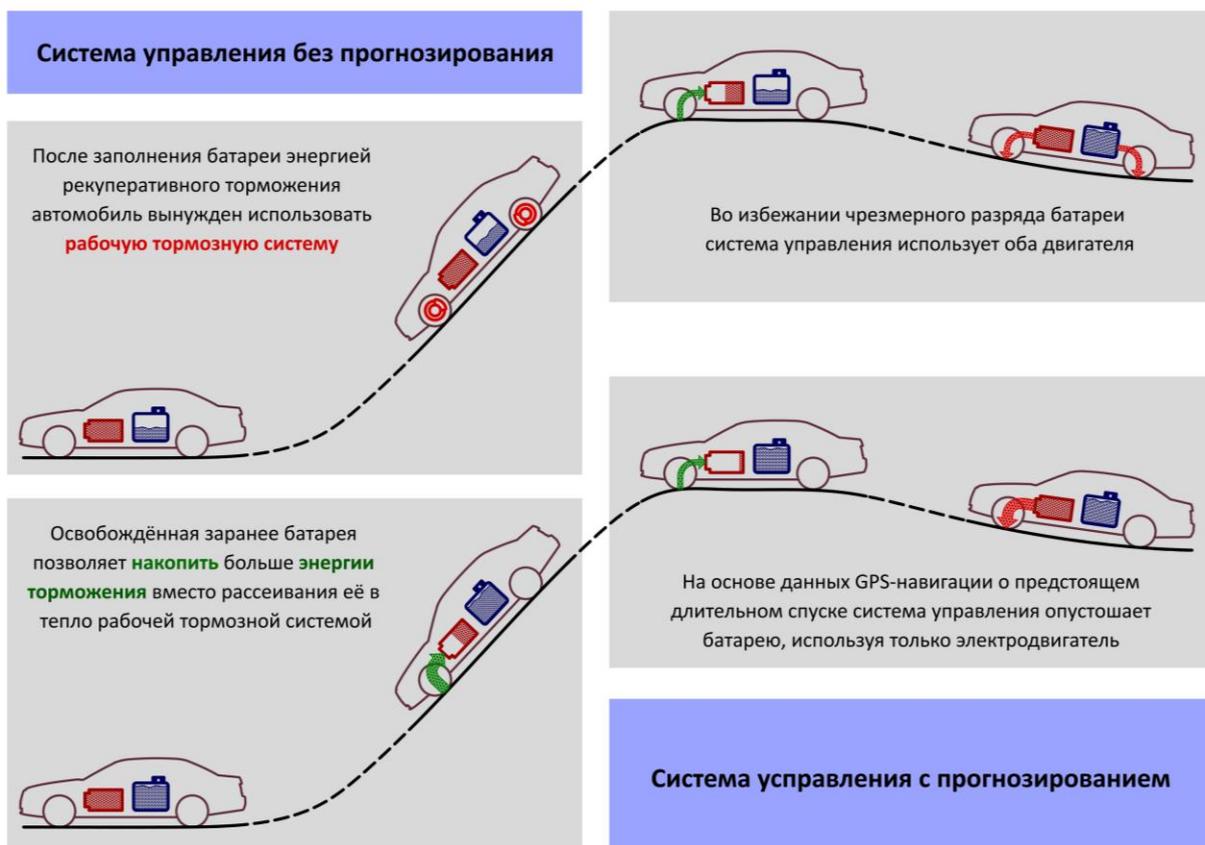


Рис. 2. Схема функционирования систем управления с и без прогнозирования.

При движении с большими перепадами высот удельная доля рекуперативной энергии является высокой, и важно иметь возможность накопить максимум энергии рекуперации и минимизировать использование фрикционных тормозов. При заблаговременном наличии данных о параметрах движения это становится возможным.

В общем случае порядок работы системы следующий:

1. С помощью системы GPS определяется текущее положение автомобиля;
2. Водитель задаёт пункт назначения;
3. Навигационная система, используя карты дорожной сети и информацию о степени её загруженности строит оптимальный маршрут движения автомобиля;
4. Данные о маршруте, такие как:
  - 4.1. Вертикальная координата (соответственно перепад высот);
  - 4.2. Горизонтальные координаты (данные о криволинейных участках движения);
  - 4.3. Данные о разрешенной скорости движения на участках маршрута;
  - 4.4. Данные о загруженности участков маршрута и погодных условиях;
 наряду с параметрами текущего состояния автомобиля (уровнем заряда батареи, мощности, потребляемой дополнительным оборудованием автомобиля и др.) формируют зависимость скорости от пути и распределение работы между двумя источниками механической энергии (ДВС и ТЭД).
5. Движение автомобиля реализуется согласно вычисленному режиму. При неизбежных отклонениях от такого режима вычисляется новый режим движения между текущим положением (и состоянием) автомобиля и пунктом назначения. Решение первой задачи осуществлено экспериментальным образом.

Первым этапом экспериментальных заездов является произвольное движение прототипа по фиксированному маршруту. При этом с помощью дополнительного

оборудования, подключённого к автомобилю посредством CAN-шины, фиксируются параметры движения (скорость, степень нажатия педалей, выбранная передача, уровень заряда батареи и другие). Эти параметры ставятся в соответствие с местоположением автомобиля, фиксируемым GPS-приёмником повышенной точности. Таким образом формируется характеристика зависимости скорости автомобиля от его положения на известном маршруте (по сути для каждой точки на маршруте известна скорость), данную зависимость в европейской терминологии называют профилем скорости по пути (цикл NEFZ называют профилем скорости по времени). При замере профиля движения стараются настолько это возможно не использовать фрикционные тормоза, поскольку система управления автомобилем не в состоянии повторить это воздействие во втором этапе.

Вторым этапом экспериментальных заездов является движение автомобиля строго по тому же маршруту с использованием полученного профиля скорости. С помощью алгоритма на базе пропорционально-интегрального контроллера, специализированного программного обеспечения и персональной ЭВМ, подключенной через CAN-шину к системе управления автомобилем, в качестве входного воздействия (вместо поведения водителя) подаётся сигнал с ЭВМ, направленный на соответствие текущей скорости автомобиля полученному профилю. Иными словами, водитель воздействует только на рулевое управление, а вместо сигнала с педалей в систему управления приводом подаётся внешний сигнал с ЭВМ. Торможение при этом осуществляется электродвигателем в генераторном режиме работы.

Испытания показали, что исходный профиль скорости отличается от последующих воспроизводимых (использующих исходный как входное воздействие) не более, чем на 5% по величине скорости. Это свидетельствует о том, что весьма простой по структуре контроллер обеспечивает хорошую «воспроизводимость» профиля, полученного заранее. Первый этап данного эксперимента имитирует функцию прогнозирования: исходный профиль скорости играет роль спрогнозированного профиля.

Испытания проводились на специализированном участке дороги, продольный профиль которой показан на рис. 3. Для этого участка дороги были получены данные о том, какое количество энергии и с какой эффективностью расходуется ДВС и ТЭД при движении автомобиля в различных режимах. С периодом порядка 10 мс регистрировались параметры движения автомобиля (координаты, продольная скорость, угловые скорости вращения колёс и пр.) и параметры работы комбинированной силовой установки (мгновенный расход топлива и пр.). Далее для каждого момента времени были вычислены значения мгновенной мощности и эффективного КПД ДВС и ТЭД и объединены по шкале КПД в группы с шагом 10%. Для каждой группы была вычислена сумма значений мгновенной мощности, потребляемой при соответствующих КПД.

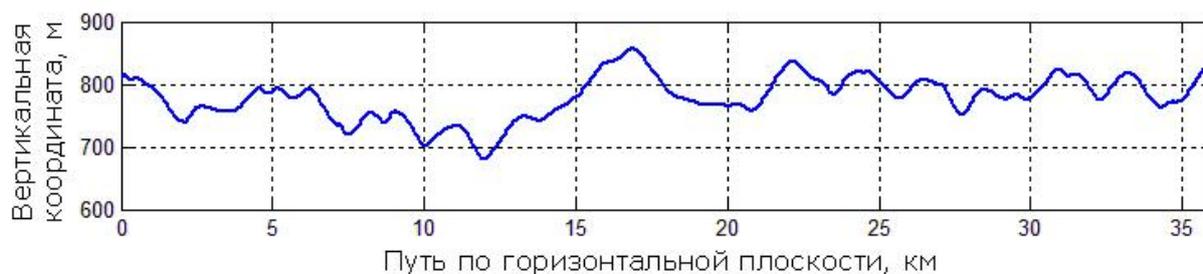


Рис. 3. Продольный профиль дороги на участке проводимых исследований.

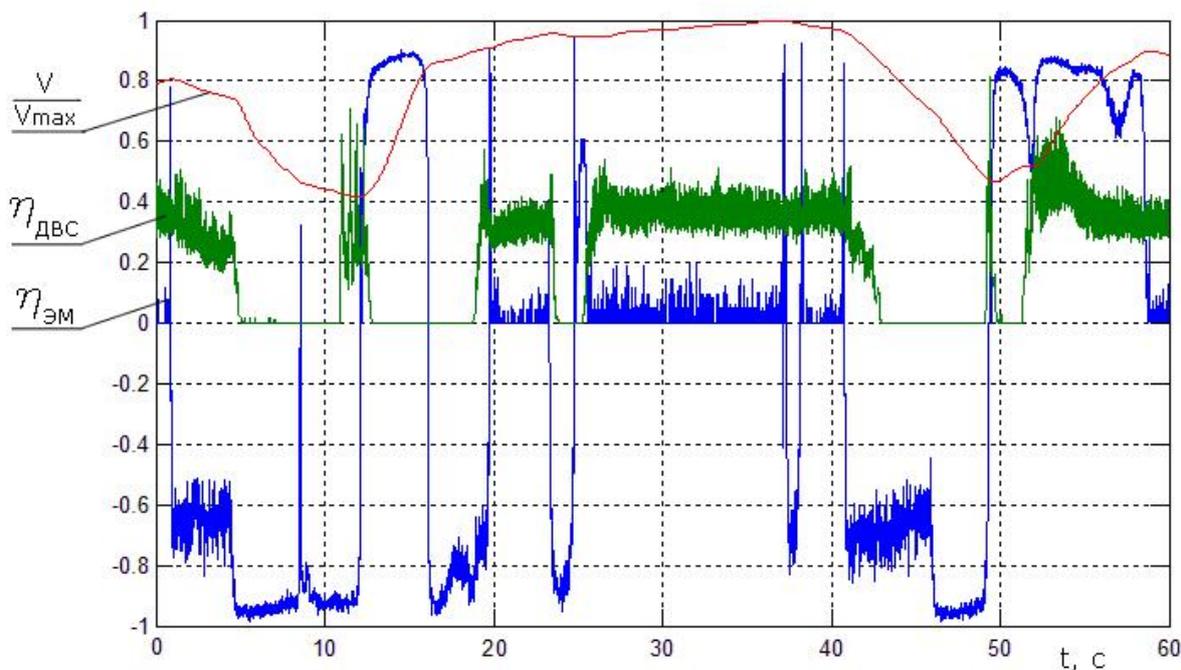


Рис. 4. Графики изменения относительной величины скорости, условных величин КПД ДВС и электродвигателя от времени движения.

Рис. 4 показывает, что при рекуперативном торможении нет необходимости в дополнительном заряде батареи, поэтому система управления выключает ДВС (участок 40-50 секунд по шкале времени). При этом видно, что с 40 секунды торможение уже началось, а ДВС ещё работает на высоких оборотах. Поскольку необходимости в нём нет, система управления глушит двигатель, на это уходят примерно 3 секунды. С 50-й секунды скорость должна расти, и ДВС должен содействовать электродвигателю для её обеспечения, но он включается в работу только спустя 2 секунды, которые требуются для пуска. Система прогнозирования, имеющая заранее информацию о требуемой скорости, позволяет избежать этих задержек. Кроме того, если торможение осуществляется в течении короткого времени (например, менее 10 секунд), то выключение ДВС не имеет смысла, поскольку на повторный пуск потребуется большее количество энергии. Аналогично – с пуском ДВС, когда требуется повышение скорости в течение короткого временного участка, до и после которого были участки длительного торможения. Такая оптимизация работы системы управления также обеспечит незначительное повышение эффективности гибридной силовой установки.

Диаграмма, показанная на рис. 5, отражает суммарные значения мгновенной мощности для каждого интервала КПД. Отрицательные значения соответствуют значениям мгновенной мощности генератора, то есть характеризуют энергию, возвращаемую в батарею.

Оценка полученных результатов показала, что на том участке дороги, на котором проводились испытания, ДВС расходует наибольшее количество энергии при КПД от 30 до 40%, а ТЭД – при КПД от 80 до 90%, что иллюстрирует важность оптимального распределения работы между двигателями, на повышение которой направлена система управления гибридным приводом с прогнозированием режима движения.

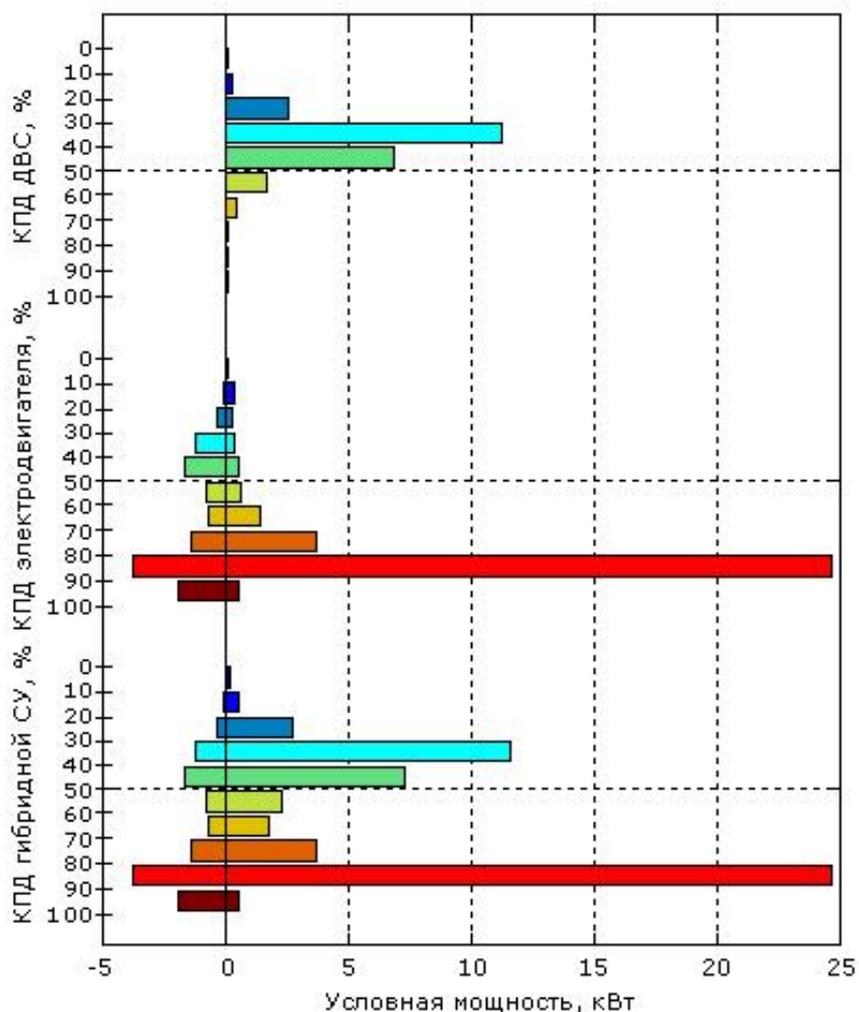


Рис. 5. Диаграмма условной потребляемой мощности при различных значениях КПД двигателей.

Очевидно, что прогнозирование не в состоянии учитывать все возможные изменения режима движения. Однако, применение системы по крайней мере не увеличивает расход энергии по сравнению с системой управления гибридным приводом без прогнозирования. Поскольку внедрение системы не требует конструктивных изменений или повышения производительности, то целесообразность её применения зависит прежде всего от характерных режимов движения транспортного средства (например, регион, характер работы и др.). Наиболее эффективной система является для движения с большой долей рекуперативного торможения, например, в холмистой местности, или для маршрутного транспорта. Несмотря на ограниченность целесообразного применения, описанная в работе концепция имеет важное значение, поскольку без существенных затрат позволяет сократить вредное влияние на окружающую среду, что с каждым годом становится всё более критичным.

## Литература

1. Обзор кинематических схем построения гибридных трансмиссий Г.О. Котиев, С.А. Харитонов, М.В. Нагайцев // Журнал ассоциации автомобильных инженеров – 2010. – №4(63).
2. Златин П.А., Кеменов В.А., Ксенович И.П. Электромобили и гибридные автомобили. – М.: Агроконсалт, 2004. – 416 с.
3. Йоханнесон Л. Система управления гибридным электромобилем на основе прогнозирования маршрута. Дисс. канд. техн. наук. Гётебург, 2009. – 208 с.