

УДК 629.33.03-83; 629.34.03-83

## СХЕМА ДЛЯ ГИБРИДА

Л.А. Скрипко, к.т.н. / МГТУ «МАДИ»

О преимуществах автомобиля с комбинированной энергоустановкой (КЭУ) опубликовано большое количество статей, защищено диссертаций. Идеи, заложенные в гибридах, описаны достаточно полно, и любознательный читатель вполне представляет принцип их работы. Напомню, что основным достоинством гибридной схемы является возможность обеспечения работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в определенной области на многопараметровой характеристике (рис. 1), которая обусловлена минимальным удельным расходом топлива. В традиционном автомобиле этого достичь невозможно, так как рабочая точка на характеристике зависит от момента развиваемого ДВС (зависит от степени открытия дросселя) и его оборотов, которые зависят в свою очередь от выбранной передачи и скорости движения. Соотношение этих параметров зависит от графика движения и стиля вождения. Таким образом, при движении традиционного автомобиля задействуется практически вся область многопараметровой характеристики. При этом значения удельного расхода топлива на характеристике существенно разнятся в зависимости от момента и оборотов ДВС. Так, значения минимального удельного расхода топлива (порядка 250 г/кВт·ч) для большинства ДВС соответствуют области максимального

момента при оборотах порядка 3000 об/мин. В городе автомобиль с ДВС развивает максимальный момент не часто, а зона работы ДВС соответствует примерно 10-20% максимального значения. При таких моментах удельный расход топлива равен порядка 600-800 г/кВт·ч, что в три раза выше теоретически возможного. Поэтому, обеспечив работу ДВС только в экономичной зоне, можно было бы в три раза сократить расход топлива в городском режиме. Самым же неэкономичным режимом является равномерное движение с небольшой скоростью на первой или второй передаче, что мы наблюдаем в городских заторах. Непосвященному читателю сложно представить, но мощность, требуемая от ДВС при равномерном движении автомобиля, мизерна. Так, для легкового автомобиля массой около тонны при движении со скоростью 60 км/ч от ДВС требуется всего 10-15 л.с. На основании рис. 1 можно убедиться, что задействованная область работы ДВС в этом случае — крайне неэкономична.

Следуя приведенным рассуждениям, несложно ответить на вопрос — как же повысить топливную экономичность автомобиля в городе? Очевидно, что обеспечив постоянную работу ДВС в области высоких моментов при оборотах 2500-3500 об/мин, мы получим мини-

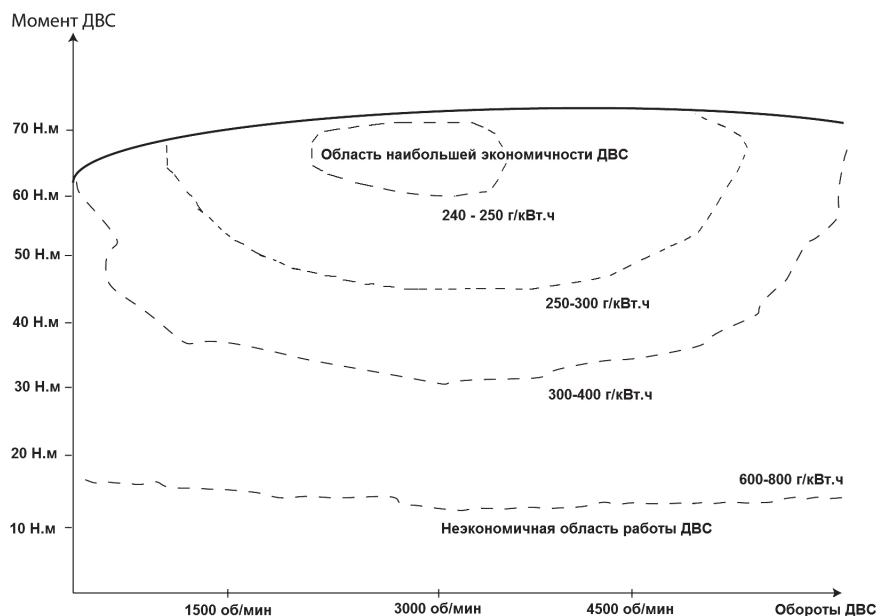


Рисунок 1. Многопараметровая характеристика двигателя внутреннего сгорания

мально возможный расход топлива. Естественно, что реализовать такую высокую мощность ДВС на всех режимах городского движения невозможно. Так возникла идея создать гибридный привод, где есть возможность запасать излишки энергии в аккумуляторной батарее. На остановках и при движении с небольшими скоростями мощность ДВС выше мощности движения, поэтому энергия запасается, а при разгоне автомобиля и пиках нагрузки аккумулятор разряжается. Мощность ДВС в такой схеме может быть значительно ниже мощности ДВС традиционного автомобиля такого же класса, ведь в разгоне гибрида будут участвовать еще и электродвигатель. Наиболее простым решением гибридной схемы является так называемая последовательная структура. Собственно принцип ее работы описан выше. ДВС здесь работает в режиме электростанции со средней мощностью движения автомобиля. Простота и эффективность работы ДВС в последовательной схеме несколько нивелируются низким кпд, что определяется постоянным преобразованием механической энергии в электрическую и обратно. Более передовым является сочетание достоинств последовательной структуры и простого механического привода – это так называемые параллельные структуры. Ведь если часть энергии передавать от ДВС непосредственно на колеса, то общий кпд привода существенно повысится. Предложенных схем гибрида существует достаточно много. Некоторые из них уже серийно используются, например в известном тойотовском Приусе.

В настоящей статье я предлагаю свое решение гибридной схемы (рис. 2), привожу аргументы в ее защиту и некоторые результаты математического моделирования. Для автомобиля массой 1300 кг схема содержит ДВС мощностью 45 л.с, две электрические машины и двухступенчатую коробку передач. Масса батареи конденсаторов составила 80 кг. Тип электрических машин здесь не имеет определяющего значения. Для получения более достоверных результатов моделирование проводилось при включенных потребителях электроэнергии, и это следует учитывать при анализе полученного расхода топлива.

Рассмотрим принцип работы схемы, разделив график движения автомобиля условно на четыре режима. При остановке автомобиля предусмотрено принудительное вращение коленчатого вала ДВС электрической машиной №1. Такой режим смоделирован для предотвращения масляного голодания ДВС. Одновременно это позволяет избежать неэффективного потребления топлива на холостом ходу, а значит, с точки зрения экологии, есть очевидное преимущество. Для большей эффективности в схеме разумно применять ДВС с функцией декомпрессии цилиндров, где момент сопротивления на прокручивание вала будет существенно ниже. При расчетах же моделировалось потребление мощно-

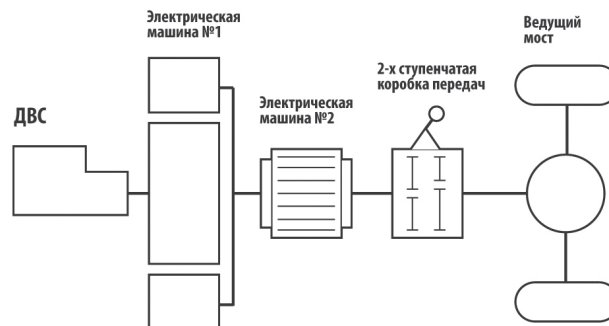


Рисунок 2. Принципиальная схема гибридной энергоустановки

сти на вращение вала ДВС традиционной конструкции. Разгон автомобиля до скорости 30 км/ч осуществляется электрической машиной №2. Скорость получена экспериментально для обеспечения так называемого «нулевого» баланса энергии в городском цикле. «Нулевой» баланс означает, что количество энергии, запасенное батареей на одних режимах движения, равно такому же количеству энергии, отданной на других режимах. Для соблюдения подобного баланса и необходимо в определенных режимах разряжать батарею, чтобы на других осталась возможность ее зарядить. Масса батареи конденсаторов для схемы составила 80 кг, максимальное напряжение 288 В, а рабочее от 70 до 270 В. Выбор конденсаторов вместо аккумуляторной батареи был обусловлен, в первую очередь, их высоким кпд заряда и разряда. Конечно, низкая энергоемкость конденсаторов заставляет увеличивать их массу до предельно допустимого значения и следить, чтобы они не разрядились при интенсивном энергопотреблении. Это, в свою очередь, заставляет на некоторых режимах переводить ДВС на более высокую мощность и в менее экономичную зону. Несмотря на этот недостаток, на мой взгляд, конденсаторы более перспективны в сравнении с дорогостоящими аккумуляторами, в том числе и из-за практически неограниченного срока службы.

Разогнав автомобиль до скорости 30 км/ч, система управления переводит ДВС в рабочий режим и задает его обороты на уровне 2500 об/мин. Выбор рабочих оборотов определен для конкретного ДВС с условием получения минимального удельного расхода топлива. В режиме интенсивного разгона момент ДВС задается максимальным и соответствует области минимального расхода топлива. Передача момента ДВС на ведущие колеса осуществляется за счет возбуждения электрической машины №1. Исходя из мощности выбранного ДВС, а именно 45 кВт, очевидно, что его момент недостаточен для разгона автомобиля, поэтому электрическая машина №2 компенсирует недостающий момент.

За счет того, что индуктор электрической машины №1 вращается с частотой вращения ДВС, а именно

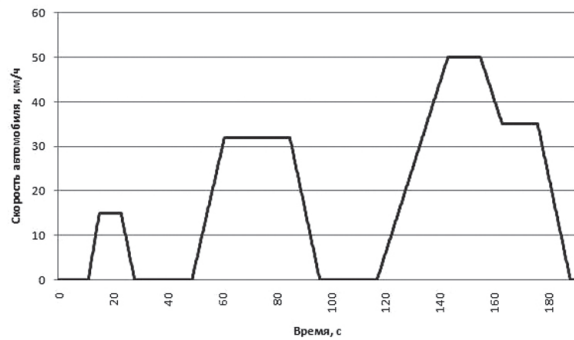


Рисунок 3а. Изменение скорости движения автомобиля в городском цикле

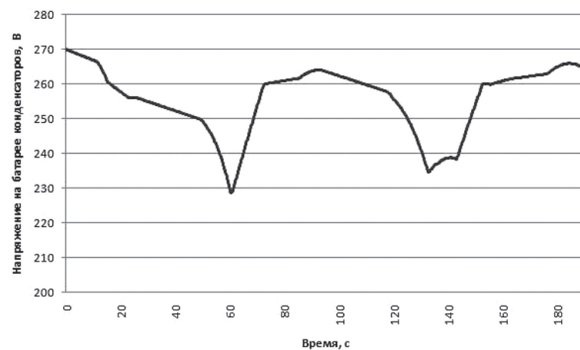


Рисунок 3б. Изменение напряжения батареи конденсаторов в городском цикле движения

2500 об/мин, а обороты якоря равны оборотам карданного вала и они ниже 2500 об/мин, реализуется выработка электроэнергии. При наборе автомобилем определенной скорости, обороты карданного вала достигнут 2500 об/мин, то есть и сравняются с оборотами ДВС. В этот момент выработка электроэнергии прекратится и начнется интенсивный разряд батареи конденсаторов. Для предотвращения разряда батареи и предусмотрена коробка передач. После включения второй (понижающей) передачи обороты вращения карданного вала, а значит и якоря, уменьшаются. Так как обороты якоря и индуктора различаются, электрическая машина №1 вновь начнет вырабатывать электроэнергию. При дальнейшем разгоне на второй передаче обороты якоря и индуктора вновь сравниваются и система управления блокирует их взаимное вращение с помощью электромагнитного момента как бы включая прямую передачу между ДВС и ведущим мостом. Увеличение выработки электроэнергии возможно и за счет перевода ДВС на обороты на большие, чем 2500 об/мин. Так, при скорости движения свыше 90 км/ч моя схема увеличивала обороты ДВС до 4000 об/мин. Это позволяло удерживать напряжение батареи конденсаторов в необходимом диапазоне, хотя ДВС работал с более высоким удельным расходом топлива. К сожалению, здесь сказался главный недостаток конденсаторов — низкая энергоемкость. Сле-

дует заметить, что для уточнения алгоритма управления схемой более целесообразно моделировать движение автомобиля не в стандартных циклах, как это было сделано, а в графике движения, приближенном к реальному. При этом логично задать, в том числе, зависимость мощности ДВС от степени разряда конденсаторов.

При достижении автомобилем равномерной скорости движения, момент, требуемый от энергосистемы, значительно снижается. Чтобы не дать рабочей точке переместиться в область неэкономичной работы ДВС, электрическая машина №2 переводится в режим генератора — дополнительно загружая ДВС и заряжая конденсаторы. Продолжительность такого режима ограничена емкостью конденсаторов и при их заряде система все же вынуждена снижать мощность ДВС. Движение автомобиля после этого обеспечивается только ДВС. Если при этом остается взаимное вращение якоря и индуктора (а это зависит от скорости движения), электрическая машина №1 продолжает обеспечивать потребители электроэнергией. Торможение автомобиля осуществляется, в том числе за счет перевода электрической машины №2 в режим генератора и отдачи энергии торможения в батарею.

Исследуемый алгоритм режима работы схемы содержит ряд неоспоримых преимуществ. Конструктивно схема достаточно проста и компактна. Условие работы ДВС в зоне минимального расхода топлива выполняется как на режимах разгона, так и частично в режиме равномерного движения. Компоненты системы рассчитаны таким образом, что батарея играет роль буфера энергии. Изменение напряжения батареи в стандартном городском цикле показано на рис. 3а. Из данных рис. 3б следует, что энергоемкость батареи современных конденсаторов вполне достаточна для обеспечения «нулевого» баланса энергии и безостановочного движения автомобиля. Моделирование движения автомобиля с включенными потребителями определило расход топлива 6.5 л/100 км, а в загородном 6.2 л/100 км. Как показали расчеты, добиться кардинального снижения расхода топлива по сравнению с расходом топлива обычного автомобиля не удалось. Тем не менее, он несколько ниже чем у автомобилей аналогичной массы. Очевидно, что при всех преимуществах схемы, низкий КПД преобразования энергии вносит свой отрицательный эффект. Можно предположить, что дальнейшее развитие гибридов, возможно, будет направлено на использование некоторых механических накопителей энергии и отказ от электрической цепи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров К.М. Моделирование автомобиля с комбинированной энергетической установкой на базе ГАЗ 2705 / Е.И. Сурин, К.М. Сидоров, М.В. Ютт // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2007. — № 4. — С. 14–16.