

УДК 621.313.333

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БЕНЗИНОВОГО АВТОМОБИЛЯ, КОНВЕРТИРОВАННОГО В ГИБРИДНЫЙ

А.В. Бажинов, проф., д.т.н., В.Я. Двадненко, доц., к.т.н.,
С.А. Сериков, доцент, д.т.н.,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Рассмотрен гибридный автомобиль с внешним подзарядом как результат конвертации обычного автомобиля. Приведены и проанализированы результаты, полученные в ходе ездовых испытаний такого гибридного автомобиля.

Ключевые слова: гибридный автомобиль с внешним подзарядом, конвертация автомобиля, гибридная силовая установка, электропривод, результаты испытаний.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕНЗИНОВОГО АВТОМОБІЛЯ, КОНВЕРТОВАНОГО В ГІБРИДНИЙ

А.В. Бажинов, проф., д.т.н., В.Я. Двадненко, доц., к.т.н.,
С.А. Серіков, доцент, д.т.н.,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розглянуто гібридний автомобіль із зовнішнім підзарядом як результат конвертації звичайного автомобіля. Наведено та проаналізовано результати, отримані в ході їздових випробувань такого гібридного автомобіля.

Ключові слова: гібридний автомобіль із зовнішнім підзарядом, конвертація автомобіля, гібридна силова установка, електропривід, результати випробувань.

EXPERIMENTAL STUDY OF GAS VEHICLE CONVERSION INTO A HYBRID VEHICLE

A. Bazhynov, Prof., D. Sc. (Eng.), V. Dvadnenko, Assoc. Prof., Cand. Sc. (Eng.),
S. Serikov, Assoc. Prof., D. Sc. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The hybrid vehicle with external plug-in as a result of gas vehicle conversion into a hybrid one is considered. The results obtained during the test drive of the hybrid vehicle in question are analyzed and presented.

Key words: plug-in hybrid electric vehicle, vehicle conversion, hybrid propulsion system, electric drive, test results.

Введение

Конвертация автомобиля – это доработка (переделка, преобразование) его с целью улучшения эксплуатационных характеристик. Конвертации может быть подвергнут единичный автомобиль или партия автомобилей в заводских условиях. Пример конвер-

тации – установка на автомобиль газобаллонного оборудования. Современный недорогой автомобиль имеет, как правило, двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и механическую коробку перемены передач (МКПП). Такой автомобиль нуждается в повышении экономичности, экологической безопасности и улучшении удобства управ-

ления. Однако традиционные пути повышения экономичности и экологической безопасности автомобиля, например, введение турбонаддува вместе с уменьшением рабочего объема двигателя, дают, как правило, незначительные улучшения и значительное повышение стоимости автомобиля. Кроме того, такие изменения конструкции готового автомобиля, как правило, не могут за счет экономии топлива окупить понесенные на них затраты. Улучшение удобства управления автомобилем при эксплуатации в городских условиях дает установка автоматической коробки передач, однако это заметно повышает стоимость автомобиля и, кроме того, может привести к повышению расхода топлива. Следовательно, для достижения поставленных целей, есть необходимость рассмотреть другие варианты конвертации.

Анализ публикаций

Хорошее соотношение цена/качество на вложенные в доработку простого автомобиля средства дает, как показано в работе [1], введение относительно недорогого электропривода с питанием от тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ), подзаряжаемой от электрической сети. Это является фактически конвертацией такого автомобиля в параллельный гибридный автомобиль с внешней подзарядкой (PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicle) [2]. Для такой конвертации в подзаряжаемый гибридный автомобиль в качестве базового имеет смысл взять недорогой автомобиль с МКПП, установить тяговый электродвигатель и обеспечить кинематическую связь его вала с вторичным валом МКПП [3]. При этом целесообразно организовать систему управления гибридного автомобиля так, чтобы сохранить возможность использования этого автомобиля и как обычного бензинового автомобиля. В этом случае можно будет использовать относительно маломощный и, следовательно, недорогой электропривод, а при необходимости преодолеть крутой подъем, рыхлый песок или снег (что требуется редко) можно воспользоваться режимом обычного автомобиля с ДВС и низкими передачами МКПП. Малая мощность электропривода позволит не только снизить стоимость, но и минимизировать суммарный вес дополнительного оборудования. В качестве ТАБ по совокупности параметров наиболее подходят литий-ионные аккумуляторы. Емкость ТАБ (количество энергии, за-

пасенной в ТАБ во время зарядки от сети), может быть оптимизирована и выбирается с учетом наиболее вероятного дневного пробега, который желательно проделать в гибридном режиме. При этом появляется возможность оптимизировать затраты на конвертацию с учетом режима эксплуатации конкретного автомобиля [3]. Для проведения испытаний такого автомобиля разработан программно-аппаратный информационно-измерительный комплекс исследования рабочих процессов гибридной силовой установки [4].

Цель и постановка задачи

Целью работы является проведение оценки эффективности использования гибридных технологий при конвертации автомобиля с ДВС в гибридный автомобиль с внешним подзарядом, опробование такого автомобиля на различных режимах движения, а также сравнение работы такого автомобиля в режиме с ДВС и в гибридном режиме; проведение измерений расхода бензина и расхода электроэнергии в л/100км и кВт·ч/100 км соответственно. Кроме того, целью работы является проведение сравнения полной стоимости километра пробега с учетом всех расходов испытываемого конвертированного автомобиля и базового автомобиля.

Особенности испытываемого автомобиля

На кафедре автомобильной электроники был разработан и собран подзаряжаемый гибридный автомобиль на основе автомобиля «Ланос-пикап». Тяговый вентильный электродвигатель-генератор выполнен на базе синхронной электрической машины (автомобильного генератора) Г290. С генератора был демонтирован выпрямитель и установлены датчики положения ротора. Питающее трехфазное переменное напряжение с самосинхронизацией по сигналам датчиков положения ротора для вентильного электродвигателя (ВЭД) вырабатывает электронный блок инвертора с силовыми ключами на MOSFET транзисторах. Номинальная мощность ВЭД – 10 кВт, максимальная – 15 кВт. Блок тяговой аккумуляторной батареи состоит из 20 литий-железо-фосфатных элементов WB-LYP90АНА, устройства балансировки и контроля, а также бортового зарядного устройства. Напряжение батареи – 65 В, запасаемая энергия – 5,85 кВт·ч. Система

управления обеспечивает простое и интуитивно понятное для водителя управление этим автомобилем. После включения зажигания, без запуска ДВС, при нейтральном положении рычага МКПП, нажатие на педаль акселератора приводит автомобиль в движение. Движение может быть вперед или назад, в зависимости от положения переключателя (тумблера) направления. При движении вперед происходит набор скорости на электроприводе до 40–45 км/ч. После достижения на нейтральной передаче скорости 35–45 км/ч водитель переходит на движение с ДВС. Для этого, точно так же, как и на обычном автомобиле на такой скорости, он выжимает педаль сцепления и включает четвертую передачу. При отпуске педали сцепления система управления гибридного автомобиля производит автоматический запуск ДВС и отключение ВЭД. Происходит это плавно и практически незаметно, так же, как и при обычном переключении передач на таком автомобиле. Подъезжая к месту остановки, водитель выключает передачу, переместив рычаг МКПП в нейтральное положение, при этом система управления обеспечит остановку ДВС. В зависимости от ситуации водитель может какое-то время двигаться на нейтральной передаче, затем, немного отведя педаль тормоза от упора, так, чтобы сработал концевой выключатель стоп-сигнала, но колодки еще не коснулись тормозных дисков (барабанов), плавно тормозит в режиме рекуперации. После этого, перед выбранным местом остановки, водителю потребуется нажать сильнее на педаль тормоза и окончательно остановить автомобиль. Поскольку после этого автомобиль стоит на нейтральной передаче с заглушенным ДВС, для последующего начала движения водителю требуется точно так же, как и на автомобиле с автоматом, перенести ногу с педали тормоза на педаль акселератора. Движение автомобиля начнется на электроприводе, аналогично тому, как было описано выше. При большом дневном пробеге и разряде тяговой аккумуляторной батареи можно будет пользоваться автомобилем в обычном режиме. В результате такой конвертации могут быть достигнуты существенное уменьшение стоимости километра пробега и значительное уменьшение вредных выбросов. Поскольку в гибридном режиме старт с места, набор скорости и движение со скоростью до 40 км/ч происходит на электроприводе, а ДВС не работает, достигается не только экономия бензина и

снижение вредных выбросов, но и повышается удобство управления автомобилем в городских условиях. Обусловлено это тем, что на электроприводе нужно пользоваться только педалью газа и тормоза, как и на автомобиле с автоматической коробкой передач. Следует отметить, что стоимость такого автомобиля после конвертации остается заметно меньшей стоимости серийно выпускаемых гибридных автомобилей с внешней подзарядкой (Plug in Hybrid), а расход углеводородного топлива, как будет показано ниже, становится значительно меньшим, чем в базовом бензиновом автомобиле.

Результаты испытаний конверсионного автомобиля

Для оценки эффективности конверсионного автомобиля были проведены ездовые испытания в городских условиях движения. Проезды в гибридном режиме и с использованием только ДВС проводились поочередно по одному и тому же маршруту протяженностью около 6 км по четыре раза – всего восемь проездов, что необходимо для обеспечения возможности сравнения результатов испытаний. Регистрация основных параметров, характеризующих функционирование ГСУ и её системы управления в процессе движения, осуществлялась при помощи разработанного бортового информационно-измерительного комплекса, подробно описанного в работе [4]. Проведение ездовых испытаний конвертированного автомобиля для одного из проездов в гибридном режиме иллюстрируют диаграммы, показанные на рис. 1. На диаграммах представлены временные зависимости для следующих параметров (перечень графиков сверху вниз): скорость автомобиля, управляющее воздействие ВЭД, управляющее воздействие ДВС, ток тягового электропривода, расчетный часовой расход топлива. По оси абсцисс время отложено в секундах. Из приведенных зависимостей видно, что при скоростях автомобиля, меньших 30–40 км/ч, движение осуществляется только за счет тягового электропривода. При этом его мощности вполне достаточно для поддержания тягово-скоростного режима в городских условиях, в том числе при высокой плотности транспортного потока и движении в пробках. На более высоких скоростях требуемый тягово-скоростной режим обеспечивается за счет ДВС преимущественно на четвертой передаче МКПП,

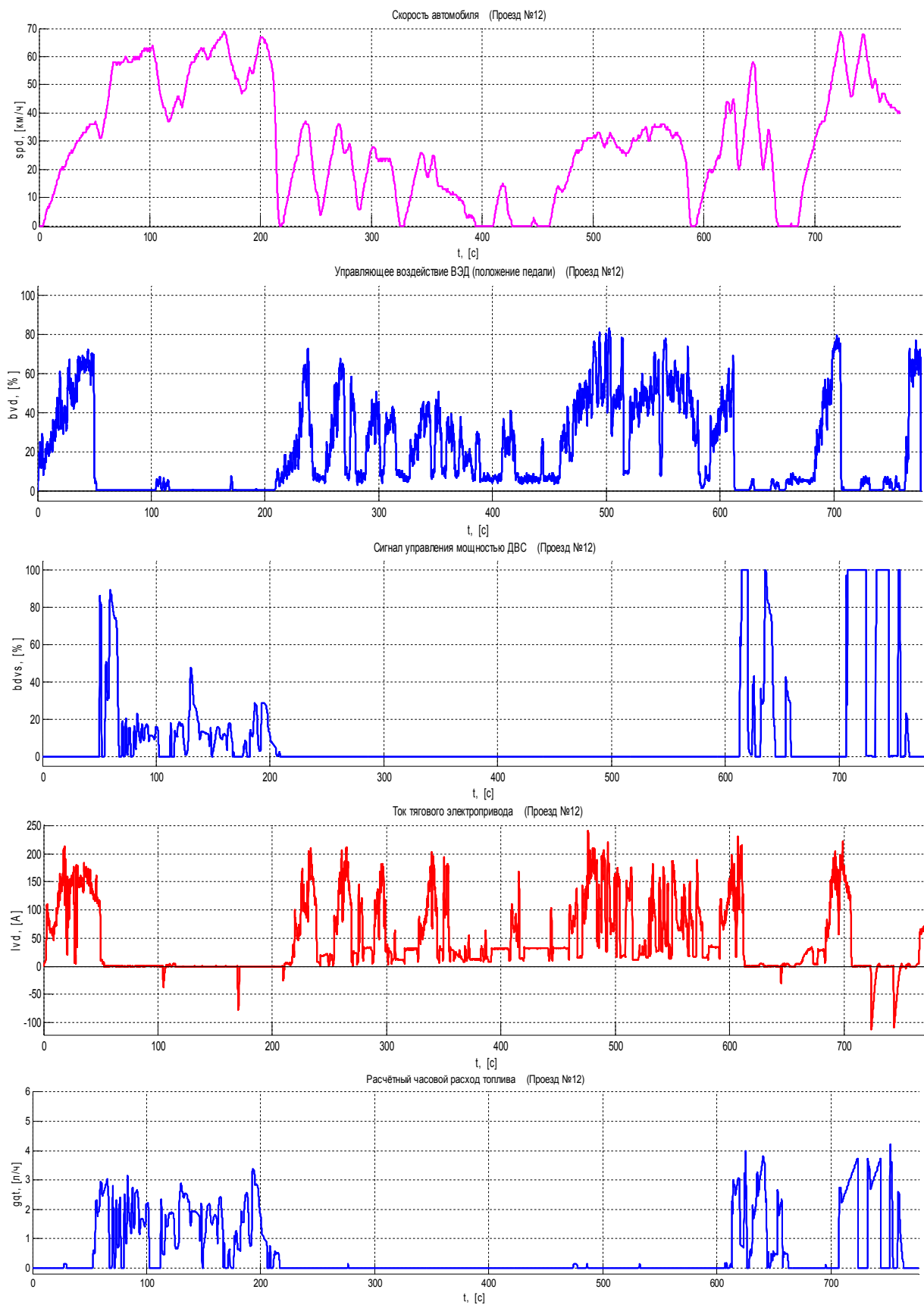


Рис. 1. Диаграммы испытательного проезда в гибридном режиме

что соответствует области вблизи минимального удельного расхода топлива. При этом переключение с электропривода на ДВС и обратно происходит плавно, субъективно для водителя и пассажиров такой переход сопоставим с переключениями передач МКПП на обычном автомобиле. Это можно проиллюстрировать по графику скорости точкой перехода с ВЭД на ДВС на 705-й секунде. Аналогичный переход на 55-й секунде выглядит несколько затянутым, однако в данном случае это обусловлено действиями водителя в транспортном потоке из-за сокращения расстояния до едущего впереди автомобиля.

Полученные в результате городских испытательных проездов данные, как для гибридного режима, так и для режима движения только на ДВС, были обработаны с целью определения расхода бензина и расхода электрической энергии, запасенной в тяговых аккумуляторах. При этом учитывалась также и подзарядка ТАБ в режиме рекуперационного торможения, который можно наблюдать на графике тока тягового электропривода в виде отрицательных значений тока (например, на 107-й, 165-й, 725-й и 745-й секундах). Для проездов в гибридном режиме определялся расход как бензина, так и электроэнергии, а для проездов на ДВС – только расход бензина. Усредненный для всех испытательных проездов расход бензина в гибридном режиме составил 3,78 л в пересчете на 100 км, а расход электроэнергии – 8,1 кВт·ч также в пересчете на 100 км. Средняя скорость в гибридном режиме была 22,5 км/ч. Для проездов в режиме движения только на ДВС средний расход бензина составил 12,41 л в пересчете на 100 км при средней скорости 23,3 км/ч. Следовательно, в результате конвертирования расход бензина при эксплуатации автомобиля в городе уменьшился в 3,28 раза. Это обусловлено тем, что вместо неэкономичных режимов ДВС используется движение на электроприводе. Дополнительным положительным эффектом является увеличение ресурса ДВС, т.к. он не работает на холостом ходу и при наборе скорости до 30–40 км/ч.

Городской режим движения, имевший место при проведении испытаний, характерен для центральной части крупного города в дневное время. В таком режиме с полностью заряженной ТАБ с запасенной энергией 5,85 кВт·ч можно проехать в гибридном ре-

жиме примерно 72 км до полного разряда ТАБ и перехода для дальнейшего движения на ДВС. Однако регулярно полностью разряжать ТАБ не рекомендуется, чтобы не уменьшить ее ресурс. Желательно разряжать ТАБ не более чем на 80 %, что гарантирует ресурс не менее 3000 циклов заряд-разряд (не менее 8 лет при ежедневной зарядке). При меньшей загрузке проезжей части и более высокой средней скорости пробег в гибридном режиме увеличивается. Сравнительно небольшая емкость ТАБ не только снижает стоимость конвертации, но и дает ряд других преимуществ. Прежде всего это дает возможность достаточно быстро подзаряжать ТАБ. Время заряда полностью разряженной ТАБ от розетки бытовой электрической сети, при соответствующей мощности зарядного устройства, может быть 1,5–2 часа, т.е. сравнимо со скоростью заряда обычного сотового телефона. Поскольку подзаряжать ТАБ можно при любой степени разряда, реально значительно увеличить пробег в гибридном режиме, если подключать ТАБ на подзарядку при любой возможности, если близко от места стоянки есть розетка электрической сети, например, при погрузке-разгрузке, во время обеденного перерыва и т.д.

Конверсионный гибридный автомобиль имеет возможность эксплуатации его и как электромобиля. Полностью заряженной ТАБ достаточно, чтобы конверсионный автомобиль «Ланос-пикап» в режиме электромобиля проехал не расходуя бензина примерно 35 км, но максимальная скорость в таком режиме будет около 40 км/ч. Такой режим будет полезен, например, когда надо заехать в помещение склада, магазина, цеха или даже просто в гараж, чтобы выйдя из машины не дышать выхлопными газами. Эта возможность повышает надежность автомобиля как транспортного средства, т.к. тяговым электроприводом можно воспользоваться, чтобы доехать до заправки, если кончился бензин, или, при необходимости, до станции техобслуживания, если есть проблемы с ДВС.

Энергия для электропривода в рассматриваемом конверсионном автомобиле в основном берется из сети. Следовательно, стоимость этой электроэнергии необходимо учитывать при подсчете стоимости километра пробега такого автомобиля в гибридном режиме. Для подсчета стоимости километра пробега примем стоимость бензина

15 грн за 1 л. Стоимость электроэнергии для зарядки ТАБ по существующим в Украине тарифам может быть от 0,146 до 1,275 грн за 1 кВт·ч. С учетом этих цен, 1 км пробега только на бензине будет стоить 1,86 грн, а 1 км пробега в гибридном режиме, при той же цене бензина, в зависимости от тарифа на электроэнергию, будет стоить от 0,59 до 0,67 грн. Можно сделать вывод, что описанное выше конвертирование автомобиля позволило снизить стоимость пробега одного километра в зависимости от тарифа на электроэнергию в 2,78–3,13 раза. Ориентировочно стоимость дополнительного оборудования для конвертирования – \$3000. За счет снижения стоимости эксплуатации такая сумма окупится ориентировочно через 30000 – 35000 км пробега. Если взять полный жизненный цикл автомобиля, то общие расходы на приобретение и эксплуатацию конверсионного автомобиля будут заметно меньше, чем аналогичные затраты на такой же автомобиль, но без конвертации.

Выводы

Экспериментальные исследования конверсионного гибридного автомобиля показали, что предложенные принципы конвертирования автомобиля с ДВС и МКПП в подзаряжаемый гибридный автомобиль, а также применение для такого автомобиля разработанных узлов и систем позволяет:

– повысить его экономичность и существенно снизить расходы на эксплуатацию;

– повысить экологическую безопасность;
– улучшить удобство управления;
– расширить область применения;
– повысить ресурс и надежность.

Литература

1. Бажинов А.В. Пути снижения стоимости подзаряжаемого гибридного автомобиля / А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, С.А. Сериков и др. // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. – 2012. – Вип. 134. – С. 52–55.
2. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, В.Я. Двадненко. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
3. Бажинов А.В. Электропривід для конверсійного гібридного автомобіля / А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, Хакім Мауш // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 30. – С. 7–12.
4. Сериков С.А. Программно-аппаратный комплекс исследования рабочих процессов гибридной силовой установки / С.А. Сериков, В.Я. Двадненко, А.В. Бажинов, А.Б. Богаевский // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2014. – Вып. 64. – С. 103–107.

Рецензент: О.П. Алексеев, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 ноября 2014 г.