

ВЫБОР КОНЦЕПЦИИ АВТОМОБИЛЯ С КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ РАСШИРЕННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

К.Т.Н. Баулина Е.Е., К.Т.Н. Круташов А.В., К.Т.Н. Серебряков В.В.
Московский политехнический университет, Москва, Россия
baulina@mami.ru, vvs@mami.ru

Статья посвящена вопросам совершенствования схем трансмиссий и передачи электрической энергии комбинированных энергетических установок (КЭУ) автомобилей. Идеология КЭУ заключается в рациональном выборе режима работы ДВС – эффективном использовании вырабатываемой им энергии, однако наличие на автомобиле КЭУ можно использовать еще и для расширения его функциональных возможностей. Авторы развивают и обосновывают идею расширения области применения автомобилей с комбинированными энергетическими установками (КЭУ), обеспечения их универсальности и расширения возможных назначений и областей использования, обусловленных спецификой дорожных и климатических условий России. Возможности выполнения поставленной цели авторы видят в применении на автомобилях комбинированной энергетической установки расширенных функциональных возможностей. В приводе ведущих колес автомобиля, оборудованного такой установкой, имеются две обратимые электромашины, каждая из которых индивидуально кинематически связана с одним из колес ведущей оси. Концепцию автомобиля с КЭУ расширенных функциональных возможностей, на схему которой выдан патент на изобретение, авторы предложили еще в предыдущих публикациях. Материал представленной статьи содержит варианты развития конструктивных схем исполнения комбинированных энергетических установок расширенных функциональных возможностей, которыми могут быть оборудованы автомобили с различными вариантами привода ведущих колес. Авторами предлагаются схемы установок, составы узлов и систем при использовании автомобилей, оборудованных ими, в различных дорожных условиях. Описываются алгоритмы работы КЭУ расширенных функциональных возможностей в различных дорожных и климатических условиях. Предлагаются варианты конструктивного исполнения основных узлов и агрегатов, входящих в состав КЭУ расширенных функциональных возможностей. В заключительной части статьи отмечается положительное влияние рекомендуемых вариантов исполнения КЭУ расширенных функциональных возможностей на эксплуатационные характеристики автомобилей, оборудованных такими установками.

Ключевые слова: комбинированная энергетическая установка, функциональные возможности, привод колес, дифференциальный механизм, несимметричная тяга, режим движения

Введение

Состояние производства ведущими мировыми производителями автомобилей с комбинированными энергетическими установками (КЭУ), складывающееся в последние годы, подтверждает обоснованность выводов и оценки перспектив развития, изложенных в статье «Расширение функциональных возможностей – необходимый шаг в развитии конструкции гибридных автомобилей» [1], как позиция кафедры «Автомобили» МГТУ «МАМИ». Более того, с течением времени технические предложения кафедры представляются даже более актуальными и позволяют сформулировать более конкретные предложения по примене-

нию подобных комбинированных энергетических установок на автомобилях [2].

Цель исследования

Целью исследования является выбор концепции автомобиля с комбинированной энергетической установкой расширенных функциональных возможностей.

Результаты исследования и их обсуждение

Основанием для актуализации предложений является технический потенциал, накопленный кафедрой в ходе выполнения НИР с 2005 г. по настоящее время. Многие идеи

по расширению функциональных возможностей КЭУ исследованы авторами статьи, в частности, при выполнении НИР «Разработка методов оценки энергетических и экологических свойств комбинированных энергоустановок на основе теории оптимального управления» [3]. Анализ и систематизация этих идей позволила авторам представить предложения по реализации их при проектировании автомобилей с КЭУ расширенных функциональных возможностей.

Целью предложений является формирование концепции, состава узлов и систем легкового автомобиля среднего класса с КЭУ, предназначенного для универсального использования – в характерных для города условиях движения с плотным транспортным потоком, на загородных и магистральных дорогах с усовершенствованным покрытием в условиях повышенных и высоких скоростей движения, на грунтовых дорогах умеренно размягченных и не разбитых глубокими колеями. Климатические условия использования автомобиля характеризуются наличием продолжительного зимнего периода, вероятностью периодической заснеженности дорог с участками «пятнистого» обледенения. Диапазон температур, влажности внешней среды и светового излучения – типовой для автомобилей общеклиматического исполнения.

Направленность концепции – расширение функциональных возможностей автомобиля: обеспечение повышенного уровня экологичности при движении в условиях городского цикла в сочетании с возможностями повышения курсовой устойчивости при движении на высоких скоростях, повышения проходимости в сложных дорожных и климатических условиях.

Предлагаемая концепция автомобиля с КЭУ расширенных функциональных возможностей предусматривает следующее.

Тип комбинированной энергетической установки – дифференциальный от ДВС с разделением потока мощности на привод колес и привод генератора, сочетающийся с дополнительным отдельным приводом задних колес от двух обратимых электрических машин (ОЭМ).

Состав комбинированной энергетической установки:

- двигатель внутреннего сгорания (ДВС), бензиновый или дизельный;
- дифференциальный планетарный механизм, ведущим звеном которого является

водило, солнечная шестерня кинематически связана с генератором установки, а коронная шестерня – с механическим приводом ведущих колес автомобиля (по крайней мере одной ведущей оси), имеющим главную передачу и межколесный дифференциал;

- две обратимые электрические машины, каждая из которых независимо кинематически связана с одним из колес определенной ведущей оси автомобиля;
- блок аккумуляторных батарей, тип батарей: литий-ионные, в частности, могут быть литий-железофосфатные, литий-полимерные или более мощные литий-титанатные или модифицированные нанотитанатные;
- преобразователь электрической энергии;
- узлы системы управления и контрольные приборы КЭУ.
- Привод колес.
 - вариант 1 – на заднюю ось, от ДВС в сочетании с управляемым индивидуальным приводом на каждое колесо задней оси от соответствующей ОЭМ (рис. 1);
 - вариант 2 – постоянный полный привод колес от ДВС в сочетании с управляемым индивидуальным приводом на каждое колесо задней оси от соответствующей ОЭМ (рис. 2);
 - вариант 3 – подключаемый привод передних колес от ДВС в сочетании с управляемой фрикционной муфтой (рис. 3).

Компоновочное положение агрегата «ДВС – дифференциальный механизм – генератор» – над осью передних колес, продольное.

Компоновочное положение двух ОЭМ привода задних колес – поперечное, с двух сторон от редуктора ведущего моста, в едином блоке, устанавливаемом на несущей системе автомобиля на упругих опорах и связанном с ведущими колесами шарнирными валами. Конструкция такого агрегата разработана сотрудниками МАМИ [2].

Технические особенности исполнения КЭУ могут быть следующими:

- в качестве аналога агрегата «ДВС – дифференциальный планетарный механизм – генератор» предлагается двухпоточная схема, например, автомобиля «Тойота Приус», однако из состава агрегата исключается вторая электрическая

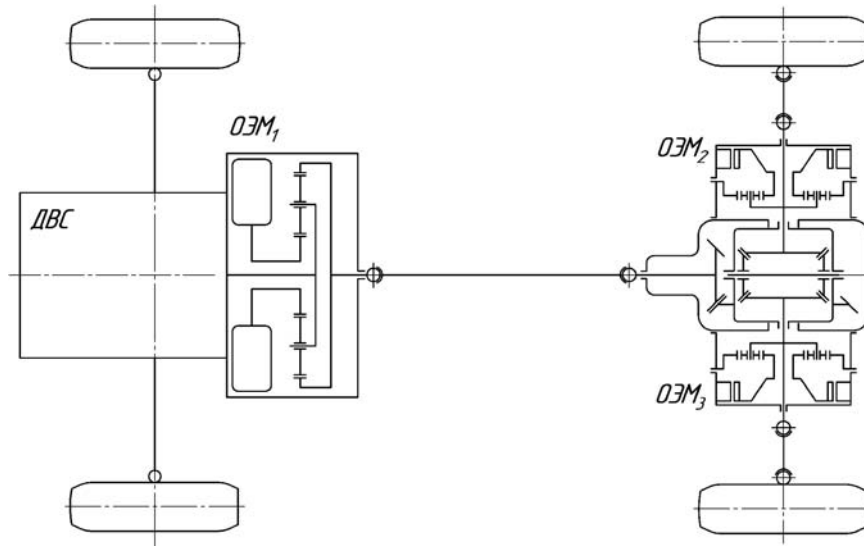


Рис. 1. Схема автомобиля с КЭУ при приводе на заднюю ось

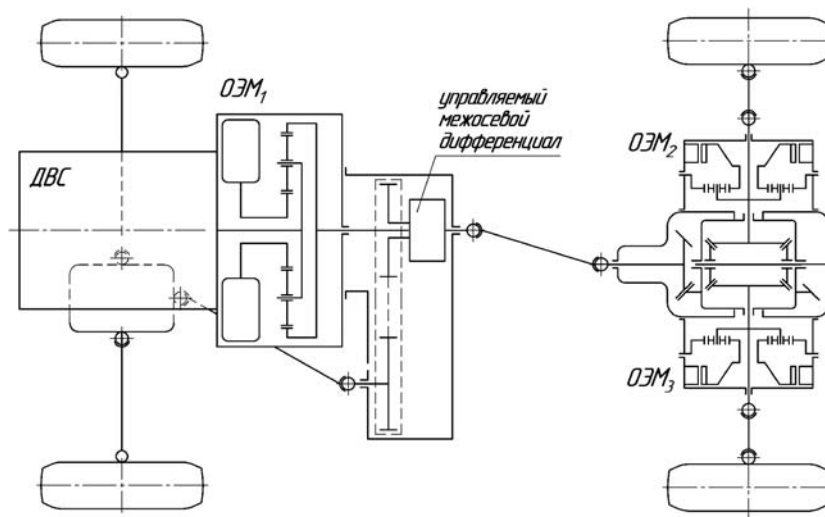


Рис. 2. Схема автомобиля с КЭУ с постоянным полным приводом

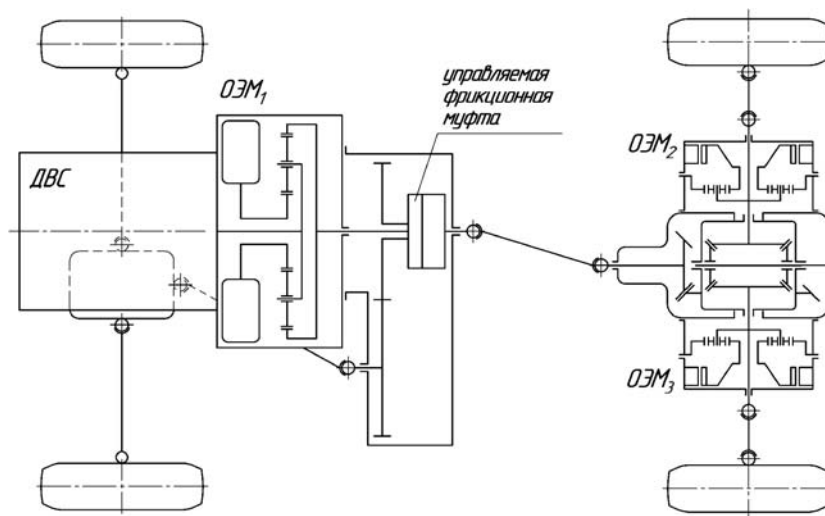


Рис. 3. Схема автомобиля с КЭУ с подключаемым посредством управляемой фрикционной муфты приводом передней оси

машина, взамен которой устанавливаются две ОЭМ в составе единого с редуктором заднего моста агрегата в соответствии с патентом РФ № 2473432 [4];

- должен быть проработан и обоснован выбор типа ОЭМ (по оборотности) из двух вариантов: малооборотные без редуктора – максимальные обороты $\approx 1500...1800 \text{ мин}^{-1}$, или с встроенным редуктором (планетарного типа) с максимальными оборотами на выходе редуктора $\approx 1500...1800 \text{ мин}^{-1}$;
- тип охлаждения ОЭМ – жидкостный (на основе использования объема масла редуктора ведущего моста и планетарных редукторов ОЭМ).

Основные технические характеристики и особенности исполнения автомобиля.

- Базовым для исполнения предлагается автомобиль среднего класса, преимущественно с кузовом универсал, с приводом на заднюю ось.
- Модификациями по типу кузова могут быть приняты автомобили «Пикап» и «Фургон».
- Модификация по типу привода – полный привод колес. Тип полного привода – дифференциальный или подключаемый посредством управляемой фрикционной муфты может быть уточнен в процессе эскизного проектирования.
- Масса снаряженного автомобиля (базового исполнения) с КЭУ – $\approx 2000...3000 \text{ кг}$.
- Характеристики генератора и ОЭМ могут быть установлены в ходе эскизного проектирования на основе моделирования типовых для автомобиля с КЭУ режимов движения.
- Максимальная скорость, динамические и топливно-экономические характеристики автомобиля уточняются в ходе эскизного проектирования с учетом выбора оптимальных режимов КЭУ.
- Передняя и задняя подвески – независимые.
- Тормозная система – 2-х контурная, при этом при служебном (не экстренном) торможении каждый контур сочетается с опережающим действием торможения посредством ОЭМ задней оси в режиме рекуперации.
- Рулевое управление – с электрическим усилителем.

- Система охлаждения ДВС – с автономным подогревателем охлаждающей жидкости (с целью поддержания необходимого теплового режима охлаждающей жидкости на любом режиме работы КЭУ).
- Система кондиционирования в автомобиле – на основе совмещения с системой охлаждения ДВС, привод насоса кондиционера – от электродвигателя.

Режимы движения, реализуемые КЭУ.

КЭУ обеспечивает известные режимы движения, свойственные традиционной дифференциальной схеме передачи энергии в КЭУ [5], при этом задачи второй электромашины выполняют две ОЭМ в приводе задней оси, которые позволяют расширить функции установки:

- трогание с места и спокойный разгон с невысокими ускорениями на тяге двух ОЭМ;
- интенсивный разгон. Тяга обеспечивается двумя потоками – одним механическим, от ДВС коронной шестерней дифференциального планетарного механизма к редуктору ведущего моста, и вторым – с использованием энергии генератора, приводимого солнечной шестерней планетарного механизма. Генератор, в свою очередь, питает две ОЭМ, передающие крутящий момент на соответствующие валы привода колес задней оси. При необходимости к питанию ОЭМ подключаются аккумуляторные батареи.

В зависимости от состояния опорных поверхностей под колесами автомобиля реализуется при необходимости несимметричная тяга в приводе задних колес:

- движение с установившейся скоростью. Тяга осуществляется двумя потоками, но без использования пиковых режимов ОЭМ и без подключения аккумуляторов. При необходимости реализуется несимметричная тяга в приводе задних колес для поддержания заданного курса;
- движение в «ползучем» режиме со скоростью 4...5 км/ч. Тяга обеспечивается двумя ОЭМ, при необходимости включается ДВС и осуществляется зарядка аккумуляторов от генератора.

Курсовая устойчивость автомобиля поддерживается созданием несимметричной тяги режимами работы ОЭМ в различных вариантах, а именно:

а) снижением тяги колеса соответствующей стороны автомобиля переводом ОЭМ в режим рекуперации;

б) увеличением тяги колеса соответствующей стороны автомобиля переводом ОЭМ в режим увеличения крутящего момента;

в) совместной коррекцией посредством ОЭМ двух сторон автомобиля – одной в режиме снижения тяги колеса, другой – в режиме увеличения тяги.

Обеспечение повышенной динамики движения и проходимости в условиях низкого сцепления колес с опорной поверхностью (при движении на загрязненных, заснеженных и обледенелых дорогах):

а) в ситуации начала буксования колеса задней оси система управления снижает тягу этого колеса переводом соответствующей ОЭМ в режим рекуперации;

б) в ситуации, когда снижение суммарной тяги нежелательно, или даже возникает необходимость увеличения тяги, что диктуется увеличением нажатия на педаль подачи топлива, осуществляется увеличение тяги на небуксующем колесе переводом соответствующей ОЭМ в режим увеличения крутящего момента.

Торможение автомобиля.

Управляемое умеренное замедление автомобиля, а также поддержание заданной скорости движения на уклоне-спуске дороги осуществляется переводом двух ОЭМ в режим генератора (рекуперации).

Торможение с малых и средних скоростей движения осуществляется тормозными механизмами колес совместно с ОЭМ в режиме рекуперации. (Возможность экстренного торможения с высоких скоростей совместным действием тормозных механизмов колес и ОЭМ в режиме рекуперации требует специального исследования.)

Дополнительные режимы зарядки аккумуляторных батарей.

При торможении автомобиля, при поддержании заданной скорости движения на уклоне-спуске дороги осуществляется переводом двух ОЭМ в приводе задних колес в режим рекуперации.

Заключение

Приведенные примеры позволяют сделать вывод о том, что применение на автомобилях КЭУ расширенных функциональных возмож-

ностей, может в значительной степени улучшить его эксплуатационные свойства, не ограничиваясь решением проблем экологичности при эксплуатации в мегаполисах, в то время как при движении на магистралях с высокими скоростями, при движении на грунтовых дорогах, эффект использования автомобиля с КЭУ уже не оправдывает его более высокой стоимости. Ситуация, однако, может быть изменена, если расширить функции автомобиля с КЭУ в направлениях как повышения курсовой устойчивости на магистралях, так и повышения проходимости при движении в сложных дорожных условиях. Значение этих направлений расширения функций особенно возрастает в связи с характерными для большинства регионов России климатическими условиями – продолжительным зимним периодом, заснеженными дорогами, порой с участками обледенения. Сочетание традиционного привода от ДВС с отдельным приводом колес от ОЭМ, запатентованное сотрудниками кафедры «Автомобили» [4, 6, 7], позволяет решить перечисленные задачи на более высоком техническом уровне, с большей энергетической эффективностью, чем известные решения ряда ведущих автомобильных производителей, основанные на использовании лишь механических устройств с электронным управлением. Настоящая статья может являться техническим предложением для создания автомобилей с КЭУ расширенных функциональных возможностей специалистам автомобильных предприятий.

Литература

1. Круташов А.В., Маликов О.В., Бахмутов С.В. Расширение функциональных возможностей – необходимый шаг в развитии конструкции гибридных автомобилей // Журнал автомобильных инженеров. 2012. № 6(77). С. 43–46.
2. Баулина Е.Е., Круташов А.В., Серебряков В.В. Перспективы развития комбинированных энергетических установок транспортных средств // Известия МГТУ «МАМИ». 2016. № 4(30). С. 2–14.
3. Отчет о прикладных научных исследованиях «Разработка методов оценки энергетических и экологических свойств комбинированных энергоустановок на основе теории оптимального управления», выполненных в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014 – 2020 годы», соглаше-

ние о предоставлении субсидии от 17.06.2014 г. № 14.574.21.0014.

4. Круташов А.В., Бахмутов С.В., Баулина Е.Е. Транспортное средство с комбинированной энергетической установкой расширенных функциональных возможностей: патент на изобретение № 2473432, Российская Федерация. Опубликовано 27.01.2013. Бюл. № 3.
5. Баулина Е.Е. Комбинированные энергетические установки транспортных средств: учебное пособие / Е.Е. Баулина, С.В. Бахмутов, А.В. Круташов, И.А. Куликов, В.В. Серебряков, А.И. Филонov. М.: Тракторы и сельхозмашины, 2014. 105 с.
6. Круташов А.В., Маликов О.В. Соединительное устройство для трансмиссии транспортного средства преимущественно с комбинированной энергетической установкой: патент на изобретение № 2500934, Российская Федерация. Опубликовано 10.12.2013. Бюл. № 34.
7. Круташов А.В., Серебряков В.В., Баулина Е.Е. Соединительно-трансформирующее устройство комбинированной энергетической установки транспортного средства: патент на изобретение № 2606652, Российская Федерация. Опубликовано 10.01.2017. Бюл. № 1.

References

1. Krutashov A.V., Malikov O.V., Bakhmutov S.V. Expansion of functionality is a necessary step in the development of hybrid automobiles. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*. 2012. No 6(77), pp. 43–46 (in Russ.).
2. Baulina E.E., Krutashov A.V., Serebryakov V.V. Prospects for the development of combined energy transmissions for vehicles. *Izvestiya MGTU «МAMI»*. 2016. No 4(30), pp. 2–14 (in Russ.).
3. *Otchet o prikladnykh nauchnykh issledovaniyakh «Razrabotka metodov otsenki energeticheskikh i ekologicheskikh svoystv kombinirovannykh energoustanovok na osnove teorii optimal'nogo upravleniya», vypolnennykh v ramkakh FTsP «Issledovaniya i razrabotki po prioritetyam napravleniyam razvitiya nauchno-tekhnologicheskogo kompleksa na 2014 – 2020 gody», soglasenie o prestavlenii subsidii ot*

17.06.2014 g. No 14.574.21.0014 [Report on applied scientific research “Development of Methods for Estimating the Energy and Environmental Properties of Combined Energy Transmission on the Basis of Optimal Control Theory”, implemented within the framework of the Federal Program “Research and Development in Priority Areas for the Development of the Scientific and Technological Complex for 2014-2020”, an agreement on granting subsidies of June 17, 2014 No. 14.574.21.0014].

4. Krutashov A.V., Bakhmutov S.V., Baulina E.E. *Transportnoe sredstvo s kombinirovannoy energeticheskoy ustanovkoy rasshirenykh funktsional'nykh vozmozhnostey* [Vehicle with a combined energy transmission of enhanced functionality]: patent na izobretenie No 2473432, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 27.01.2013. Byul. No 3.
5. Baulina E.E., Bakhmutov S.V., Krutashov A.V., Kulikov I.A., Serebryakov V.V., Filonov A.I. *Kombinirovannye energeticheskie ustanovki transportnykh sredstv. Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po spetsial'nosti «Nazemnye transportno-tekhnologicheskie sredstva»* [Combined energy transmissions of vehicles. Textbook for university students studying the specialty “Ground transport-technological equipment”]. Moscow: Traktory i sel'khoz mashiny Publ., 2014. 105 p.
6. Krutashov A.V., Malikov O.V. *Soedinitel'noe ustroystvo dlya transmissii transportnogo sredstva, preimushchestvenno, s kombinirovannoy energeticheskoy ustanovkoy* [Coupling device for a vehicle transmission, advantageously with a combined energy transmission]: patent na izobretenie No 2500934, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 10.12.2013. Byul. No 34.
7. Krutashov A.V., Serebryakov V.V., Baulina E.E. *Soedinitel'no-transformiruyushchee ustroystvo kombinirovannoy energeticheskoy ustanovki transportnogo sredstva* [Coupling-transforming device of the vehicle with combined energy transmission]: patent na izobretenie No 2606652, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 10.01.2017. Byul. No 1.

THE CHOICE OF THE CONCEPT OF AUTOMOBILE WITH COMBINED ENERGY TRANSMISSION OF EXPANDED FUNCTIONALITY

Ph.D. **E.E. Baulina**, Ph.D. **A.V. Krutashov**, Ph.D. **V.V. Serebryakov**
Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,
baulina@mami.ru, ws@mami.ru

The article is devoted to the issues of improving the transmission schemes and the transmission of electric power of combined energy transmissions (CET) of automobiles. Ideology of CET consists in the rational choice of the mode of operation of ICE - the efficient use of the energy it generates, but the presence of the CET on the vehicle can also be used to expand its functionality. The authors develop and justify the idea of expanding the scope of vehicles with combined energy transmission (CET), ensuring their universality and expanding the possible applications and areas of use, due to the specifics of the road and climate conditions in Russia. The authors see the possibility of accomplishing the goal in the application of a combined power transmissions of advanced functional capabilities on vehicles. In the drive of the driving wheels of vehicle equipped with such an installation, there are two reversible electric machines, each of which is individually kinematically connected to one of the wheels of the driving axle. The concept of the vehicle with the CET of extended functionality, on the scheme of which a patent for the invention was issued, the authors suggested in previous publications. The material of this article contains options for the development of design schemes for the execution of combined energy transmissions of enhanced functionality, which can be equipped with cars with different drive variants of the driving wheels. Authors offer schemes of assemblies, composition of units and systems when using vehicles equipped with them, under various road conditions. The algorithms for the operation of CET of extended functionality in various road and climate conditions are described. The variants of constructive execution of the main units and aggregates, which are part of the CET of the expanded functional capabilities, are proposed. In the final part of the article, the positive impact of the recommended options for the performance of the expanded CET on the performance characteristics of vehicles equipped with such facilities is noted.

Keywords: combined energy transmission, functional capabilities, wheel drive, differential mechanism, asymmetric power, driving mode