

УДК 631.37.027.3-567.519.87

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Климов Александр Владимирович, ст. преподаватель,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, klimmanen@mail.ru

Ухов Иван Владимирович, студент,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, ivan-uhov@mail.ru

Рябцев Фёдор Александрович, студент,

МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, ryabtsev.fedor@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные недостатки автомобильного двигателя внутреннего сгорания. Проанализированы причины снижения эффективности, связанные с повышенными потерями энергии на привод навесного оборудования. Выявлена и обоснована необходимость электрификации узлов и агрегатов двигателя. Авторами предложены некоторые пути повышения КПД силовых агрегатов автомобилей.

Ключевые слова: КПД, двигатель, потери, электрификация, эффективность.

SOME ASPECTS OF IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF POWER UNITS OF MODERN VEHICLES

Klimov Aleksandr V., senior lecturer,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, klimmanen@mail.ru

Ukhov Ivan V., student,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, ivan-uhov@mail.ru

Ryabtsev Fyodor A., student,

MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, ryabtsev.fedor@yandex.ru

Abstract. There are the main disadvantages of an automobile internal combustion engine in the article. The reasons for the decrease in efficiency associated with increased energy losses on the drive of hinged equipment are analyzed. Identified and justified the need for electrification of engine components and assemblies. The authors propose some ways to improve the efficiency of power units of cars.

Keywords: efficiency coefficient, internal combustion engine, losses, electrification, efficiency.

Введение

В настоящее время происходит ужесточение требований к снижению уровня выбросов вредных веществ от различных транспортных средств. Автомобили являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Новые экологические нормы также являются движущей силой развития транспортного и сельскохозяйственного машиностроения, что побуждает производителей на создание все более совершенных конструкций. Также владельцы предъявляют к конструкции транспортных средств (ТС) требования к снижению совокупной стоимости владения, а значит к оптимизации транспортных процессов и затрат. Фактор снижения запасов добываемых традиционных энергоресурсов и рост цен на них также влияет на увеличение потребности в повышении эффективности и оптимизации транспортных процессов путем сокращения затрат на их осуществление. Поэтому имеется потребность в создании систем и агрегатов, которые будут наиболее эффективно использовать энергетические ресурсы. На автомобилях энергия силового агрегата, получаемая при сгорании топлива помимо полезной работы, рассеивается в огромном количестве узлов и агрегатов в виде потерь.

О проблемах современных транспортных средств, оснащенных двигателями внутреннего сгорания

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является наиболее распространенным в автомобилестроении. Рабочим телом у ДВС является топливная смесь, которая при сгорании выделяет тепловую энергию. Двигатель преобразует эту энергию в механическую энергию движения автомобиля. ДВС имеет ряд преимуществ, среди которых автономность, относительно небольшая стоимость, работа с различными видами топлива, простота обслуживания и относительно высокая надежность. Несмотря на все достоинства, двигатели внутреннего сгорания обладают следующими основными недостатками: низкий коэффициент полезного действия (КПД

в среднем около 30%), высокая токсичность и шумность, использование невозобновляемых природных ресурсов (топлива).

Коэффициент полезного действия показывает эффективность двигателя, а именно насколько полезна энергия сгорания топливной смеси, как источника энергии, которая была использована для выполнения полезной работы за вычетом всех сопутствующих потерь.

В настоящее время все больше предъявляются требования к снижению вредного воздействия транспорта на окружающую среду и снижению совокупной стоимости владения транспортными средствами. Поскольку современные автомобили оснащаются двигателями внутреннего сгорания, которые как было сказано выше имеют весьма низкий КПД, применение такой техники приводит к нерациональному использованию энергоресурсов. Вследствие данного аспекта владельцы транспортных средств несут материальные затраты, компенсируя тем самым несовершенство их энергоустановок.

Согласно законам термодинамики, термический КПД двигателя ограничен. Идеальным считается тепловой двигатель, работающий по циклу Карно (рис. 1).

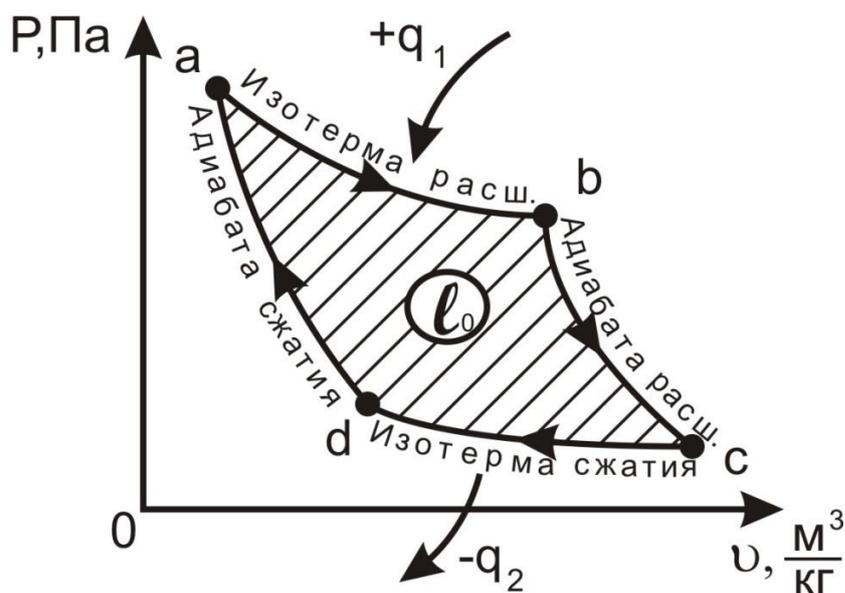


Рис. 1. Цикл идеального теплового двигателя (цикл Карно)

КПД такого двигателя ограничен лишь диапазоном температур холодильника и нагревателя. Теоретически возможный КПД такого двигателя может достигать максимально 66% [1]. Двигатели, устанавливаемые на автомобили и другие установки, имеют гораздо меньшую эффективность. Для бензиновых ДВС порядка 20-30%, для дизелей 29-42% в среднем [2].

Такая низкая эффективность работы связана с неизбежностью потерь из-за несовершенства рабочего процесса реального двигателя, так и с потерями на привод вспомогательных агрегатов, обеспечивающих как функционирование самого ДВС, так и других систем автомобиля [3].

Направления повышения эффективности двигателей внутреннего сгорания

Такие потери энергии, как потери в опорах валов двигателя, потери на трение в сочленениях, смазывание узлов, потери на функционирование газораспределительного механизма, потерь на отведение продуктов сгорания топливовоздушной смеси являются неизбежными [4]. Снижение этих потерь, является весьма трудоемким и затратным иногда невозможным. Повышение эффективности путем снижения потерь энергии на привод вспомогательных агрегатов является наиболее целесообразным.

Вышеуказанные потери энергии в ДВС можно разделить на:

- Потери, не связанные с охлаждением двигателя на привод вентилятора и циркуляционного жидкостного насоса, достигающие до 8 % от общих потерь. Привод вентилятора до 6 % на насос системы охлаждения [1].
- Потери, связанные с приводами механизмов, обеспечивающих процесс подведения смазывающего материала, а именно на привод масляного насоса (2%) [1].

– Потери, связанные с приводом агрегатов осуществляющих подвод в камеру сгорания топлива, а именно на привод топливного насоса (в среднем 2%) [1].

– Потери на привод агрегатов системы рулевого управления и тормозной системы (например, на привод компрессора, на привод насоса гидроусилителя рулевого управления) (2-5%) [1].

– Потери, связанные с приводом агрегатов, осуществляющих выработку электрической энергии, для питания бортового электрооборудования, (например, на привод генератора по разным оценкам приходится до 2%) [1].

– Потери энергии на привод агрегатов системы обеспечения микроклимата в обитаемых объемах автомобилей (потери мощности на кондиционер в среднем 1-3%) [1].

Процентное распределение потерь на привод навесного оборудования приведено на рисунке 2.

Потери мощности ДВС



Рис.2. Распределение потерь

Таким образом, повышения КПД можно добиваться комплексным подходом, снижая потери энергии на привод вспомогательных агрегатов. Это возможно, например, путем применения электрического привода данного навесного оборудования. Данный подход оправдан ввиду более высокой эффективности электрических машин, используемых в данных приводах.

Некоторые пути повышения КПД силовых агрегатов грузовых автомобилей

Поскольку грузовые автомобили используются большей частью в коммерческих целях, то для их владельцев вопросы повышения эффективности и снижения совокупных затрат на эксплуатацию подвижного состава являются актуальной проблемой. В нашей стране имеется большой парк грузовых автомобилей КАМАЗ используемых для выполнения различных задач как в коммунальном хозяйстве, так и в качестве транспортных машин при перевозке всевозможных грузов. Поэтому весьма актуально рассмотреть пути повышения КПД на примере двигателя КАМАЗ серии 740, устанавливаемого на этих автомобилях. Данный двигатель имеет много различных модификаций, но все они мало различны и имеют унифицированные агрегаты (рис.3).



Рис.3. Двигатель КАМАЗ Евро-2 семейства 740

Гидравлический насос системы охлаждения, один из агрегатов навесного оборудования, который приводится с помощью ременной передачи от коленчатого вала. Данный агрегат играет огромную роль в охлаждении двигателя. В настоящее время выяснено, что на привод гидравлического насоса может затрачиваться до 8-10% мощности [1]. Если привод заменить на электрический, то можно будет сэкономить до 8-10% мощности, а также осуществлять адаптивное управление циркуляцией теплоносителя, повышая при работе в теплонагруженных случаях или, наоборот, снижая в менее теплонагруженных.

Еще одним агрегатом, обеспечивающим жизнедеятельность современного автомобиля КАМАЗ, является генератор, приводимый в действие от коленчатого вала. На привод генератора затрачивается до 10% полезной мощности. Данные потери также могут возрастать ввиду увеличения используемого на автомобиле электрооборудования (подогревателей, отопителей, мультимедийных систем и систем помощи водителю). Традиционный генератор можно заменить на такой агрегат как стартер-генератор. Он устанавливается, например, между ДВС и коробкой передач (КП). Благодаря данной системе в автомобиле может быть реализованы такие функции, как «старт-стоп», которая позволяет экономить топливо при остановках и частых пусках, что наиболее актуально для городских условий эксплуатации. Также при наличии накопителя энергии в некоторых случаях при соответствующей мощности мотор-генератора возможно движение на электрической тяге или совместная работа силовых установок в переходных режимах [5].

На двигателе КАМАЗ для обеспечения циркуляции жидкости используется насос, который осуществляет циркуляцию гидравлической жидкости и позволяет облегчить управление автомобилем при маневрировании. На привод данного насоса тратится до 4-5% полезной мощности двигателя [1]. Если ГУР заменить на электрический усилитель

рулевого управления (ЭУР), то получится сэкономить до 4-5% мощности. Стоит отметить, что на легковых автомобилях данные агрегаты уже весьма часто используются. Однако для грузовых автомобилей современная промышленность еще не освоила выпуск таких агрегатов, ввиду технических и экономических проблем, однако в настоящее время созданы гидроэлектрические усилители рулевого управления (ГЭУР), например, Serotwin компании BOSCH.

Воздушный компрессор также является неотъемлемой частью грузового автомобиля, оснащенного рассматриваемым двигателем КАМАЗ. Воздушный компрессор крепится непосредственно на двигателе и приводится в движение посредством зубчатой передачи. Было выяснено, что воздушный компрессор отнимает до 3-4% мощности двигателя [1]. Если механический воздушный компрессор заменить на аналогичный электрический, то получится сэкономить до 3-4% мощности. Стоит сказать, что в настоящее время имеется широкий ряд компрессорных агрегатов с электроприводом, рекомендованных для применения на транспорте [6].

Как сказано выше, грузовые автомобили широко используются в качестве шасси для коммунальных автомобилей. Данные автомобили, например, оснащаются специализированными надстройками для уборки и вывоза мусора, на привод которых расходуется до 30-50 кВт мощности, что составляет до 15-25% от полезной мощности [7]. В классических автомобилях, оснащенных ДВС, привод таковых надстроек осуществляется от коробок отбора мощности (КОМ), установленных на коробках передач (КП) или раздаточных коробках (РК). Известны соответствующие электроприводы для всевозможных коммунальных надстроек, которые позволяют снизить расход традиционного топлива на те же 15-25%.

Если последовать всем вышеперечисленным рекомендациям, то теоретически можно сэкономить до 40 - 45% полезной энергии.

Анализируя движение [8] грузового автомобиля КАМАЗ 53605, полной массой 18,5 тонн в исполнении мусоровоз с надстройкой КО-449-05 (рис.4), согласно испытательному циклу движения N2 ГОСТ Р ЕН 1986-1-2011 (рис. 5), характерного для автомобилей данного класса [9] при суточном пробеге в 250 км для 2 вариантов исполнения силового агрегата, получаем теоретическую экономию традиционного топлива, приведенную в таблице 1.

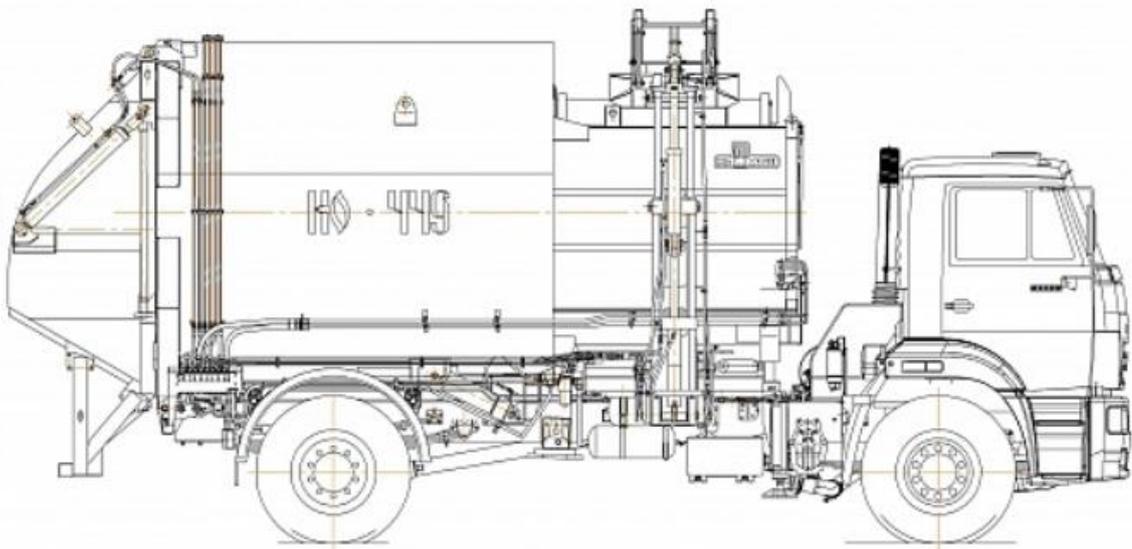


Рис.4. Исследуемый автомобиль

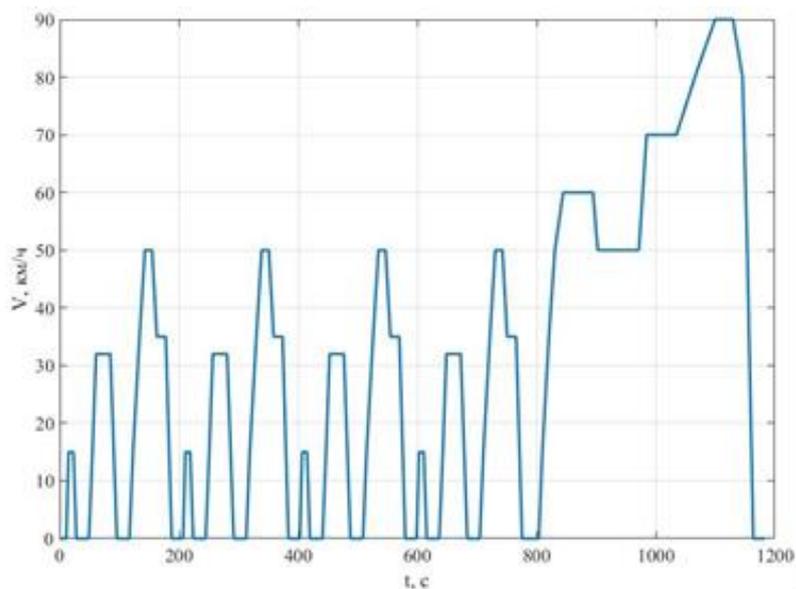


Рис.5. Цикл движения

Таблица 1

Анализ расхода топлива для вариантов исполнения силового агрегата

Исполнение	Теоретический расход топлива, л
Классическое	92
Электропривод навесного оборудования	67

В данном случае применение электропривода позволяет получить экономию в 25 литров топлива или 11352 руб. Что при коэффициенте выпуска автомобиля 0,95 в год составит 3 936 300 руб. на одну единицу подвижного состава.

Выводы

Ввиду несовершенства силовых агрегатов, устанавливаемых на современные грузовые автомобили, повышение их эффективности путем электрификации приводов навесного вспомогательного оборудования является перспективным, как показано в статье. Теоретическая экономия топлива для автомобилей, используемых как мусоровозы может составить до 25 литров топлива и до 4 миллионов рублей в год для одного транспортного средства. Если учесть тот факт, что эксплуатирующие такие автомобили организации имеют несколько десятков таких автомобилей, то реальная экономия денежных средств может быть существенной. Также электрические приводы агрегатов являются более надежными, что также снижает затраты на их обслуживание и ремонт. Следует также отметить, что еще большей эффективности и экономии можно достичь путем использования шасси с чисто электрическим тяговым приводом [5, 10]. Замена ДВС на тяговый электродвигатель (ТЭД) может позволить достичь максимального КПД силового агрегата до 97% и среднего КПД движения в эксплуатации не менее 70%. Однако не всю коммерческую технику

возможно и целесообразно переводить на электрический привод, ввиду особенностей ее эксплуатации. Электрификация вспомогательного навесного оборудования ДВС или переход на тяговый электрический привод приводит к необходимости размещения на борту транспортного средства электрохимического накопителя энергии с достаточно высоким запасом энергии, а также все еще пока недостаточных технических характеристик. Этот аспект приводит к существенному удорожанию автомобиля ввиду высокой удельной стоимости таковых накопителей энергии. Именно эти факты сдерживают распространение транспортных средств с гибридным или, тем более, электрическим приводом. Стоит отметить, что технологии электрохимических накопителей развиваются весьма быстро, и прогнозируется выход на рынок аккумуляторов с удельной энергоемкостью до 500 Втч/кг, стоимостью менее 100 долларов США за 1 кВтч энергии. На период до 2025 г. рассмотренные в статье вопросы будут актуальны.

Список литературы

1. Daw, C Stuart, Graves, Ronald L, Caton, Jerald A, and Wagner, Robert M. Summary Report on the Transportation Combustion Engine Efficiency Colloquium Held at USCAR, March 3 and 4, 2010. United States: N. p., 2010.
2. Heywood J.B. *Internal Combustion Engines Fundamentals*
3. Ефимов, Г.П. Погрузчики: Справочник / Г.П. Ефимов, Е.А. Алепин, М.А.Зискин, Я.Г. Коковский, И.И. Мачульский; под ред. Г.П. Ефимова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.; Транспорт, 1989 г. - 240 с.
4. Литвинов, А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин - М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
5. Климов, А.В. Применение техники с комбинированными энергоустановками (КЭУ) в коммунальном хозяйстве / А.В. Климов, В.В. Кондрашкин // Труды НАМИ. 2014. №257. – С.76-82.
6. Климов, А.В. Моделирование систем поддрессирования транспортного средства на основе амортизаторов с рекуперативным эффектом / Климов А.В., Карелина М.Ю. // Вестник Федерального Государственного Образовательного Учреждения Высшего Проффессионального Образования "Московский

Государственный Агроинженерный Университет Имени В.П. Горячкина" – 2019. - № 2(90) – С. 8-14.

7. Доценко, А. И. Коммунальные машины и оборудование: учебник для ВУЗов / А. И. Доценко - М., 2005. - 344 с.

8. Маликов, Р.Р. Математическая модель автомобиля с расширителем пробега / Р.Р. Маликов, А.В. Климов, Р.Ш. Биксалеев // Проблемы механики современных машин. Материалы VII Международной конференции. Том 2. – 2018. – с.152-156.

9. Котиев, Г.О. Математическая модель движения вездеходного транспортного средства [Текст] / Г.О. Котиев, В.А. Горелов, А.А. Бекетов // Журнал автомобильных инженеров. 2008. – №1(48). – С.50-54.

10. ГОСТ Р ЕН 1986-1-2011 Автомобили с электрической тягой. Измерение энергетических характеристик. Часть 1. Электромобили– М.: Стандартиформ, 2012. – 40 с.

References

1. Daw, C Stuart, Graves, Ronald L, Caton, Jerald A, and Wagner, Robert M. Summary Report on the Transportation Combustion Engine Efficiency Colloquium Held at USCAR, March 3 and 4, 2010. United States: N. p., 2010.
2. Heywood J.B. Internal Combustion Engines Fundamentals
3. Efimov G.P., Alepin E.A., Ziskin M.A., Kokovskij Ya.G., Machul'skij I.I. *Pogruzchiki: Spravochnik* (Loaders: Reference book), Moscow, Transport, 1989, 240 p.
4. Litvinov A.S., Farobin Ya.E. *Avtomobil': Teoriya ehkspluatacionnykh svojstv* (Automobile: Theory of operational properties), Moscow, Mashinostroenie, 1989, 240 p.
5. Klimov A.V. Kondrashkin V.V. *Trudy NAMI*, 2014, no. 257, pp.76-82.
6. Klimov A.V., Karelina M.Yu. *Vestnik Federal'nogo Gosudarstvennogo Obrazovatel'nogo Uchrezhdeniya Vysshego Professional'nogo Obrazovaniya; «Moskovskij Gosudarstvennyj Agrozhenernyj Universitet Imeni V.P. Goryachkina»*; 2019, no. 2(90), pp. 8-14.
7. Docenko A. I. *Kommunal'nye mashiny i oborudovanie* (Communal machines and equipment), Moscow, 2005, 344 p.
8. Malikov R.R. Klimov A.V., Biksaleev R.Sh. *Materialy VII Mezhdunarodnoj konferencii «Problemy mekhaniki sovremennykh mashin»*, Tom 2, 2018, pp. 152-156.
9. Kotiev G.O., Gorelov V.A., Beketov A.A. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*, 2008, no. 1(48), pp. 50-54.
10. *Avtomobili s ehlektricheskoy tyagoy. Izmerenie ehnergeticheskikh kharakteristik. Chast' 1. Ehlektromobil, GOST R EN 1986-1-2011* (Cars with electric traction. Measurement of energy characteristics. Part 1. Electric cars, GOST R EN 1986-1-2011), Moscow, Standartinform, 2012, 40 p.

Рецензент: Б.К. Оспанбеков, канд. техн. наук, доц., МАДИ.