

УДК 621.34

А. В. Егоров, В. Н. Сергеев, К. Н. Сергеев

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Рассмотрены вопросы создания и исследования топливных элементов и гибридных энергетических установок, а также использования альтернативных видов топлив (водород, метанол, этанол, диметиловый эфир и др.). Сформулированы основные положения и приведены результаты вычислительного эксперимента автоматизации процессов наполнения энергоаккумулятора и процесса рекуперирования энергии торможения на примере автомобиля КамАЗ-5460 с полной загрузкой.

Введение. Согласно пункту 6 научно-техническое и кадровое обеспечение автомобильной промышленности **Концепции развития автомобильной промышленности России** [1], одобренной распоряжением правительства Российской Федерации №978-Р от 16 июля 2002 года, приоритетными направлениями проведения научных исследований на среднесрочную перспективу являются:

- создание и исследование топливных элементов и гибридных энергетических установок;
- исследование использования альтернативных видов топлив – водород, метанол, этанол, диметиловый эфир и другие биотоплива.

Под гибридными энергетическими установками понимаются установки транспортных средств, включающих, как правило, в свой состав двигатель внутреннего сгорания (ДВС), дифференциальный механизм, электрический двигатель, электрический генератор большой мощности, аккумулятор электрической энергии высокой емкости.

Наибольшего прогресса в создании и освоении производства автотранспортных средств с гибридными силовыми установками (ГСУ) к настоящему времени добились фирма Тойота и ее подразделение автомобилей представительского класса Лексус.

Типовая схема ГСУ легкового автомобиля Тойота Приус (ДВС рабочим объемом 1498 см³ и мощностью 58 л.с. при 4000 об/мин и тяговый электродвигатель переменного тока мощностью 30 кВт при 940–2000 об/мин) представлена на рис.1 [2].

Отличительной особенностью Тойота Приус является сниженный эксплуатационный расход топлива 3,6 л/100 км, что более чем в два раза меньше, чем расход топлива аналогичного автомобиля, оснащенного традиционным ДВС мощностью, равной мощности гибридной силовой установки.

Однако такая ГСУ обладает значительными недостатками, а именно:

- ДВС работает только в режиме двигателя, хотя любая поршневая машина может работать в режиме и двигателя, и генератора (компрессора);
- имеет в своем составе электрические составляющие: тяговый электродвигатель, электрический генератор, аккумулятор высокой емкости, что значительно увеличивает массогабаритные показатели ГСУ;
- аккумулятор требует периодической замены в процессе эксплуатации, так как использует для своей работы специальные рабочие тела.

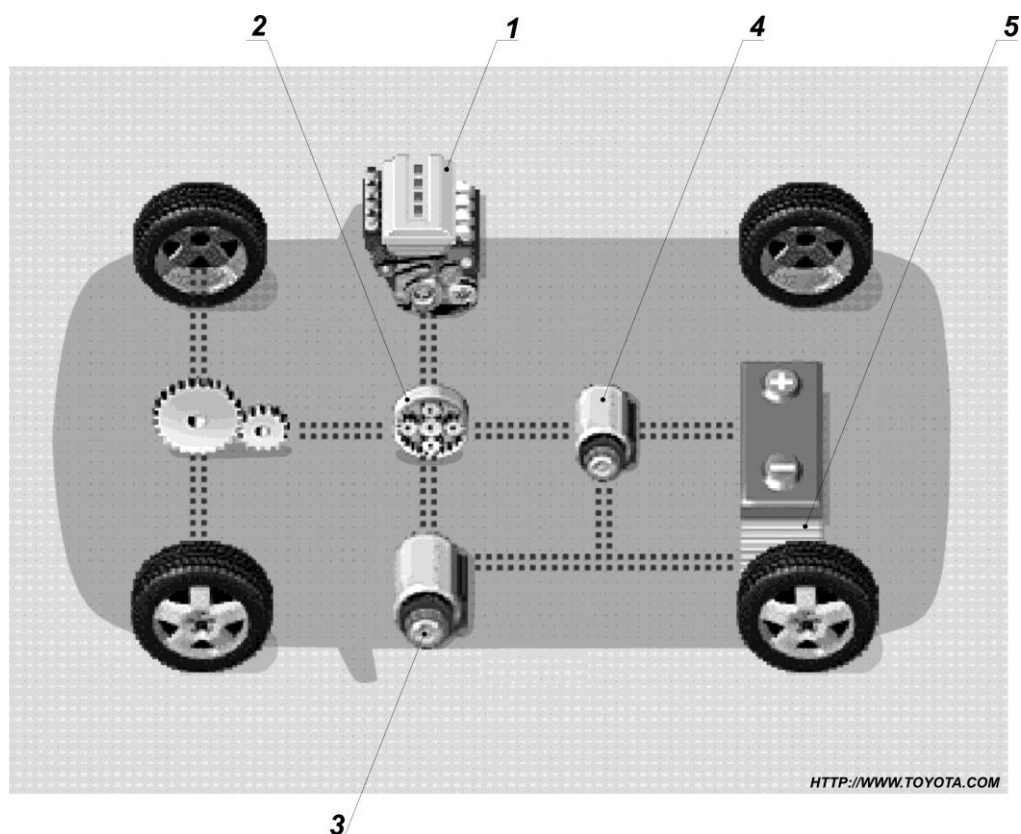


Рис.1. Схема гибридной силовой установки: 1 – двигатель внутреннего сгорания, 2 – дифференциальный механизм, 3 – тяговый электродвигатель, 4 – электрический генератор, 5 – аккумуляторная батарея высокой емкости

Целью работы является создание силовой установки с удельными эксплуатационными параметрами на уровне традиционной ГСУ, но свободной от вышеназванных недостатков.

Основными **решаемыми задачами** являются:

- разработка силовой установки, в которой поршневая машина работает и в режиме ДВС, и в режиме компрессора;
- использование в качестве рабочего тела аккумулятора – атмосферного воздуха.

В результате решения поставленных задач было предложено техническое решение силовой установки (рис.2).

Работает силовая установка транспортного средства следующим образом:

Рабочий режим: клапан впускного канала 12 и клапан выпускного канала 13 открыты, клапан выпускного канала резервуара 14 закрыт, клапан впускного канала резервуара 15 закрыт. Вращение коленчатого вала 4 передается на агрегаты трансмиссии 3, ведущий мост 2 и ведущие колеса 1.

Воздух по впускному каналу 10 через клапан впускного канала 12 и впускной клапан 8 подается в надпоршневое пространство, где при движении поршня 7 от верхней мертвой точки (ВМТ) к нижней мертвой точке (НМТ) впускной клапан 8 открыт, а выпускной клапан 9 закрыт и осуществляется всасывание воздуха или топливовоздушной смеси. При движении поршня 7 от НМТ к ВМТ впускной клапан 8 закрывается и осуществляется сжатие с окончательным смесеобразованием, при нахождении поршня 7 вблизи ВМТ происходит воспламенение рабочей смеси, при движении поршня 7 от ВМТ к НМТ происходит расширение продуктов сгорания топлива, при движении

поршня 7 от НМТ к ВМТ открывается выпускной клапан 9 и продукты сгорания удаляются в атмосферу через выпускной канал 11 и клапан выпускного канала 13. При возвратно-поступательных движениях поршня 7 на агрегаты трансмиссии 3 через поршневой палец 6, шатун 5, коленчатый вал 4 передается крутящий момент.

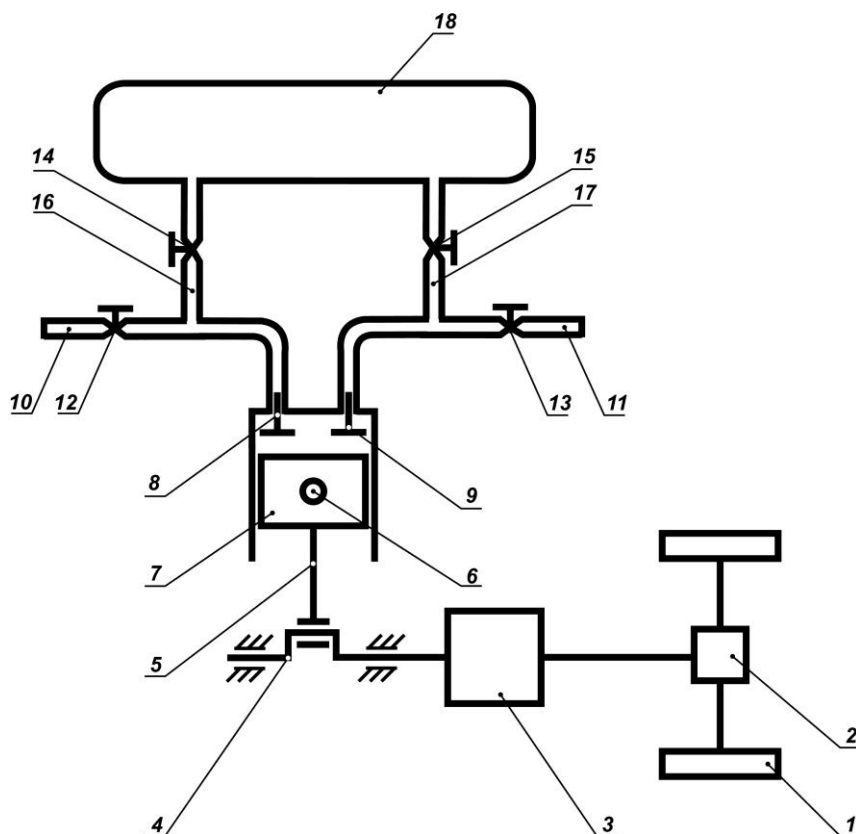


Рис.2. Силовая установка транспортного средства: 1 – ведущие колеса, 2 – ведущий мост, 3 – коробка передач, 4 – коленчатый вал, 5 – шатун, 6 – поршневой палец, 7 – поршень, 8 и 9 – впускной и выпускной клапаны, 10 и 11 – впускной и выпускной каналы, 12 – клапан впускного канала, 13 – клапан выпускного канала, 14 – клапан выпускного канала резервуара, 15 – клапан впускного канала резервуара, 16 – выпускной канал резервуара, 17 – впускной канал резервуара, 18 – резервуар

После того, как с помощью агрегатов трансмиссии 3 коленчатый вал 4 связывается механически с ведущим мостом 2, энергетическая установка вырабатывает механическую энергию, которая передается на ведущие колеса.

Режим торможения: клапан впускного канала 12 открыт, клапан выпускного канала 13 закрыт, клапан выпускного канала резервуара 14 и клапан впускного канала резервуара 15 закрыты, крутящий момент с ведущих колес 1 через ведущий мост 2, агрегаты трансмиссии 3 подводится к коленчатому валу 4 и посредством шатуна 5, поршневого пальца 6 передается поршню 7, который осуществляет сжатие воздуха, поступающего в надпоршневое пространство. При движении поршня от ВМТ к НМТ впускной клапан 8 открыт и воздух по впускному каналу 10 поступает в надпоршневое пространство. Когда поршень находится вблизи НМТ, впускной клапан 8 закрывается, поршень 7 проходит некоторое расстояние по направлению к ВМТ, открываются выпускной клапан 9 и клапан впускного канала резервуара 15 и происходит выталкивание сжатого воздуха в резервуар 18 через впускной канал резервуара 17. После того, как

поршень 7 достигает ВМТ, выпускной клапан 9 и клапан впускного канала резервуара 15 закрываются. Далее процессы всасывания, сжатия и выталкивания повторяются до тех пор, пока транспортное средство полностью не остановится.

Режим ускорения с использованием энергии сжатого воздуха и топлива: после того, как с помощью агрегатов трансмиссии 3 коленчатый вал 4 связывается механически с ведущим мостом 2, клапан впускного канала 12 закрывается, а клапан выпускного канала 13 открывается. Затем воздух из резервуара 18 через выпускной канал резервуара 16, клапан выпускного канала резервуара 14 и впускной клапан 8 попадает в надпоршневое пространство при движении поршня от ВМТ к НМТ. При нахождении поршня 7 в районе НМТ впускной клапан 8 закрывается. При движении поршня от НМТ к ВМТ осуществляется окончательное смесеобразование. Когда поршень 7 находится в районе ВМТ, происходит воспламенение смеси, затем поршень 7 движется к НМТ. Когда поршень 7 достигает НМТ, открывается выпускной клапан 9 и продукты сгорания топлива удаляются из надпоршневого пространства через выпускной канал 11 в атмосферу.

Далее процессы наполнения надпоршневого пространства, сжатия, сгорания, расширения и выпуска повторяются до тех пор, пока давление в резервуаре 18 превышает атмосферное.

После того, как давление в резервуаре 18 упало ниже атмосферного, клапан выпускного канала резервуара 14 закрывается, а клапан впускного канала 12 открывается, и энергетическая установка работает по **рабочему режиму**.

Режим ускорения с использованием энергии сжатого воздуха: после того, как с помощью агрегатов трансмиссии 3 коленчатый вал 4 связывается механически с ведущим мостом 2, клапан впускного канала 12 закрывается, а клапан выпускного канала 13 открывается. Затем воздух из резервуара 18 через выпускной канал резервуара 16, клапан выпускного канала резервуара 14 и впускной клапан 8 попадает в надпоршневое пространство и поршень 7 совершает движение от ВМТ к НМТ. При нахождении поршня 7 вблизи НМТ впускной клапан 8 закрывается. Когда поршень 7 достигает НМТ, открывается выпускной клапан 9 и воздух удаляется из надпоршневого пространства через выпускной канал 11 в атмосферу.

После того, как давление в резервуаре 18 упало ниже атмосферного, клапан выпускного канала резервуара 14 закрывается, а клапан впускного канала 12 открывается, энергетическая установка работает по **рабочему режиму**.

Основная проблема при создании такой энергетической установки заключается в создании такого механизма газообмена (газораспределения), который позволил бы эксплуатировать поршневую машину и в режиме двигателя, и в режиме компрессора.

Как показывает анализ иностранных источников [3], к 2010–2011 году планируется начало серийного производства электромеханических приводов газораспределительных клапанов ДВС с частотой вращения до 6500 об/мин и мощностью 450 Вт.

Существует возможность решения проблемы привода газораспределительных клапанов ДВС за счет использования гидроприводов, выполненных на основе серийно выпускаемых топливных насосов высокого давления [4].

С учетом коэффициента полезного действия (КПД) системы передачи энергии от ведущих колес к пневматическому аккумулятору и от пневматического аккумулятора к ведущим колесам [5, 6] рекуперация энергии торможения в кинетическую энергию движения автомобиля при реализации режима ускорения с использованием только энергии сжатого воздуха может достигать 46,8% при КПД:

- механическом агрегатов трансмиссии – 0,9;
- индикаторном поршневой машины в режиме компрессора и поршневого детандера – 0,95;
- механическом поршневой машины в режиме компрессора и поршневого детандера – 0,8.

Такой КПД процесса рекуперации энергии торможения сопоставим с КПД рекуперации энергии торможения автомобиля Тойота Приус.

Однако конструкция ГСУ Тойота Приус может быть применена только на легковых автомобилях и внедорожниках, для грузовых автомобилей такая схема не годится.

К настоящему времени лишь компания Вольво заявила о планах создания к 2009 году опытных ГСУ для грузовых автомобилей.

Математическое моделирование процессов рекуперирования энергии торможения автотранспортного средства в энергию сжатого воздуха основано на известных закономерностях теории реальных поршневых компрессоров применительно к процессам наполнения резервуаров [6,7].

Для автоматизации процессов математического моделирования процессов наполнения пневматического аккумулятора разработана автономная программа, интерфейс которой с результатами расчета процесса рекуперирования энергии торможения автомобиля КамАЗ-5460 представлен на рис.3.

Исходные данные

Общий рабочий объем цилиндров двигателя, куб. м:	0,01088
Количество цилиндров двигателя, шт.:	8
Общий объем резервуара, куб.м:	1
Начальное давление воздуха в резервуаре, Па:	101325
Начальная температура воздуха в резервуаре, К:	291
14,3157894 Степень сжатия ДВС:	17
Атмосферное давление, Па:	101325
Температура атмосферного воздуха, К:	291
Коэффициент дросселирования во впускном клапане:	0,95
Коэффициент полноты цилиндра:	0,96
Показатель политропы сжатия воздуха в цилиндре:	1,35
Объем надпоршневого пространства, при котором открывается выпускной клапан, куб. м.:	0,000095
Масса транспортного средства, кг:	40000
Скорость транспортного средства, м/с:	10
КПД агрегатов трансмиссии:	0,684

Двигатель
 КамАЗ-5460 BA3-21126

Результаты расчетов

Доступная для рекуперации энергия торможения, Дж:	1368000
Процент рекуперирования доступной энергии:	100
Общий объем цилиндров ДВС, куб. м.:	0,001445
Давление в цилиндре в начале процесса сжатия, Па:	91446
Давление в цилиндре в конце процесса сжатия, Па:	3606273
Коэффициент подогрева при всасывании:	0,615638303315967
Температура в конце процесса всасывания, К:	473
Температура в конце процесс сжатия, К:	985
Вредный объем, куб. м.:	8,5E-5
25 Работа сжатия воздуха в цилиндре, Дж.:	1368145
Фактическое количество оборотов двигателя:	728
Масса воздуха, поступающая в каждом такте в резервуар, кг:	0,000507978354539337
Температура воздуха в резервуаре в текущем такте, К:	943
Общая масса воздуха, находящаяся в резервуаре, кг:	5,21760383027846
Давление воздуха в резервуаре в текущем такте, Па:	1410777

Обнулить Считать Выйти

Рис.3. Интерфейс программы расчета параметров процесса рекуперации энергии торможения автомобиля КамАЗ-5460

Как видно из рис.3, возможно до 100% рекуперирования доступной кинетической энергии торможения автомобиля КамАЗ-5460. Однако для рекуперирования необходима средняя частота вращения коленчатого вала ДВС, равная 728 об/мин. То есть, 728

оборотов в минуту в течение минуты, или 1456 об/мин. в течение 30 секунд, или 2912 об/мин. в течение 15 секунд.

Для поддержания на заданном уровне частоты вращения коленчатого вала целесообразно использовать автоматическую трансмиссию, позволяющую плавно менять передаточное отношение между входным и выходным валами.

Вывод. Показано, что для технической реализации предлагаемой силовой установки с возможностью рекуперирования энергии торможения транспортного средства необходимы: электромагнитный или гидравлический привод газораспределительных клапанов; автоматическая трансмиссия.

Список литературы

1. Распоряжение правительства Российской Федерации №978-Р от 16 июня 2002 года.
2. www.toyota.com
3. Ohne Nockenwelle. Ein neues elektromechanisches Ventiltriebssystem von Valeo. – Motortechnische Zeitschrift. – 2007. – №3.
4. Некрасов, В. Г. Некоторые пути совершенствования отечественных ДВС / В. Г. Некрасов. – Автомобильная промышленность. – 2006. – №10.
5. Богатырев, А. В. Автомобили / А. В. Богатырев, Ю. К. Есеновский-Лашков, М. Л. Насоновский, В. А. Чернышев. – М.: Колос, 2001. – 496 с.
6. Пластинин, П. И. Теория и расчет поршневых компрессоров / П. И. Пластинин. – М.: ВО «Агропромиздат», 1987. – 271 с.
7. Егоров, А. В. Совершенствование экологических характеристик тепловых двигателей машинно-тракторного парка деревообрабатывающих предприятий. Дис. ... канд. техн. наук / А. В. Егоров. – Йошкар-Ола, 2004. – 189 с.

Статья поступила в редакцию 04.04.08.

A. V. Yegorov, V. N. Sergeyev, K. N. Sergeyev

IMPROVEMENT OF DESIGN AND PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF TIMBER HAULING TRUCK PROPULSORS

The paper deals with the problems of creation and research of fuel elements and hybrid propulsion systems, as well as the study of utilization of alternative kinds of fuel such as hydrogen, methanol, ethanol, dimethyl ester and other types of biofuels. Major provisions are formulated and the results of mathematical experiment on automation of the processes of power accumulator feeding and the process of recuperation of the stopping power with full load KamAZ-5460 truck as an example are given.

ЕГОРОВ Алексей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин. Область научных интересов – тепловые двигатели и энергетические установки, способы и методы испытаний; энергосбережение нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии. Автор 38 публикаций.

СЕРГЕЕВ Вячеслав Николаевич – студент факультета информатики и вычислительной техники МарГТУ. Область научных интересов – тепловые двигатели и энергетические установки. Автор 5 публикаций.

СЕРГЕЕВ Константин Николаевич – студент факультета информатики и вычислительной техники МарГТУ. Область научных интересов – тепловые двигатели и энергетические установки. Автор 5 публикаций.