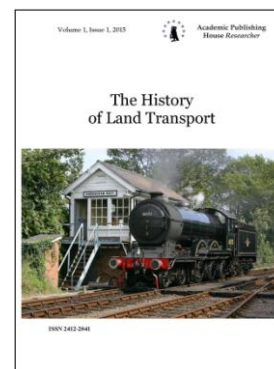


Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic  
The History of Land Transport  
Has been issued since 2015.  
ISSN: 2412-2041  
E-ISSN: 2413-760X  
2017, 3(1): 70-76

DOI: 10.13187/hlt.2017.1.70  
[www.ejournal38.com](http://www.ejournal38.com)



## Classification and Construction Characteristics of Combined Engine

Aleksei V. Zorin <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Izhevsk state technical university, Russian Federation

### Abstract

During the work the present state of the internal combustion engine analysis, and the prospects for its use. The classification in most schemes currently used in engines combined is represented. The result calculation of most common pattern of the combined engine is represented. The opinion on the work is done.

**Keywords:** engine, an electric motor combination, drive, valve, a current generator, the characteristics of an electromagnet.

### 1. Введение

Для большинства экологичных машин, таких как электромобили, гибриды и автомобили на топливных элементах, главная движущая сила — это электрический двигатель. В основу работы, которого положен принцип электромагнитной индукции — явления, связанного с возникновением электродвижущей силы в замкнутом контуре при изменении магнитного потока.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) относительно ненадёжен, неэкономичен, неудобен в характеристиках, а также имеет высокую удельную массу. Человечество около 100 лет пытается улучшить его, но ДВС так и останется сложным агрегатом, требующим достаточно дорогого и высококвалифицированного обслуживания. Пройдет некоторое время, и ДВС исчезнет из нашего быта и единственной заменой ему станет электродвигатель - легкий, экономичный, мощный, компактный, необычайно надежный, и крайне простой в конструкции и эксплуатации.

В будущем обслуживание электродвигателя – абсолютно минимально: нет масла, нет радиатора, отсутствуют топливный и водяной насос, нет кривошипно-шатунного механизма, создающего вибрации и имеющего неуравновешенность и полностью отсутствуют токсичные выбросы.

Электродвигателю не нужен прогрев: даже остывший до  $-50^{\circ}\text{C}$  электродвигатель готов в любой момент развить нужную мощность и скорость. Автомобили, работающие полностью на электричестве, в массовом порядке пока не появятся и на сегодняшний день альтернатива ему – гибридные схемы как переходный вариант от традиционных ДВС к электромоторам.

Еще одна причина, сдерживающая массовое применение электромобилей — высокая стоимость. При нынешнем уровне развития технологий литий-ионный аккумулятор, позволяющий автомобилю среднего класса проехать 200 км без подзарядки, весит более 200 кг и обходится в 17 000 евро!

Для того чтобы обеспечить достаточное финансирование и более активно использовать накопленный в этой сфере опыт, многие крупные компании объединяют усилия. Так, Bosch

и Samsung создали совместное предприятие — SB LiMotive. В его задачи входит совершенствование технологий изготовления аккумуляторных батарей.

Создание комбинированных двигателей связано с попытками устранить недостатки, присущие поршневым ДВС, выявленные еще на ранних этапах их развития. Одним из существенных недостатков поршневого ДВС является значительное количество энергии, получаемой при сжигании топливно-воздушной смеси в цилиндрах уносится с отработавшими газами, не совершая работы в поршневой машине. Другим недостатком поршневых ДВС является невозможность получения больших значений мощности на единицу рабочего объема, что связано с ограниченным количеством воздуха, всасываемого в цилиндры в процессе впуска, а именно, давление воздуха в цилиндре в конце такта всасывания всегда будет меньше атмосферного. Последний недостаток особенно остро проявлялся в авиации, где по мере набора высоты из-за снижения атмосферного давления ухудшалось наполнение цилиндров, и, следовательно, падала мощность поршневых двигателей.

Для улучшения наполнения цилиндров авиационных ДВС, особенно на больших высотах, еще в 1930-х годах стали применять предварительное сжатие воздуха в лопаточном компрессоре, приводимом в действие от коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. В такой комбинированной машине часть теплового цикла ДВС, а именно часть цикла «сжатие» осуществлялось в лопаточном компрессоре. В такте «впуск» воздух поступал в цилиндр двигателя под избыточным давлением, что увеличивало массу заряда. Это позволило, во-первых, повысить мощность двигателей без увеличения рабочего объема и без повышения числа оборотов. Также решилась проблема падения мощности на больших высотах.

Однако на привод лопаточного компрессора от коленчатого вала затрачивалась часть мощности двигателя, а возможность отбора возросшей при наддуве мощности отработавших газов не использовалась.

С развитием газовых турбин в 1950–1960-х годах появилась возможность осуществлять привод лопаточного компрессора нагнетателя не от коленчатого вала, а от газовой турбины, приводимой в действие энергией отработавших газов поршневой машины. Возникли двигатели с турбонаддувом, которые в настоящее время получили весьма широкое распространение.

На достигнутом уровне авто-двигателестроения, можно выделить целый ряд комбинированных двигателей.

## **2. Обсуждение и результаты**

### **Поршневой ДВС с лопаточным нагнетателем**

Простейший и наиболее старый тип комбинированных ДВС. Лопаточный компрессор-нагнетатель приводится в действие через механическую передачу от коленчатого вала поршневого ДВС. В лопаточной машине происходит часть процесса сжатия заряда. Широко применялся до 60-х годов в авиации, а также на судовых высокофорсированных дизелях М400. К достоинствам следует отнести хорошую согласованность производительности нагнетателя и потребности поршневой машины в свежем заряде, как в установившемся режиме работы, так и в режиме разгона. Основной недостаток — значительный отбор полезной мощности от поршневой машины, из-за чего эта схема в новых типах двигателей применяется сравнительно редко.

### **Поршневой ДВС с дополнительной турбиной, отдающей мощность на коленчатый вал**

В этой схеме энергия отработавших газов поршневого ДВС совершает работу в газовой турбине, которая, посредством механической передачи поступает на коленчатый вал поршневого двигателя. То есть часть процесса расширения происходит в лопаточной машине. К достоинствам схемы следует отнести преобразование энергии отработавших газов в механическую, что позволяет повысить КПД агрегата. К недостаткам следует отнести сложность согласования моментно-скоростных характеристик поршневого ДВС и газовой турбины. Наилучшие результаты достигаются при работе поршневого ДВС при высоких

давлениях наддува. На практике такая схема (под торговой маркой Turbo Compound) используется в двигателях большегрузных автомобилей Scania.

Поршневой ДВС с лопаточным нагнетателем и дополнительной турбиной, отдающей мощность на коленчатый вал. Комбинация двух вышеуказанных схем (Вахитов, 2012).

### **Газотурбинный ДВС с поршневым компрессором**

В лопаточной машине осуществляются процессы сгорания и расширения, а поршневая машина, приводимая от газовой турбины, используется для сжатия заряда.

### **Поршневой ДВС с турбокомпрессором**

Отработавшие газы поршневого ДВС совершают работу в газовой турбине, которая приводит в действие лопаточный компрессор, обеспечивающий наддув поршневого ДВС. Данная схема (турбонаддув), в настоящее время получила очень широкое распространение, так как позволяет получать высокие литровые мощности поршневых ДВС, не расходуя на наддув полезную мощность, развиваемую поршневой машиной. Однако по приемистости ДВС с турбонаддувом уступают ДВС с приводным компрессором, что обусловлено инерцией ротора турбокомпрессора и инерцией газов во впускном и выпускном трактах. Для устранения указанного недостатка на автомобилях и тепловозах применяют ДВС, снабженные несколькими турбокомпрессорами, имеющими рабочие колеса с малым моментом инерции и расположенные в непосредственной близости от впускных и выпускных клапанов. На тракторах и судах, где специальных требований к приемистости не предъявляется, наоборот, применяются турбокомпрессоры с крупногабаритными рабочими колесами, которые лучше переносят длительную работу в режимах, близких к максимальной мощности.

### **ДВС с турбиной для привода вспомогательных агрегатов**

Для привода вспомогательных агрегатов могут использоваться газовые турбины, использующие энергию отработавших газов ДВС. Такой способ нашел применение на речных и морских судах для привода электрических генераторов, так как привод генератора от коленчатого вала низкооборотистого судового двигателя затруднен. На речных судах типа «Заря» и «Восход» газовая турбина служила приводом компрессора системы кондиционирования воздуха.

### **Поршневой ДВС с наддувом в роли генератора горячего газа с отбором мощности от газовой турбины**

При высоком давлении наддува ДВС большая часть энергии, выделяемой в ходе рабочего процесса, уходит с отработавшими газами. Удельная мощность такой газовой струи весьма высока, что позволяет использовать ее в газовой турбине. Рассматриваемая схема получила распространение, хотя и ограниченное, в стационарных силовых установках, там, где требуется получение большой мощности при высокой частоте вращения выходного вала — свыше 6000 об/мин. В качестве поршневого ДВС-генератора газа преимущественно используются свободно-поршневые генераторы газа. С развитием стационарных газотурбинных ДВС применение рассмотренной схемы сокращается (Колчин, Демидов, 1980).

### **Газотурбинный ДВС в роли компрессора воздуха, отдаваемого в поршневой двигатель**

Часть воздуха, сжимаемого в газотурбинном ДВС отводится в поршневую машину — пневматический двигатель или поршневой ДВС в режиме пуска сжатым воздухом. Схема нашла применение в системах пуска крупных судовых, стационарных а также танковых двигателей. Рассматривался подобный вариант и для привода локомотивов.

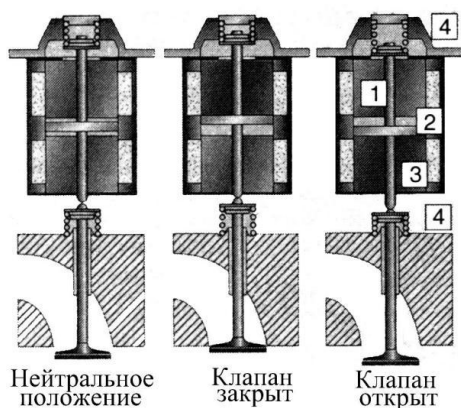
### **Двигатели с электромагнитным приводом клапанов**

Электромагнитный привод клапанов представляет собой подпружиненный клапан, который помещен между двумя электромагнитами, которые удерживают его в крайних положениях: закрытом или полностью открытом. Специальный датчик выдает блоку

управления информацию о текущем положении клапана. Это необходимо для того, чтобы снизить до минимальной его скорость в момент посадки в седло. Принцип работы системы показан на [Рис. 1](#). Как видно из схемы работы этой системы, в системе управления клапанами полностью отсутствует кулачковый вал со своим приводом, который заменен электромагнитами на каждый клапан.

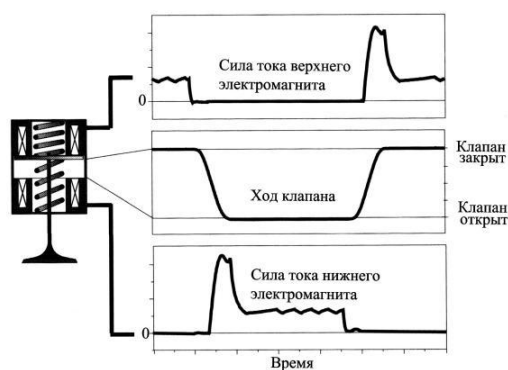
Якорь электромагнита образует комбинацию с двумя пружинами для открытия и закрытия клапана. Когда к электромагнитам не подводится электрический ток, пружины клапана и электромагнита держат клапан в среднем положении, соответствующем половине хода клапана, при этом он полуоткрыт, что позволяет прокручивать коленвал двигателя в стадии пуска.

При достижении необходимой частоты вращения от блока управления поступает сигнал в верхний электромагнит открытия - клапан закрывается. Одновременно осуществляется впрыск топлива. При открывании клапана прерывается подача напряжения в верхний электромагнит. Энергия, накопленная в верхней пружине, движет клапан вниз до тех пор, пока накопленная энергия полностью не израсходуется. Для возможности дальнейшего перемещения клапана вниз напряжение подается в нижний электромагнит и якорь, втягиваясь под действием магнитного поля, открывает клапан. При этом, учитывая потери энергии пружины в конце ее движения, в нижний электромагнит кратковременно подается ток повышенной силы, до тех пор, пока клапан полностью не откроется. Информация для блока управления поступает от датчика, расположенного на коленчатом валу и фиксирующего его угловое положение. Для каждого клапана компьютер определяет начало его открытия и закрытия, а значит и ход, в зависимости от положения коленчатого вала. Ход клапана может изменяться от нулевой величины до максимальной в зависимости от режима работы двигателя ([Электромагнитный привод клапанов](#)).



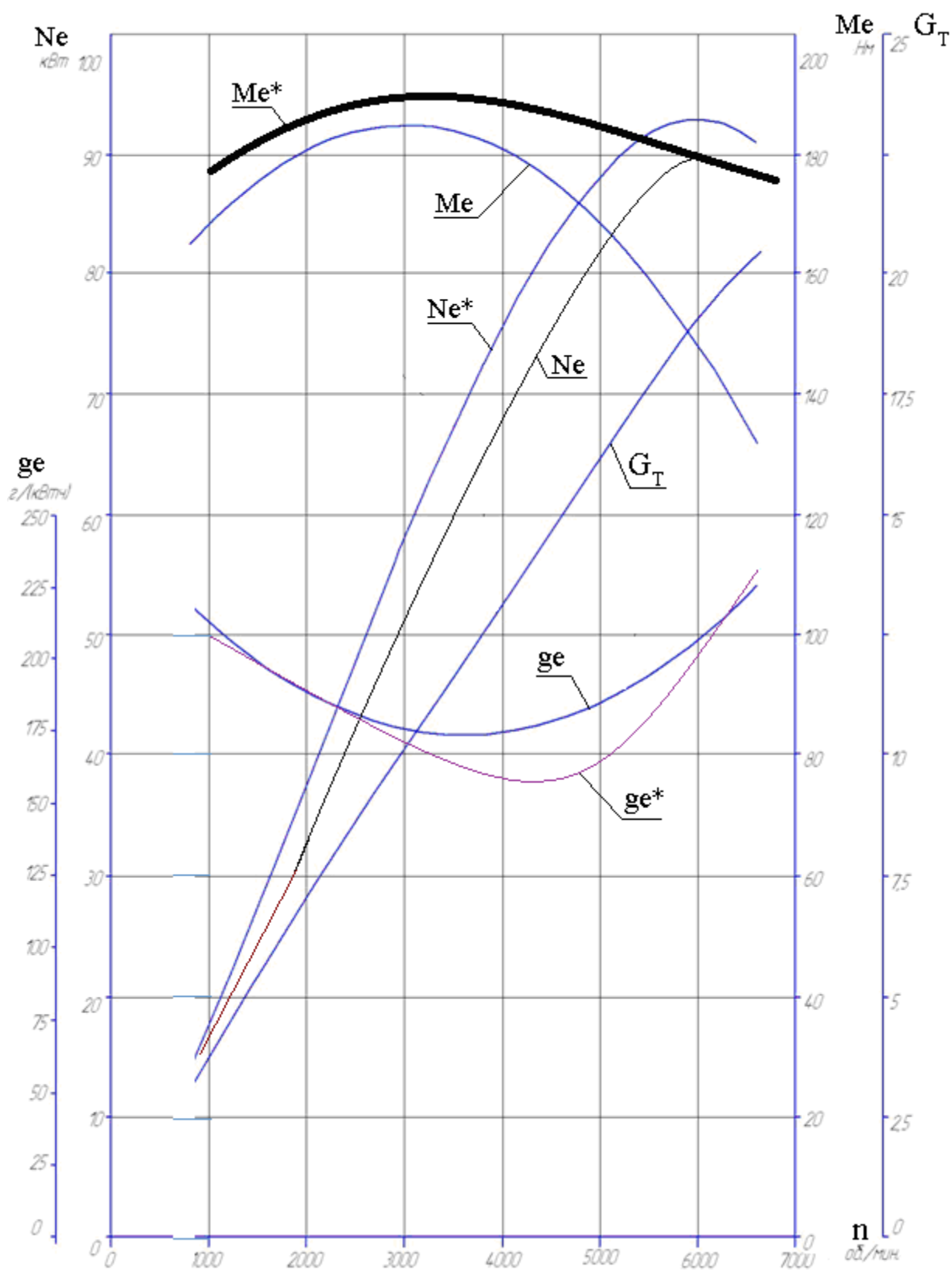
1 – электромагнит открытия клапана; 2 – якорь; 3 – электромагнит закрытия клапана; 4 – клапанная пружина

**Рис. 1.** Электромеханический привод клапана



**Рис. 2.** Изменение силы тока в электромагнитах

*Внешняя скоростная характеристика*



Me\*, Ne\*, GT\*, ge\* - характеристики для гибрида

**Рис. 3.** Внешняя скоростная характеристика бензинового двигателя и гибрида

### Расчет гибридного двигателя

Под гибридным двигателем, в данном случае, понимается комбинированный двигатель в виде сочетания теплового и электрического двигателей. В ходе исследования проводился расчет гибридного двигателя включающего 4-х цилиндровый 4-х тактный тепловой двигатель со следующими характеристиками:

- номинальная мощность  $N_e=90$  кВт при  $n_N=6000$  об/мин;
- степень сжатия:  $\epsilon = 10,3$ ;
- рабочий объем  $V_h=1,6$  л;
- диаметр цилиндра:  $D=82$  мм;
- ход поршня:  $S=76$  мм.

Далее, по массогабаритным параметрам подбирался электромотор, и строилась суммарная внешняя скоростная характеристика (см. Рис. 3).

### 3. Заключение

Основываясь на данных проведенных в работе расчетов и выполненных построений суммарной внешней скоростной характеристики, можно отметить неоспоримые преимущества гибридного силового агрегата для перспективного транспортного средства. Это увеличение суммарного крутящего момента в диапазоне низких, средних и высоких оборотов, а так же существенное снижение удельного расхода топлива, особенно в диапазоне средних оборотов.

### Литература

[Вахитов, 2012](#) – Вахитов, Ю.Р. Агрегаты наддува двигателей. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2012. 158 с.

[Колчин, Демидов, 1980](#) – Колчин, А.И., Демидов, В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / Под ред. А. И. Колчина. М.: «Высшая школа», 1980. 400 с.

[Луканин, 1995](#) – Луканин В.Н. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов. Под ред. В.Н. Луканина. М.: «Высшая школа», 1995. 368 с.

[Орнель, Терентьев, 2016](#) – Орнель Д.К., Терентьев А.Н. Гибридная установка для наземного транспорта // Решение. 2016. Т. 1. С. 305-307.

[Электромагнитный привод клапанов](#) – Электромагнитный привод клапанов [Электронный ресурс]. URL: <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/dvigatel/e-lektromagnitny-j-privod-klapanov/> (дата обращения 10.01.2017).

[Gaynullin, Terentev, 2016](#) – Gaynullin, A.A., Terentev, A.N. The engine working volume of 1,6 liters combined with a combined supercharged // The History of Land Transport. 2016. № 1. pp. 11-17.

[Terentyev, 2013](#) – Terentyev A.N. The combined charging system // Universology: definitions, issues and concepts proceedings from the Teachers' Technical Scientific Conference (in the English language) (Izhevsk, June, 27 2013). Izhevsk, 2013. pp. 47-51.

### References

[Vakhitov, 2012](#) – Vakhitov, Yu.R. Agregaty nadduva dvigatelei. Ufimsk. gos. aviats. tekhn. un-t. Ufa: UGATU, 2012. 158 p.

[Kolchin, Demidov, 1980](#) – Kolchin, A.I., Demidov, V.P. Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigatelei / Pod red. A. I. Kolchina. M.: «Vysshaya shkola», 1980. 400 p.

[Lukanin, 1995](#) – Lukanin V.N. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. V 3 kn. Kn. 1. Teoriya rabochikh protsessov. Pod red. V.N. Lukanina. M.: «Vysshaya shkola», 1995. 368 p.

[Ornel', Terent'ev, 2016](#) – Ornel' D.K., Terent'ev A.N. Gibridnaya ustanovka dlya nazemnogo transporta // Reshenie. 2016. T. 1. S. 305-307.

[Elektromagnitnyi privod klapanov](#) – Elektromagnitnyi privod klapanov [Elektronnyi resurs]. URL: <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/dvigatel/e-lektromagnitny-j-privod-klapanov/> (data obrashcheniya 10.01.2017).

[Gaynullin, Terentev, 2016](#) – Gaynullin, A.A., Terentev, A.N. (2016). The engine working volume of 1,6 liters combined with a combined supercharged. *The History of Land Transport*. № 1. pp. 11-17.

Terentyev, 2013 – *Terentyev A.N.* (2013). The combined charging system. Universology: definitions, issues and concepts proceedings from the Teachers' Technical Scientific Conference (in the English language) (Izhevsk, June, 27 2013). Izhevsk, pp. 47-51.

### **Классификация и построение характеристик комбинированного двигателя**

Алексей Викторович Зорин <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Ижевский государственный технический университет, Российская Федерация

**Аннотация.** В ходе работы выполнен анализ современного положения двигателя внутреннего сгорания и перспектив его применения. Представлена классификация по большинству схем используемых в настоящее время комбинированных двигателей. Выбрана наиболее распространенная схема комбинированного двигателя и приводятся результаты его расчета. Приводится заключение по проделанной работе.

**Ключевые слова:** двигатель, электродвигатель, комбинированный, привод, клапан, ток, генератор, характеристики, электромагнит.