



---

# The History of Land Transport

---

Has been issued since 2015.  
ISSN 2412-2041, E-ISSN 2413-760X  
2016. Vol.(2). Is. 1. Issued 2 times a year

## EDITORIAL BOARD

**Cherkasov Aleksandr** – International Network Center for Fundamental and Applied Research, Sochi, Russian Federation (Editor in Chief)

**Mamadaliyev Anvar** – International Network Center for Fundamental and Applied Research, Sochi, Russian Federation

**Taran Konstantin** – International Network Center for Fundamental and Applied Research, Sochi, Russian Federation

**Filkin Nikolay** – Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

**Makarov Konstantin** – Sochi State University, Sochi, Russian Federation

**Sarfo Jacob** – KAD International, Effiduase-Koforidua, Eastern Region, Ghana

**Terentev Aleksei** – Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

**Tsvetkov Viktor** – Research and Project Development Institute of Information Systems, Automation and Communication on Railway Transport, Moscow, Russian Federation

Journal is indexed by: **MIAR, OAJI**

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 26/2 Konstitucii, Office 6  
354000 Sochi, Russian Federation

Website: <http://ejournal38.com/>  
E-mail: [sochio03@rambler.ru](mailto:sochio03@rambler.ru)

Founder and Editor: Academic Publishing  
House *Researcher*

Passed for printing 20.03.16.

Format 21 × 29,7/4.

Enamel-paper. Print screen.

Headset Georgia.

Ych. Izd. l. 4,5. Ysl. pech. l. 4,2.

Order № HLT-2.

# The History of Land Transport

2016

Is.

1



---

# The History of Land Transport

---

## The History of Land Transport

2016

№

1

Издается с 2015 г.  
ISSN 2412-2041, E-ISSN 2413-760X  
2016. № 1 (2). Выходит 2 раза в год.

### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Черкасов Александр** – Международный сетевой центр фундаментальных и прикладных исследований, Сочи, Российская Федерация (Главный редактор)

**Мамадалиев Анвар** – Международный сетевой центр фундаментальных и прикладных исследований, Сочи, Российская Федерация

**Таран Константин** – Международный сетевой центр фундаментальных и прикладных исследований, Сочи, Российская Федерация

**Макаров Константин** – Сочинский государственный университет, Сочи, Российская Федерация

**Сафро Джейкоб** – КАД интернешнл, Эфибуазе, Гана

**Терентьев Алексей** – Ижевский государственный технический университет, Ижевск, Российская Федерация

**Филькин Николай** – Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Ижевск, Российская Федерация

**Цветков Виктор** – Научно-исследовательский и проектно конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, Москва, Российская Федерация

Журнал индексируется в: **MIAR, OAJI**

Статьи, поступившие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Адрес редакции: 354000, Россия, г. Сочи,  
ул. Конституции, д. 26/2, оф. 6

Сайт журнала: <http://ejournal38.com/>

E-mail: [sochio03@rambler.ru](mailto:sochio03@rambler.ru)

Учредитель и издатель: ООО «Научный  
издательский дом "Исследователь"» -  
Academic Publishing House *Researcher*

Подписано в печать 20.03.16.

Формат 21 × 29,7/4.

Бумага офсетная.

Печать трафаретная.

Гарнитура Georgia.

Уч.-изд. л. 4,5. Усл. печ. л. 4,2.

Заказ № HLT-2.

C O N T E N T S

Articles and Statements

**The Milestones of the History**

The Development History of the Global Electric Vehicle Industry Ia Shiukashvili .....	4
--	---

**Transport and Communications**

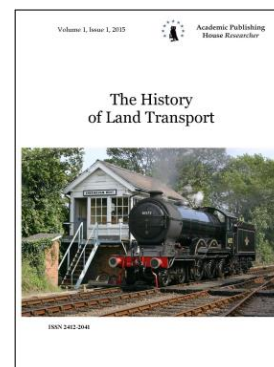
The Engine Working Volume of 1,6 Liters Combined with a Combined Supercharged Andrey A. Gaynullin, Aleksei N. Terentev .....	11
The Boxer Engine Cylinder Capacity of 1,5 Liters with Turbocharging Taras L. Cherniy, Aleksei N. Terentev .....	18

Copyright © 2016 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation  
The History of Land Transport  
Has been issued since 2015.  
ISSN: 2412-2041  
E-ISSN: 2413-760X  
Vol. 2, Is. 1, pp. 4-10, 2016

DOI: 10.13187/hlt.2016.2.4  
[www.ejournal38.com](http://www.ejournal38.com)



## The Milestones of the History

UDC 347

### The Development History of the Global Electric Vehicle Industry

Ia Shiukashvili <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Telavi state university, Georgia

#### Abstract

The article analyzes the current development of electromobile industry in the world. The attention is paid to the efforts of the major automotive corporations in project activities to create the economical electric vehicle.

The materials for the preparation of this article are the media archives, web sites of car companies, analytical reviews of automotive markets, as well as the scientific literature.

In conclusion, the author notes that perhaps the society is now witnessing a breakthrough in the history of electric vehicles. To date, their distribution is constrained not only by the technological, but also by the economic and political factors. Despite the existing pressure from the automotive and oil industry, we need to understand that the future is in "clean" modes of transport.

**Keywords:** electric vehicles, modern development, history.

#### Введение

Во второй половине XIX века мир стал свидетелем революционных открытий и изобретений благодаря таким людям, как Томас Эдисон, Никола Тесла, Александр Белл и Джордж Вестингауз. Одним из таких изобретений стал электромобиль, несмотря на то, что даже век спустя он еще только готовится получить широкое распространение. Взлеты и падения в истории электромобилей представляют особый интерес на фоне растущего внимания к проблемам экологии, связанными с изменениями климата. Например, именно этой теме была посвящена 21-я конференция, прошедшая в Париже в ноябре-декабре 2015 года, в рамках которой страны предложили свои проекты по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу [14].

#### Материалы

Материалами для подготовки статьи послужили архивы СМИ, сайты автомобильных компаний, аналитические обзоры автомобильных рынков, а также научная и учебная литература.

#### Обсуждение

Электромобиль — автомобиль, приводимый в движение одним или несколькими электродвигателями с питанием от автономного источника электроэнергии (аккумуляторов, топливных элементов и т. п.), а не двигателем внутреннего сгорания [3].

Электромобиль появился раньше, чем двигатель внутреннего сгорания. Первый электромобиль в виде тележки с электромотором был создан в 1841 году. В 1899 году в Санкт-Петербурге русский дворянин и инженер-изобретатель Ипполит Романов создал первый русский электрический омнибус на 17 пассажиров. [1]

Ведущие изобретатели, включая Эдисона и Теслу, видели будущее за электромобилями. В США электрические автомобили едва уступали по количеству лишь паровым. В 1911 году газета New York Times назвала электромобиль «идеальным» средством передвижения в силу его бесшумной работы, экологичности и экономичности, по сравнению с машинами на бензиновых двигателях. [5]

Достоинства и недостатки электромобилей перечислены в Энциклопедии Брокгауза Ф.А. и Ефрона И.А. (1890–1907 гг.): «Самым многообещающим типом автомобиля в будущем можно считать электрический, но пока он ещё недостаточно усовершенствован. Электрические двигатели не дают ни шума, ни копоти, они, бесспорно, удобнее и совершеннее всех других, но автомобиль должен везти свой источник энергии: аккумуляторную батарею, которая пока ещё слишком тяжела и непрочна. Поэтому невозможно возить с собою запас энергии на длинный путь, а вновь заряжать аккумуляторы и заменять истощённые другими возможно лишь при езде в городах или от одной специально устроенной станции до другой.» [4] Примечательно, что до недавнего времени приведенная характеристика была справедлива и для современных электромобилей.

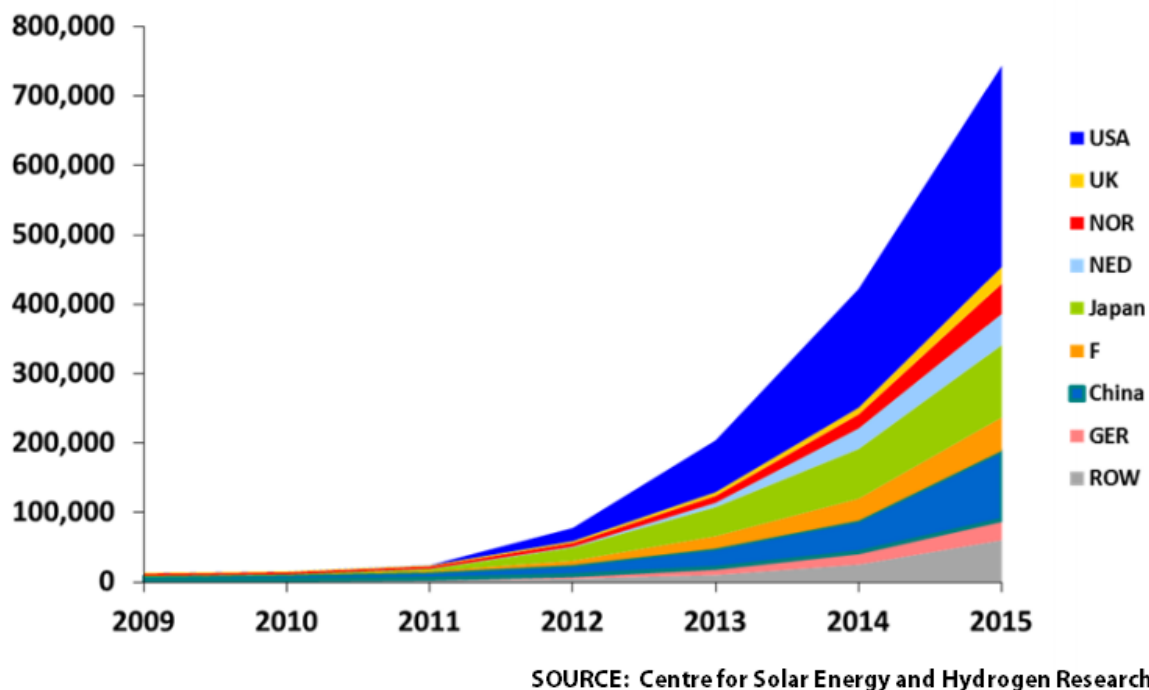
Даже столетие назад считалось, что сжигание топлива – устаревшая практика, а будущее лежит за электромашинами. Электромобили конкурировали с паровыми, бензиновыми и прочими видами машин по стоимости производства и доступности – пока Генри Фордом не была предложена эффективная модель производства бензиновыми автомобилями, в то время как исправить перечисленные выше недостатки электромобилей не представлялось возможным. Таким образом, электромашины решительно проиграли в этой гонке с бензиновыми, и в течение века практически не наблюдалось прогресса в данной отрасли.

Основная причина медленного развития индустрии электромобилей – практически непреодолимые барьеры для входа новых компаний на рынок, особенно высокотехнологичных стартапов. Для молодой компании производство автомобилей сопряжено с непомерными издержками (большая доля которых в случае с электромобилями приходится на НИОКР), а рынок занят крупными устоявшимися конкурентами.

С другой стороны, иногда производство и использование электромобилей поощряется со стороны государства в рамках деятельности по защите окружающей среды. Но и в этом случае возникают проблемы – а именно давление со стороны автомобильной и нефтяной отрасли. Например, в начале 90-х годов Калифорнийским Комитетом Воздушных Ресурсов (CARB) было принято решение – в 1998 году 2 % продаваемых в Калифорнии автомобилей не должны производить выхлопов, а к 2003 году – 10 %. General Motors выпустили электромобиль EV1, который достаточно быстро завоевал признание среди потребителей. За год было сдано в лизинг около 5500 машин. Вскоре после этого GM отозвали электромобили обратно, несмотря на протесты клиентов. Компания посчитала, что, во-первых, остальные штаты могут последовать примеру Калифорнии, во-вторых, электромобили в силу своего престижа могут стать слишком популярными. Следовательно, спрос на электромобили слишком сильно вырастет, что при их дорогостоящем производстве невыгодно для General Motors, специализирующейся на бензиновых автомобилях. Заручившись поддержкой органов власти (первый глава администрации президента до этого занимал пост президента и исполнительного директора Американской ассоциации автопроизводителей), GM и другие представители автоиндустрии сделали все возможное для того, чтобы остановить продажи своих собственных электромашин и показать, как они на самом деле не востребованы. [10]

Поэтому век спустя после Генри Форда человечество продолжает использовать по сути устаревшую технологию: для производителей автомобилей отсутствуют существенные санкции за загрязнение атмосферы, а зависимость многих государств от продажи нефти не позволяет отказаться от нее в пользу чистых источников энергии. Сложность выхода на рынок за этот период не дало электромашинам возможности усовершенствоваться и стать доступными для большинства людей.

И все же из-за экологических проблем автотранспорта на современном этапе происходит возрождение интереса к электромобилям. Например, в США предоставляются налоговые кредиты для покупки электромобилей, а в Китае национальные производители получают субсидии для производства электромобилей. Эта стратегия направлена одновременно на продвижение отечественных автомобилей на китайском рынке и на борьбу с загазованностью и смогом в городах Китая. В 2015 году продажи электромобилей в Китае выросли на 120 % по сравнению с 2014 годом. [7] Подобная тенденция наблюдается и в других страна (рис. 1).



**Рис. 1.** Количество проданных электромобилей (штук) для пассажирских перевозок [6]

В 2000-х ключевым участником борьбы за экологический транспорт можно назвать компанию Tesla Motors. Именно Tesla сейчас является лидером в продвижении электромобилей, за которым вынуждены последовать крупнейшие автоконцерны. Но у истоков современных электромобилей стоит другая компания.

В 1992 году, в то время как в автомобильной индустрии доминировали гиганты, производящие бензиновые автомобили, в Силиконовой Долине была основано небольшое предприятие AC Propulsion, которое занималось разработкой и совершенствованием индукционного двигателя переменного тока. Небольшой партией ими была выпущена спортивная электромашина AC Propulsion tzero. Производство было прекращено из-за высоких издержек, но результаты трудов AC Propulsion и сейчас используются в электромашинах от Volvo, Tesla, General Motors и других. Сами же AC Propulsion переключились на переделывание легковых автомобилей Scion xB (Toyota) в электромобили, устанавливая в них электродвигатели. [11]

Компания не обладала достаточными мощностями для того, чтобы заниматься массовым производством электромобилей. Их деятельность, в частности tzero, вызвала интерес нескольких предпринимателей, в их числе – небезызвестный Илон Маск (компаниями SpaceX, PayPal, Hyperloop, SolarCity, OpenAI). Совместными усилиями они основали Tesla Motors.

Цель Tesla Motors – создать доступные для рядового потребителя электромашины, чтобы ускорить переход человечества к менее вредным для экологии видам транспорта.

Фактически, за прошедший век Tesla Motors стала первой в индустрии старт-ап компанией, решившейся преодолеть барьеры входа на рынок, чтобы предлагать

электромобили. Когда речь идет о новых технологиях, существенные затраты на НИОКР на первых этапах производства делают продукцию очень дорогой. В данном случае изначально массовое производство электромобилей является неконкурентоспособным. Поэтому Tesla Motors придерживаются следующего плана:

1 этап. Производство небольшой партии электромобилей «класса люкс» и высшей ценовой категории, сравнимой, например, с Ferrari.

2 этап. Производство средней по размерам партии электромобилей средней ценовой категории. Вложить в НИОКР выручку, полученную на первом этапе, снизить издержки и разработать машину, которая могла бы конкурировать с дорогими моделями Mercedes или BMW.

3 этап. Массовое производство электромобилей по доступным ценам для среднего класса, которое станет возможным за счет дальнейшего совершенствования производства и выручки, полученной на втором этапе.

Итак, первой моделью стал спортивный электромобиль Tesla Roadster. Его выпуск в 2008-2012 гг. тиражом около 2600 штук был рассчитан на то, чтобы привлечь внимание индустрии и получить средства для дальнейших разработок. Стоимость машины составила \$110 000. С тех пор модель была доработана и обновлена, а новое поколение Roadster планируется запустить в 2019 году. Пример Tesla Roadster подстегнул крупные компании заняться разработками собственных электромашин – так появились Nissan Leaf и «подключаемый гибрид» Chevrolet Volt от General Motors – хотя бы потому, что эти гиганты не хотели потерять свой престиж в глазах окружающих.

Несмотря на кризисное состояние экономики в то время, Tesla смогли заручиться поддержкой инвесторов и продолжить работу. Также к компании присоединился Франц фон Хольцхаузен, промышленный дизайнер, получивший известность своими работами в General Motors и Mazda. Вместе они приступили ко второму этапу производства и разработали премиальный седан Tesla Model S. Если Roadster базировался на уже существовавших разработках (не в последнюю очередь tzero), то Model S проектировался с чистого листа. Tesla предстояло полностью изменить концепцию современного автомобиля. Машина стала флагманским продуктом компании. В июне 2013 года компания продемонстрировала возможность перезарядки Model S путём автоматической замены батареи. В ходе демонстрации было показано, что процедура замены занимает примерно 90 секунд, что более чем вдвое быстрее заправки полного бака аналогичного бензинового автомобиля. Согласно US Environmental Protection Agency (EPA) заряда литий-ионного аккумулятора ёмкостью 85 кВт·ч хватает на 265 миль (426 км), что позволяет Model S преодолевать наибольшую дистанцию из доступных на рынке электромобилей. В 2016 году Tesla Model S получил обновленный дизайн, частично более схожий с Model 3.

Также на базе Model S был создан полноразмерный электрический кроссовер Tesla Model X, существующий в двух моделях. Обе модели оснащены батареей ёмкостью 90 киловатт-часов, запас хода модели 90D составляет 411 километров, у P90D – 400 километров. Максимальная скорость ограничена на отметке в 250 км/ч. Коэффициент аэродинамического сопротивления за счёт активного заднего спойлера составляет 0,24 – рекорд в своём классе. Tesla Motors планирует расширить свою аудиторию за счёт женщин с детьми и позиционирует Model X как «самый безопасный SUV за всю историю» и семейный автомобиль для путешествий (машина может тянуть автоприцеп массой более двух тонн).

Весной 2016 года публике был представлен первый бюджетный автомобиль Tesla Model 3 – его стоимость составляет \$35 000. За первую неделю машину зарезервировали 325 тысяч человек. Коммерческие поставки будут осуществлены к концу 2017 года. В базовой комплектации автомобиль обладает запасом хода в 346 км и разгоняется до 97 км/ч менее чем за 6 секунд. Будет доступна полноприводная версия в дополнение к стандартной заднеприводной. Как и старшие модели, Tesla Model 3 комплектуется системой автопилота, а также имеет доступ к фирменной сети бесплатных зарядок Supercharger. У машины два багажника, панорамное остекление и 15-дюймовый сенсорный экран, полностью заменивший приборную панель. Компания заявляет, что коэффициент аэродинамического сопротивления составит 0,21. [10, 16]

Tesla Model 3 не единственная в сегменте бюджетных электромобилей. В 2010 году был выпущен Nissan Leaf стоимостью \$30 000, который до недавнего времени был самым продаваемым электромобилем в мире (в 2015 году первое место заняла более дорогостоящая Tesla Model S). За ними следует BMW i3 стоимостью \$43 000. Но отличительной особенностью Tesla Model 3 в данном сегменте являются ее превосходные технические характеристики. Основным конкурентом Model 3 снова выступает General Motors, готовящие к выпуску для массового потребления Chevrolet Bolt для американского рынка и Opel Ampera-e – для европейского. Сравнения по некоторым позициям приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Некоторые характеристики основных марок электромобилей [12, 13, 15, 16, 18]

Марка	Запас хода	Разгон	Стоимость
Tesla Model 3	346 км	До 97 км/ч менее, чем за 6 секунд	\$35 000
Nissan Leaf	160 км	До 100 км/ч за 11,9 секунд	\$30 000
BMW i3	130-160 км	До 100 км/ч за 8 секунд	\$43 000
Chevrolet Bolt	322 км	До 100 км/ч за 7 секунд	\$37 500

На данный момент перечисленные в таблице компании единственные, кому удалось достичь существенных продаж электромобилей. Тем не менее, в истории электромобилей следует отметить еще нескольких рекордсменов.

В 2010 году электромобиль «Venturi Jamais Contente» в США установил рекорд скорости 495 км/ч на дистанции в 1 км. Во время заезда автомобиль развивал максимальную скорость 515 км/ч. [17]

Также в 2010 году электромобиль «lekker Mobil» фирмы lekker Engine, конвертированный из микровэна Audi A2, совершил рекордный пробег на одной зарядке из Мюнхена в Берлин длиной 605 км в условиях реального движения по дорогам общего пользования, при этом были сохранены и действовали все вспомогательные системы, включая отопление. [8]

Что касается российских электромобилей, то в 2012 году в серию был запущен электромобиль EL Lada, которая оснащалась литий-железо-фосфатными батареями емкостью 23 кВт\*час обеспечивающих заряд на 140 км пробега. Lada Ellada получила практическое применение в городе-курорте Кисловодск Ставропольского края, в качестве легкового такси. Этот проект стал первым в России по использованию электромобиля в пассажирских перевозках. В 2016 году успешно завершились тесты первой модели электромобиля Vesta EV. Седан Lada Vesta EV получил электродвигатель мощностью 82 л.с. (60 кВт) и литий ионную батарею, которая обеспечит запас хода на одном заряде в 150 километров.

Силовая установка электрической Весты позволит разогнаться до 100 км/ч за 15,5 секунды, а максимальная скорость автомобиля составит 150 км/ч. Для полной зарядки аккумулятора от бытовой электросети 220 В потребуются около 9 часов, в тоже время, восполнить запас энергии от напряжения 380 В можно будет менее чем за 2 часа. [2]

Главными препятствиями на пути электромобилей становятся следующие вопросы: 1) хватает ли заряда батареи для совершения длительного путешествия; 2) как «заправить» автомобиль в дороге, если зарядка от сети занимает 5-10 часов; и 3) выдерживают ли эти электромобили конкуренцию бензиновых автомобилей, которые стоят дешевле и заправляются за 5-10 минут. Решение этой проблемы снова принадлежит Tesla. Ими создается сеть «Суперзарядок» (англ. Supercharger). Станции используют, в основном, энергию от солнечных батарей. Возможность использовать станции есть во всех новых машинах. Зарядка аккумуляторной батареи (до 80 % за 40 минут для 85 кВт\*ч батареи) включена в стоимость автомобиля. Также возможна быстрая роботизированная замена севшей батареи на заряженную, что занимает полторы минуты и стоит \$60-\$80.

Сеть «Суперзарядок» уже покрывает большую часть США, а также распространяется по Европе и Азии. В апреле 2016 года в Подмосковье появилась первая в России станция Supercharger.



На данный момент лишь автомобили Tesla могут заряжаться от этой сети, но в будущем планируется сотрудничество с другими компаниями, и «Суперзарядки» станут универсальными.

Высокая стоимость электромобилей связана с дороговизной используемых аккумуляторов. Но Tesla действительно могут значительно снизить стоимость электромобилей и сделать их доступными. Для этого строится и скоро будет запущен завод по производству литий-ионных аккумуляторов Gigafactory. Tesla Motors ожидает, что Гигафабрика 1 снизит издержки производства для аккумуляторов её электромобилей и домашних аккумуляторных систем Powerwall на 30 %. Отличительная особенность фабрики в том, что работать она будет исключительно за счет собственных солнечных батарей, что обеспечит экологичность производства. [16]

### **Заключение**

Таким образом, возможно, именно сейчас мы являемся свидетелями прорыва в истории электромобилей. До настоящего момента их распространение сдерживали не столько технологические, сколько экономические и политические факторы. Несмотря на существующее давление со стороны автомобильной и нефтяной индустрии, нужно понимать, что будущее находится за «чистыми» видами транспорта – вопрос в том, насколько скоро мы дадим этому случиться.

### **Литература**

1. Антон Ковалевский «Многообещающий тип» / Бизнес-журнал, 2012/03 - <http://b-mag.ru/>
2. Официальный сайт LADA - <http://www.lada.ru/>
3. Щетина В.А., Морговский Ю.Я., Центр Б.И., Богомазов Б.А. Электромобиль. / Под ред. д. т. н. В.А. Щетины. Л.: "Машиностроение", 1987
4. Энциклопедический словарь Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона С.-Петербург, 1890—1907. - <http://www.vehi.net/brokgauz/>
5. “Electric Vehicles Attract Attention” / New York Times, 1911 <http://query.nytimes.com/mem/archive-free/pdf?res=9406E4DA1331E233A25753C2A9679C946096D6CF>
6. Angelo Young “Global Electric Car Market” / International Business Times 24/03/15 - <http://www.ibtimes.com/global-electric-car-market-about-43-all-electric-passenger-cars-were-bought-2014-say-1857670>
7. Global EV Outlook 2015 / International Energy Agency -<http://www.iea.org/topics/transport/subtopics/electricvehiclesinitiative/>
8. Lekker Mobil car, Berlin / The Economic Times, 27/10/10 -<http://economictimes.indiatimes.com/october-26-2010/lekker-mobil-car-berlin/slideshow/6816412.cms>
9. Oliver Milman “James Hansen, father of climate change awareness, calls Paris talks 'a fraud'” / The Guardian 12/12/15 - <http://www.theguardian.com/environment/2015/dec/12/james-hansen-climate-change-paris-talks-fraud>
10. Tim Urban “The Elon Musk Blog Series: Wait But Why” / Lioncrest Publishing (February 29, 2016) ASIN: B01CF5FY4E
11. AC Propulsion / Company website - <http://www.acpropulsion.com/index.html>
12. BMW / Company website - <http://www.bmw.com>
13. Chevrolet company website - <http://www.chevrolet.com/bolt-ev-electric-vehicle.html>
14. COP21: 2015 UN Climate Change Conference in Paris / Conference website - <http://www.cop21paris.org/>
15. Nissan / Company website - <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/>
16. Tesla Motors / Company website - <https://www.teslamotors.com/>
17. Ventouri / Company website - <http://www.v-group.fr/>
18. Ziatdinov R., Nabiyev R.I., Miura K.T. MC-Curves and Aesthetic Measurements for Pseudospiral Curve Segments // Mathematical Design & Technical Aesthetics, 2013, Vol. 1, № 1, pp. 6-17.

## References

1. Anton Kovalevskij «Mnogoobeshhajushhij tip» / Biznes-zhurnal, 2012/03 - <http://b-mag.ru/>
2. Oficial'nyj sajt LADA - <http://www.lada.ru/>
3. Shhetina V.A., Morgovskij Ju.Ja., Center B.I., Bogomazov B.A. Jelektromobil'. / Pod red. d. t. n. V.A. Shhetiny. L.: "Mashinostroenie", 1987
4. Jenciklopedicheskiy slovar' F.A. Brokgauza i I.A. Efrona S.-Peterburg, 1890–1907. - <http://www.vehi.net/brokgauz/>
5. “Electric Vehicles Attract Attention” / New York Times, 1911 <http://query.nytimes.com/mem/archive-free/pdf?res=9406E4DA1331E233A25753C2A9679C946096D6CF>
6. Angelo Young “Global Electric Car Market” / International Business Times 24/03/15 - <http://www.ibtimes.com/global-electric-car-market-about-43-all-electric-passenger-cars-were-bought-2014-say-1857670>
7. Global EV Outlook 2015 / International Energy Agency -<http://www.iea.org/topics/transport/subtopics/electricvehiclesinitiative/>
8. Lekker Mobil car, Berlin / The Economic Times, 27/10/10 -<http://economictimes.indiatimes.com/october-26-2010/lekker-mobil-car-berlin/slideshow/6816412.cms>
9. Oliver Milman “James Hansen, father of climate change awareness, calls Paris talks 'a fraud'” / The Guardian 12/12/15 - <http://www.theguardian.com/environment/2015/dec/12/james-hansen-climate-change-paris-talks-fraud>
10. Tim Urban “The Elon Musk Blog Series: Wait But Why” / Lioncrest Publishing (February 29, 2016) ASIN: B01CF5FY4E
11. AC Propulsion / Company website - <http://www.acpropulsion.com/index.html>
12. BMW / Company website - <http://www.bmw.com>
13. Chevrolet company website - <http://www.chevrolet.com/bolt-ev-electric-vehicle.html>
14. COP21: 2015 UN Climate Change Conference in Paris / Conference website - <http://www.cop21paris.org/>
15. Nissan / Company website - <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/>
16. Tesla Motors / Company website - <https://www.teslamotors.com/>
17. Ventouri / Company website - <http://www.v-group.fr/>
18. Ziatdinov R., Nabiyeu R.I., Miura K.T. MC-Curves and Aesthetic Measurements for Pseudospiral Curve Segments // Mathematical Design & Technical Aesthetics, 2013, Vol. 1, № 1, pp. 6-17.

УДК 347

## История развития мировой электромобильной промышленности

Ия Шиукашвили <sup>а</sup>

<sup>а</sup>Телавский государственный университет, Телави, Грузия

**Аннотация.** В статье анализируется современное развитие электромобильной промышленности в мире. Уделено внимание усилиям основных автопромышленных корпораций в проектной деятельности по созданию экономичного электромобиля.

Материалами для подготовки статьи послужили архивы СМИ, сайты автомобильных компаний, аналитические обзоры автомобильных рынков, а также научная литература.

В заключении автор отмечает, что возможно, именно сейчас общество является свидетелем прорыва в истории электромобилей. До настоящего момента их распространение сдерживали не столько технологические, сколько экономические и политические факторы. Несмотря на существующее давление со стороны автомобильной и нефтяной индустрии, нужно понимать, что будущее находится за «чистыми» видами транспорта.

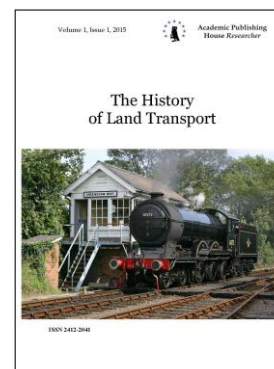
**Ключевые слова:** электромобили, современное развитие, история.

Copyright © 2016 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation  
The History of Land Transport  
Has been issued since 2015.  
ISSN: 2412-2041  
E-ISSN: 2413-760X  
Vol. 2, Is. 1, pp. 11-17, 2016

DOI: 10.13187/hlt.2016.2.11  
[www.ejournal38.com](http://www.ejournal38.com)



## Transport and Communications

UDC 62

### The Engine Working Volume of 1,6 Liters Combined with a Combined Supercharged

Andrey A. Gaynullin <sup>a</sup>, Aleksei N. Terentev <sup>a</sup>

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

#### Abstract

There is held the thermal calculation of the motor; on its base it can be developed the working draft of an engine capacity of 1596 cm<sup>3</sup> combined with turbocharging. The article presents the data of the main technical parameters of the engine combined with turbocharging.

In conclusion, the authors note that the increase in pressure by the compressor inlet leads to the undesirable consequences for the life of the engine – to an increase of mechanical stress on the details of the crank mechanism and the cylinder-piston group. In this regard, it is necessary to conduct the more detailed technological study of the strength, resource, and heat resistance of the most critical parts of the engine – piston, piston rings, gudgeon pin and etc.

**Keywords:** transport motor, charging system, mechanical drive, supercharger, a gas turbine, combined.

#### Введение

На данный момент, в транспортных ДВС применяются такие системы наддува как: инерционная; с механическим приводом нагнетателя; газотурбинная и комбинированная [1].

Инерционная система наддува является самой простой. Она основана на использовании волновых процессов путем подбора соответствующих длин впускных и выпускных трубопроводов двигателя для увеличения количества воздуха, поступающего в цилиндры. В настоящее время инерционный наддув применяется редко или в комбинации с другими типами наддува, т.к. требуется сложная настройка впускной и выпускной систем.

Чаще применяют систему с механическим приводом нагнетателя. Наддув воздуха при этой системе создается нагнетателем, привод которого работает от коленчатого вала. В качестве наддувочного агрегата используют центробежные, поршневые и роторно-шестереночные нагнетатели [2].

Агрегаты с газотурбинным наддувом, объединяющие газовую турбину и компрессор, исключают из себя недостатки, присущие системе с приводным нагнетателем основным из которых является отбор мощности от коленчатого вала двигателя и увеличенный расход топлива. В наши дни этот способ наддува широко применяется в автомобильных и тракторных ДВС.

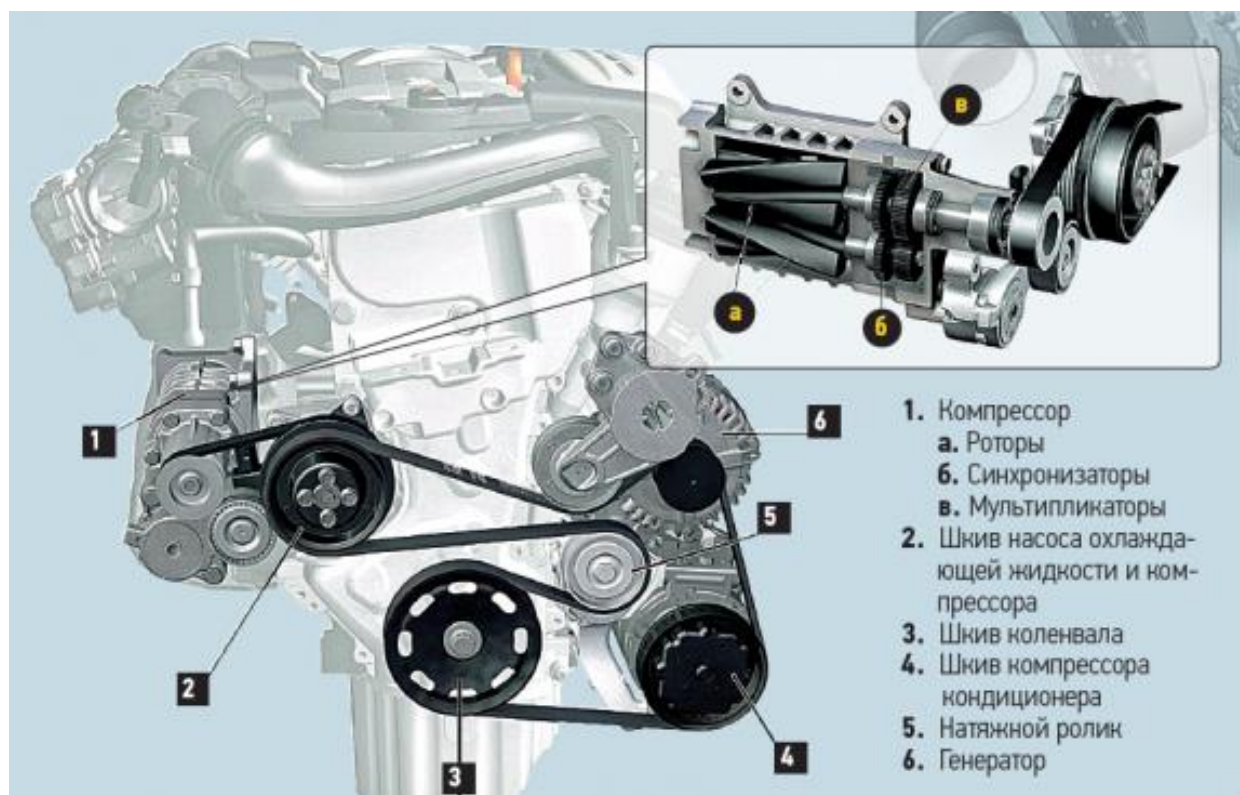
Комбинированный же наддув предусматривает наличие как механического привода нагнетателя от двигателя, так и газовой связи с ним. Эта система наддува и является темой данной статьи.

## Результаты и обсуждение

### Система комбинированного наддува

За основу расчета принят двигатель ВАЗ 11183-1000260 с системой двойного наддува (комбинированного) от двигателя TSI (Turbo Stratified Injection, дословно — турбонаддув и послыйный впрыск) фирмы Volkswagen.

В конструкции двигателей TSI производителем реализовано два подхода: двойной наддув и просто турбонаддув. Аббревиатура TSI является запатентованным товарным знаком концерна Volkswagen.



**Рис. 1.** Механический компрессор

Двойной наддув осуществляется в зависимости от потребности двигателя двумя устройствами: механическим компрессором и турбокомпрессором. Комбинированное применение данных устройств позволяет реализовать номинальный крутящий момент в широком диапазоне оборотов двигателя.

В конструкции двигателя используется механический компрессор типа Roots см. рисунок 1. Он представляет собой два ротора определенной формы, помещенных в корпус. Роторы вращаются в противоположные стороны, чем достигается всасывание воздуха с одной стороны, сжатие и нагнетание – с другой. Механический компрессор имеет ременной привод от коленчатого вала. Привод активизируется с помощью магнитной муфты. Для регулировки давления наддува параллельно компрессору установлена регулировочная перепускная заслонка.

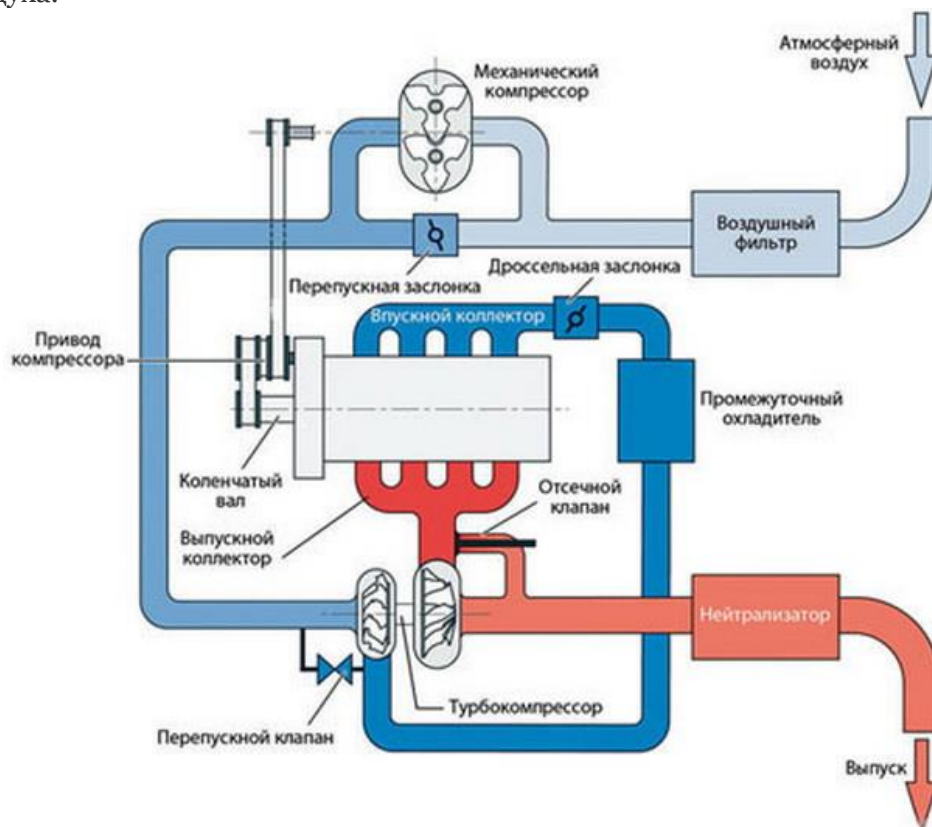
### Работа комбинированного наддува

В зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя (нагрузки) различают следующие режимы работы системы двойного наддува см. рисунок 2:

- безнаддувный режим (до 1000 об/мин);
- работа механического компрессора (1000-2400 об/мин);
- совместная работа механического компрессора и турбокомпрессора (2400–3500 об/мин);
- работа турбокомпрессора (свыше 3500 об/мин).

На холостых оборотах двигатель работает в безнаддувном режиме. Механический компрессор выключен, регулирующая перепускная заслонка открыта. Энергия отработавших газов невелика, турбокомпрессор не создает давления наддува.

С ростом числа оборотов, включается механический компрессор и закрывается регулирующая перепускная заслонка. Давление наддува, в основном, создает механический нагнетатель (до 0,17 МПа). Турбокомпрессор обеспечивает небольшое дополнительное сжатие воздуха.



**Рис. 2.** Система комбинированного наддува

При частоте вращения коленчатого вала двигателя в пределах 2400-3500 об/мин давление наддува создает турбокомпрессор. Механический нагнетатель подключается при необходимости, например, при резком ускорении (резком открытии дроссельной заслонки). Давление наддува может достигать до 0,25 МПа.

Далее работа системы осуществляется только за счет турбокомпрессора. Механический нагнетатель выключен. Регулирующая заслонка открыта. Для предотвращения детонации с ростом числа оборотов давление наддува несколько падает. При частоте вращения 5500 об/мин оно составляет порядка 0,18 МПа.

### **Тепловой расчёт двигателя с турбонаддувом**

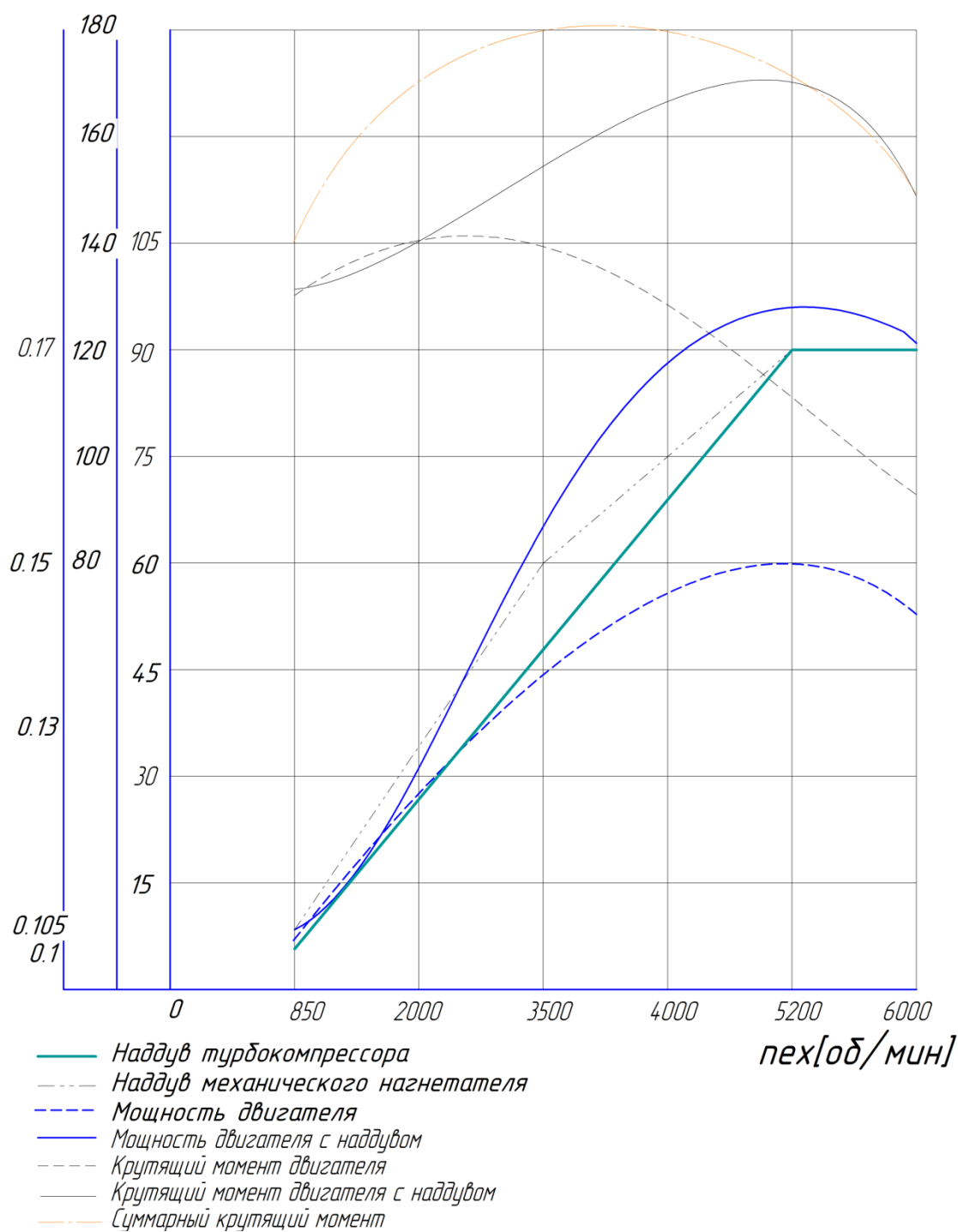
Как было отмечено ранее, за основу расчета принят двигатель ВАЗ 11183-1000260 с характеристиками приведенными в таблице 1.

**Таблица 1.** Основные параметры исходного двигателя ВАЗ 11183-1000260

Параметры	Значение
Тип двигателя по способу воспламенения рабочей смеси	Искровой
Тип двигателя по роду применяемого топлива	Бензин
Наличие или отсутствие наддува	Отсутствует
Тип охлаждения	Жидкостное
Тип топливной системы	Электронный впрыск топлива
Число клапанов на цилиндр	4
Количество цилиндров и их расположение, порядок работы	4-Р 1-3-4-2
Тактность двигателя	4-хтактный
Номинальная эффективная мощность при номинальной частоте вращения	60 кВт при 5200 об/мин
Максимальный крутящий момент	120 Нм при 2700 об/мин
Минимальная частота вращения коленчатого вала	850 об/мин
Степень сжатия	10
Диаметр цилиндра	82 мм
Ход поршня	75,6 мм
Рекомендуемое топливо	АИ-95
Рабочий объем цилиндра	1596 см <sup>3</sup>

Расчет двигателя проводился для режимов: минимальной частоты вращения при  $n_e = 850 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ , максимального крутящего момента при  $n_e = 2700 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ , номинальной мощности при  $n_e = 5200 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ , максимальной частоты вращения коленчатого вала двигателя при  $n_e = 6000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ . Значения полученных расчетных параметров мощности и крутящего момента двигателя приведены на рисунке 3. Здесь же представлены значения «Наддува» – давления создаваемого компрессорами – механическим и турбокомпрессором.

$P_k$ ,  $M_e$ ,  $N_e$ ,  
 $MPa$   $Hm$   $kBt$



**Рис. 3.** Расчетные данные мощности и крутящего момента двигателя

### Закключение

Был проведен тепловой расчет двигателя ВАЗ 11183-1000260, на основании которого спроектирован двигатель рабочим объемом 1596 см<sup>3</sup> с комбинированным наддувом.

Спроектированный двигатель имеет следующие характеристики:

- номинальная мощность  $N_e=95$  кВт, она увеличилась на  $35$  кВт (58%) относительно исходной,
- максимальный крутящий момент  $M_e^{max}=180$  Н·м, что выше исходного значения на  $60$  Н·м (50%),

На основе представленных расчетов можно разработать рабочий проект двигателя с комбинированным наддувом, который будет иметь характеристики близкие, или даже превосходящие зарубежные аналоги.

Требуется, однако, отметить, что увеличение давления компрессором на впуске приводит и к нежелательным последствиям для ресурса двигателя – к возрастанию механических напряжений на детали кривошипно-шатунного механизма и цилиндропоршневой группы. В связи с этим, необходимо провести более детальную конструктивно-технологическую проработку прочности, ресурса и теплостойкости наиболее ответственных деталей двигателя – поршня, поршневых колец, поршневого пальца и др.

### Литература

1. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов/ А.И. Колчин, В.П. Демидов. 4-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2008. 496 с.: ил.
2. Патрахальцев Н.Н., Савастенко А.А. Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом. М.: Легион-Автодата, 2004. 176 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания. Учебник для вузов/В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др. Под редакцией В.Н. Луканина, М.Г. Шатрова. 3-е изд, перераб. и испр. М.: Высш школа, 2007. 2 тома: ил.
4. Фёдоров Л.С., Иваненко М.А. Возможности применения автомобилей с гибридными энергоустановками // Вестник Университета (Государственный университет управления). 2006. Т. 2. № 15. С. 155-160.
5. Кокорин А. Три главные причины, по которым мы все будем ездить на электромобилях // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2015. № 4. С. 46-48.
6. Колпаков А. Модули SKAI/SKADS – предельный уровень интеграции! // Силовая электроника. 2005. № 5. С. 48-52.

### References

1. Raschet avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej: Ucheb. posobie dlja vuzov/ A.I. Kolchin, V.P. Demidov. 4-e izd., ster. M.: Vyssh. shk., 2008. 496 s.: il.
2. Patrahal'cev N.N., Savastenko A.A. Forsirovanie dvigatelej vnutrennego sgoranija nadduvom. M.: Legion-Avtodata, 2004. 176 s.
3. Dvigateli vnutrennego sgoranija. Uchebnik dlja vuzov/V.N. Lukanin, K.A. Morozov, A.S. Hachijan i dr. Pod redakciej V.N. Lukanina, M.G. Shatrova. 3-e izd, pererab. i ispr. M.: Vyssh shkola, 2007. 2 toma: il.
4. Fjodorov L.S., Ivanenko M.A. Vozmozhnosti primenenija avtomobilej s gibridnymi jenergoustanovkami // Vestnik Universiteta (Gosudarstvennyj universitet upravlenija). 2006. T. 2. № 15. S. 155-160.
5. Kokorin A. Tri glavnye prichiny, po kotorym my vse budem ezdit' na jelektromobiljah // AvtoGazoZapravochnyj kompleks + Al'ternativnoe toplivo. 2015. № 4. S. 46-48.
6. Kolpakov A. Moduli SKAI/SKADS – predel'nyj uroven' integracii! // Silovaja jelektronika. 2005. № 5. S. 48-52.

УДК 62

### Двигатель рабочим объемом 1,6 литра с комбинированным наддувом

Андрей Алексеевич Гайнуллин <sup>а</sup>, Алексей Николаевич Терентьев <sup>а</sup>

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

**Аннотация.** Были проведен тепловой расчет двигателя; на основании, которого может быть разработан рабочий проект двигателя рабочим объемом 1596 см<sup>3</sup> с комбинированным наддувом. Представлены расчетные данные основных технических параметров двигателя с комбинированным наддувом. В заключении авторы отмечают, что



увеличение давления компрессором на впуске приводит и к нежелательным последствиям для ресурса двигателя – к возрастанию механических напряжений на детали кривошипно-шатунного механизма и цилиндро-поршневой группы. В связи с этим, необходимо провести более детальную конструктивно-технологическую проработку прочности, ресурса и теплостойкости наиболее ответственных деталей двигателя – поршня, поршневых колец, поршневого пальца и др.

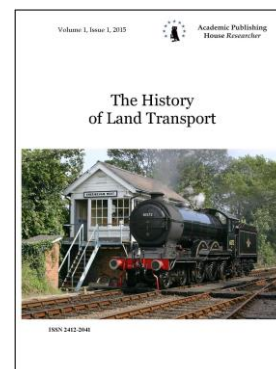
**Ключевые слова:** транспортный двигатель, наддув, механический привод, нагнетатель, газотурбинный, комбинированный.

Copyright © 2016 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation  
The History of Land Transport  
Has been issued since 2015.  
ISSN: 2412-2041  
E-ISSN: 2413-760X  
Vol. 2, Is. 1, pp. 18-31, 2016

DOI: 10.13187/hlt.2016.2.18  
[www.ejournal38.com](http://www.ejournal38.com)



UDC 62

## The Boxer Engine Cylinder Capacity of 1,5 Liters with Turbocharging

Taras L. Cherniy <sup>a</sup>, Aleksei N. Terentev <sup>a</sup>

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

### Abstract

The paper presents the information and constructive review of the boxer engine counterparts and types of modern engines boost. The authors conducted the thermal calculation on the basis of which there are received the technical parameters of reciprocating engine, working volume of 1500 cm<sup>3</sup> with turbo. We consider the estimates of the main technical parameters boxer engine with a turbocharger.

In conclusion the authors give the design of the internal combustion of engine boxer, as well as the principle functioning of its systems. The article presents the description of the working principle of various systems of pressurization.

**Keywords:** boxer engine, inline engine, supercharging, turbocharging, the force of inertia, power, torque.

### Введение

Важнейшей задачей в современном двигателестроении является проектирование и создание высокоэффективных, модифицированных наддувом, силовых агрегатов для получения необходимой мощности на выходном валу.

В мировом автомобилестроении наибольшее распространение получили рядные четырехцилиндровые, а также V-образные двигатели. Эта тенденция возникла в результате сравнительной простоты конструкции блока цилиндров и дешевизны его изготовления. Но при использовании рядного или V-образного расположения цилиндров в четырехцилиндровом двигателе невозможно получить полное уравнивание сил инерции 2-го порядка, однако их можно уравновесить при расположении цилиндров по оппозитной схеме. В результате данного технического решения существенно уменьшается вибрация двигателя, а, следовательно, вибронпряженность вспомогательных систем, тем самым увеличивается срок эксплуатации двигателя и комфортабельность езды. Также достоинством оппозитного двигателя является довольно низкий центр масс, позволяющий заметно увеличить устойчивость автомобиля.

Известно, что в настоящее время, для двигателей, устанавливаемых на легковые автомобили существуют следующие основные тенденции оптимизации конструкции [1]:

- снижение выброса вредных веществ;
- оптимизация массогабаритных показателей двигателя путем увеличения удельных мощностей и применения «материалопоглощающих» технологий.
- снижение себестоимости двигателя;
- оптимизация вибро-акустических качеств двигателя;

- снижение потребления горюче-смазочных материалов;
- удобство эксплуатации, простота и удобство технического обслуживания.

Оппозитная компоновка двигателя не способна удовлетворить всем вышеперечисленным параметрам, но обеспечивает высокую комфортабельность автомобилю и обладает следующими преимуществами:

- низкий центр масс силовой установки и автомобиля;
- низкий уровень вибраций в результате уравновешенных сил первого и второго порядков, а также уравновешенных крутящих моментов;
- удобное расположение в подкапотном пространстве, обеспечивающее доступ практически ко всем элементам конструкции двигателя;
- низкий уровень шума;
- быстрая приспособляемость к работе на переменных режимах в зависимости от условий эксплуатации.

Двигатели внутреннего сгорания с оппозитной компоновкой ввиду уравновешенности, рационального расположения в подкапотном пространстве и подходящих габаритов наиболее полно отвечают требованиям улучшения качественных параметров транспортного средства: комфортабельности, динамичности, устойчивости, маневренности, безопасности и дизайна. Но за счет дороговизны изготовления блоков цилиндров они применяются не на многих марках автомобилей. Из зарубежных производителей, например, оппозитные двигатели устанавливаются на автомобилях Subaru, Porsche и Citroen. В отечественной автопромышленности оппозитные двигатели вообще не применяются на легковых автомобилях. Поэтому задачей работы было определение возможных технических параметров оппозитного двигателя с наддувом с целью разработки проекта четырехцилиндрового бензинового двигателя с оппозитным расположением цилиндров с турбонаддувом мощностью не менее 110 кВт, при частоте вращения коленчатого вала  $n=6000 \text{ мин}^{-1}$  и степени сжатия  $\epsilon=10,1$  для легкового автомобиля.

На данном двигателе предполагается установить турбокомпрессор типа Waste Gate (см. дальше).

### ***Информационный обзор аналогов с турбонаддувом***

В информационном обзоре по теме работы были рассмотрены аналоги проектируемого двигателя [2].



**Рис. 1.** Автомобиль Subaru Impreza с двигателем объемом 1,5 л



**Рис. 2.** Автомобиль Toyota Vitz GRMN Turbo с двигателем объемом 1,5 л



**Рис. 3.** Автомобиль Mitsubishi Colt с двигателем объемом 1,5 л



**Рис. 4.** Автомобиль Porsche Boxster с двигателем объемом 3,5 л

Технические характеристики основных аналогов представлены в Таблице 1.

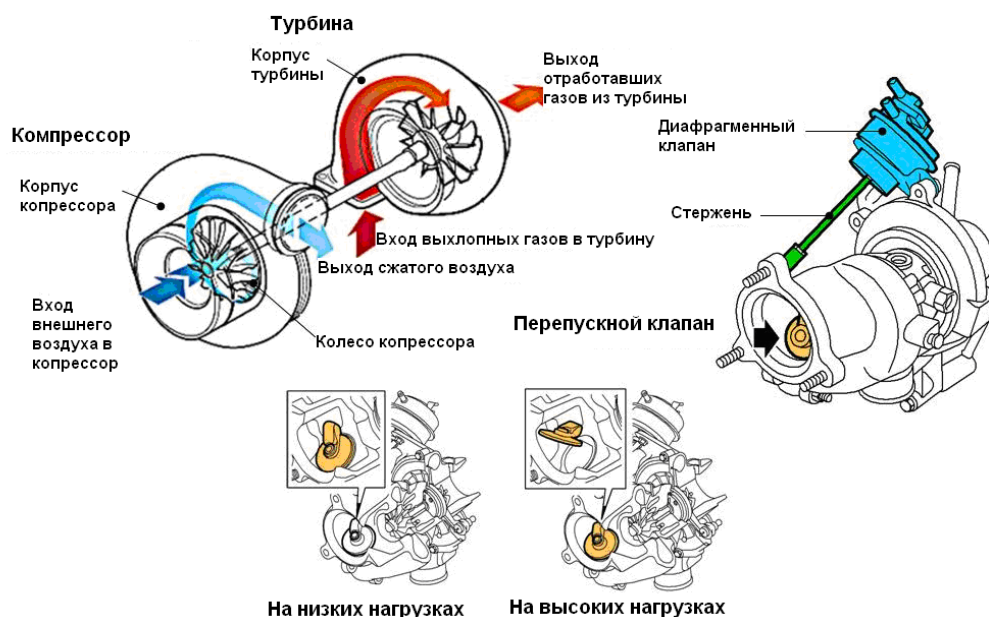
**Таблица 1.** Технические характеристики аналогов

Параметры	Subaru Impreza	Toyota Vitz GRMN Turbo	Mitsubishi Colt Ralliart 1.5 Turbo	Porsche Boxster 3.5	Subaru Impreza Turbo
Тип двигателя	1.5 бензин	1.5 бензин	1.5 бензин	3.5 бензин	1.5 бензин
Рабочий объем см <sup>3</sup>	1498	1496	1468	3436	1498
Количество цилиндров	4	4	4	6	4
Количество клапанов	16	16	16	32	16
Максимальная мощность, л.с. (об/мин)	107(78,6кВт)	152(112кВт)	150(110кВт)	315(232кВт)	150(110кВт)
Максимальный крутящий момент, Н*м при (об/мин)	142(4000)	206(4000)	210(3500)	360(6700)	172(4000)
Степень сжатия	11	10,2	9	12,5	10,1
Диаметр цилиндра и ход поршня, мм	77,7X79	75X84.7	75.5X82	97X77.5	77,7X79
Требование к топливу	АИ-95	АИ-95	АИ-95	АИ-95	АИ-98
Тип привода	Полный	Передний	Передний	Задний	Полный
Количество передач	5 МКПП	5 МКПП	5 МКПП	6 МКПП	5 МКПП
Габариты (длина, ширина, высота), мм	4595/1795/1475	2940/190/1250	3880/1695/1520	4374/1801/1281	4595/1795/1475
Дорожный просвет, мм	135	125	140	104	135
Разгон 0-100км/ч	14.0	9.0	8.0	5.1	9.5
Максимальная скорость км/ч	175	212	210	270	210
Наличие турбонаддува	отсутствует	присутствует	присутствует	отсутствует	присутствует
Расход топлива в городе, л/100км	9.6	5.2	9.2	12.4	12
Расход топлива на трассе, л/100	6.3	3.0	7	6.2	8
Смешанный расход, л/100 км	7.5	3.8	8	8.7	9

### Турбокомпрессор

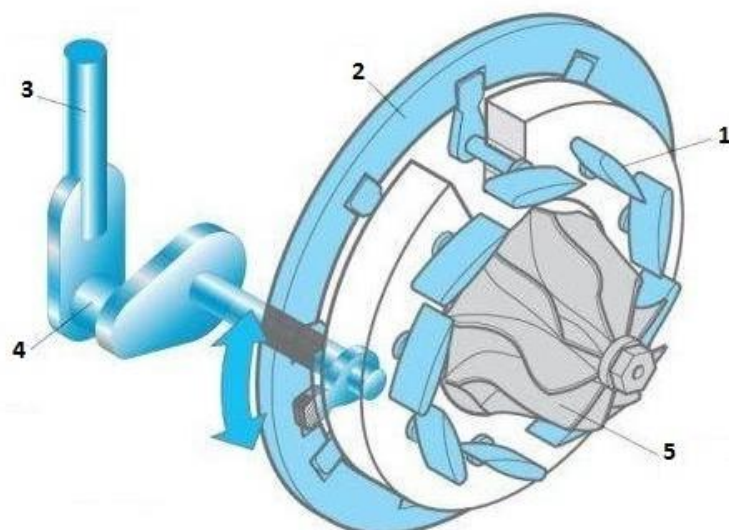
Ведущие автопроизводители планомерно переводят все свои модели на двигатели с турбонаддувом [3, 4]. Например, у дебютировавшего в 2007 году Volkswagen Tiguan вообще не было атмосферных моторов. Бензиновый двигатель 1.4 TSI Twincharger с комбинированным наддувом и турбодизель 2.0 TDI развивают 150, либо 170 л.с., турбомотор 2.0 TFSI — 200 л.с. Данная ситуация вполне логична — двигатель с системой турбонаддува более экологичен, экономичен и обладает большей мощностью при меньшей массе. Новейшие технологии в будущем позволят достичь новых высот при проектировании наддувных двигателей, а пока, рассмотрим существующие.

**Турбонаддув Waste Gate.** Турбонагнетатель имеет один вал, на котором жёстко закреплены две крыльчатки – турбинная и насосная. Турбинная крыльчатка – воспринимает энергию выхлопного газа и через вал, приводит во вращение насосную крыльчатку. Насосная крыльчатка предназначена для захвата и закачивания воздуха во впускной коллектор. Устанавливается турбонагнетатель в разрез выпускной системы. Чем выше обороты коленчатого вала, тем больше поток выхлопных газов, следовательно – турбонагнетатель будет работать с большей производительностью. Чем ниже обороты коленчатого вала – тем меньше поток выхлопных газов, следовательно – турбонагнетатель будет работать с меньшей производительностью.



**Рис. 5.** Турбонаддув Waste Gate

**Турбонаддув VNT или VGT.** Первым турбокомпрессором с изменяемой геометрией (VNT - Variable Nozzle Turbine или VGT - Variable Geometry Turbine) в 1995 году стал турбокомпрессор для Фольксвагена Multivane с 1,9 литровым двигателем TDI. Принцип действия VNT турбокомпрессора заключается в оптимизации потока выхлопных газов, направляемых на крыльчатку турбины. На низких оборотах двигателя и малом количестве выхлопных газов VNT турбокомпрессор направляет весь поток выхлопных газов на колесо турбины, тем самым увеличивая ее мощность и давление наддува. При высоких оборотах и высоком уровне газового потока турбокомпрессор VNT располагает подвижные лопатки в открытом положении, увеличивая площадь сечения и отводя часть выхлопных газов от крыльчатки, защищая себя от превышения оборотов и поддерживая давление наддува на необходимом двигателю уровне, исключая увеличение давления.



1 – направляющие лопатки; 2 – кольцо; 3 – рычаг; 4 – тяга вакуумного привода;  
5 – турбинное колесо

**Рис. 6.** Турбина с изменяемой геометрией VGT

Двигатель с системой VNT, имеет лучший отклик, производит большую мощность и крутящий момент, потребляет меньше топлива и обеспечивает снижение вредных выбросов по сравнению с двигателем, связанным с турбокомпрессором традиционным байпасным клапаном. Благодаря короткому времени отклика и плавному ускорению улучшается управляемость машиной и срок ее службы. По сравнению с турбокомпрессором, оборудованным байпасом, турбокомпрессор VNT, более эффективный в более широком диапазоне величин потока, имеет следующие 3 основных преимущества:

1. Более высокая мощность: при определенной скорости двигателя и для заданного давления наддува модели VNT обеспечивают большую разность давлений и снижают температуру газов на выходе из двигателя.

2. Большой крутящий момент: при низких оборотах двигателя модели VNT обеспечивают повышенное давление наддува.

3. Экономия топлива и снижение выброса вредных веществ в атмосферу: контролируемые непосредственно системой управления двигателем, турбокомпрессоры VNT оптимизируют сгорание.

Однако основной проблемой VNT турбокомпрессора является недостаточная устойчивость конструкции к высоким температурам. По этой причине основным местом первоначального применения технологии VNT стали дизельные двигатели. Первой «ласточкой» в применении турбины с изменяемой геометрией на бензиновых двигателях стала компания Porsche с ее новой моделью Porsche 911 Turbo.

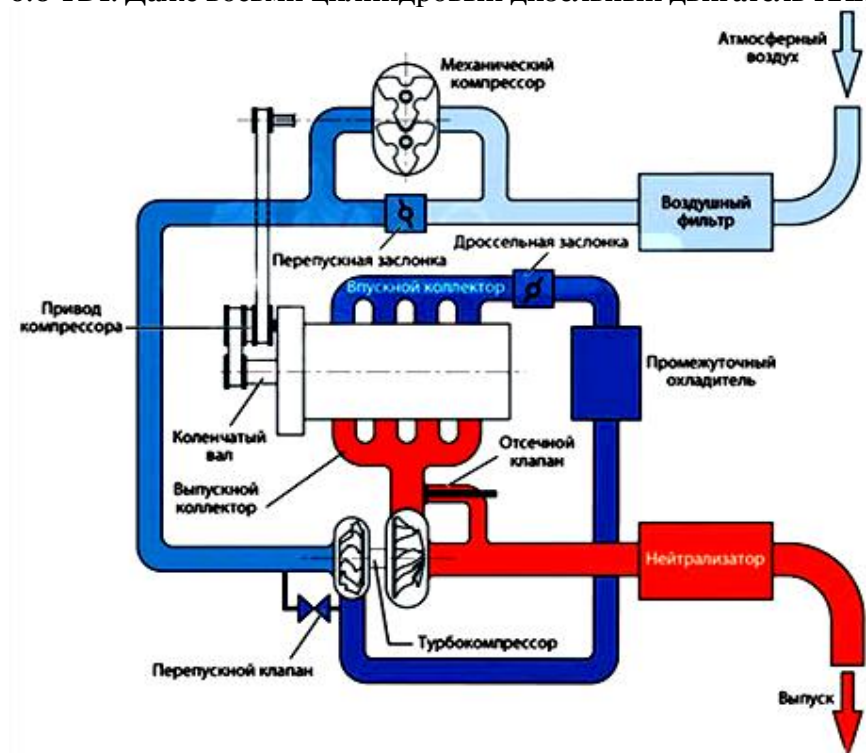
## Турбонаддув (Битурбо) Biturbo



**Рис. 7.** Параллельный турбонаддув (Битурбо) Biturbo.

При параллельном наддуве, вместо одной большой, используют две одинаковых маленьких турбины, которые работают независимо друг от друга. Чем меньше турбина, тем быстрее она раскручивается, тем более «отзывчивым» получается двигатель. Две турбины ставят на V-образные двигатели, по одной на каждую «половинку».

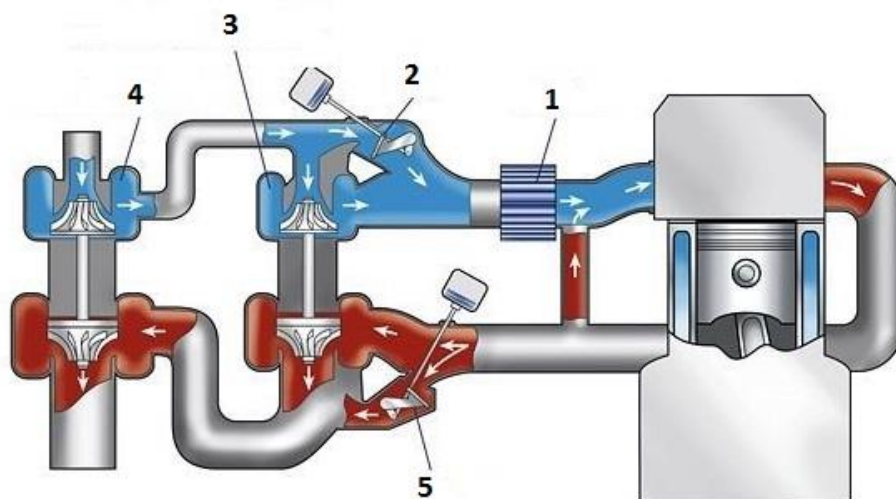
За примером параллельного наддува долго ходить не придется — это и знаменитый двигатель V6 Audi 2.7 Biturbo, и V8 Audi 4,2 Biturbo. Да и новые дизельные двигатели большого объема стали оснащать двумя турбокомпрессорами — 4.2 TDI, или новейший W12 6.0 TDI. Даже восьми цилиндровый дизельный двигатель КАМАЗа имеет две турбины!



**Рис. 8.** Двигатель с системой TSI Twincharger (последовательный наддув)



Очень необычную вариацию на тему последовательного турбонаддува предложили инженеры фирмы «Фольксваген». В двигателях семейства TSI приводной нагнетатель и турбокомпрессор работают совместно. Пока обороты невелики, воздух подает нагнетатель, а турбина раскручивается вхолостую, без нагрузки. По мере роста оборотов агрегат потребляет все больше мощности на привод, а это расточительно. Поэтому после 2400 об/мин открывается перепускная заслонка, подающая воздух в обход нагнетателя. Электромагнитная муфта в его приводе отключает устройство. Одновременно закрывается перепускной клапан турбокомпрессора, и турбокомпрессор, успевший набрать скорость на холостом ходу, включается в работу. Результат: с 1,4-литрового мотора снимают 170 л.с., а момент больше 200 Н м двигатель выдает уже при 1250 об/мин.



1 – охладитель наддувочного воздуха; 2 – перепускной клапан наддува;  
3 – турбокомпрессор ступени высокого давления; 4 – турбокомпрессор ступени низкого давления; 5 – перепускной клапан отработавших газов

**Рис. 9.** Двухступенчатый турбонаддув

Самой совершенной в техническом плане является система двухступенчатого турбонаддува. С 2004 года система двухступенчатого турбонаддува применяется на ряде дизельных двигателей от фирмы Opel. Другой производитель - компания BorgWarner Turbo Systems внедряет систему на дизельные двигатели BMW и Cummins.

Система двухступенчатого турбонаддува состоит из двух турбокомпрессоров разного размера, установленных последовательно в выпускном и впускном (воздушном) трактах. В системе используется клапанное регулирование потока отработавших газов и нагнетаемого воздуха.

При низких оборотах двигателя перепускной клапан отработавших газов закрыт. Отработавшие газы проходят через малый турбокомпрессор (имеет минимальную инерцию и максимальную отдачу) и далее через большой турбокомпрессор. Давление отработавших газов невелико. Поэтому большая турбина почти не вращается. На впуске перепускной клапан наддува закрыт. Воздух проходит последовательно через большой (первая ступень) и малый (вторая ступень) компрессоры.

С ростом оборотов осуществляется совместная работа турбокомпрессоров. Перепускной клапан отработавших газов постепенно открывается. Часть отработавших газов идет непосредственно через большую турбину, которая раскручивается все более интенсивно. На впуске большой компрессор сжимает воздух с определенным давлением, но оно недостаточно большое. Поэтому далее сжатый воздух поступает в малый компрессор, где происходит дальнейшее повышение давления. Перепускной клапан наддува при этом по-прежнему закрыт.

При полной нагрузке перепускной клапан отработавших газов открыт полностью. Газы практически полностью проходят через большую турбину, раскручивая ее до максимальной частоты. Малая турбина останавливается. На впуске большой компрессор

обеспечивает максимальное давление наддува. Малый компрессор, наоборот, создает препятствие для воздуха, поэтому в определенный момент открывается перепускной клапан наддува и сжатый воздух поступает напрямую к двигателю.

Таким образом, система двухступенчатого турбонаддува обеспечивает эффективную работу турбокомпрессоров на всех режимах работы двигателя. Система разрешает известное противоречие двигателей между высоким крутящим моментом на низких оборотах и максимальной мощностью на высоких оборотах. С помощью двухступенчатых турбокомпрессоров номинальный крутящий момент достигается быстро и поддерживается в широком диапазоне оборотов двигателя, обеспечивается максимальное повышение мощности.

Конструкторы без усталости продолжают поиск новых решений. Так, например, поскольку температура отработавших газов современных двигателей порой превышает 1300°C, появляются роторы из высокопрочной термостойкой и легкой керамики.

### **Тепловой расчет бензинового четырехтактного оппозитного поршневого двигателя**

**Таблица 2.** Основные исходные данные для теплового расчета [1, 3, 5]

<b>Параметр</b>	<b>Обозначение</b>	<b>Значение</b>	<b>Размерность</b>
Номинальная мощность	Ne	110	кВт
Отношение хода поршня к диаметру цилиндра	S/D	1,0167	
Число цилиндров	i	4	
Число оборотов при номинальной мощности	n <sub>ном</sub>	6000	об/мин
<b>Степень сжатия</b>	$\varepsilon$	10.1	
Количество тактов	$\tau$	4	
Зажигание	-	искровое	
Наддув	-	имеется	
Топливо	-	бензин	
Отношение радиуса кривошипа к длине шатуна	$\lambda$	0,25	
Коэффициент избытка воздуха	$\alpha$	1	
Давление окружающей среды	P <sub>o</sub>	0,1	МПа
Температура окружающей среды	T <sub>o</sub>	328,98	К
Приращение температуры в процессе подогрева от стенок	$\Delta T$	6	К
Температура остаточных газов	T <sub>г</sub>	1040	К
Давление остаточных газов	P <sub>г</sub>	0,135	МПа
Коэффициент, определяющий Pa,	K <sub>Pa</sub>	0,85	
<b>Коэффициент использования теплоты в точке z</b>	$\xi_z$	0,98	
Коэффициент, учитывающий теплоотдачу в стенку в процессе сжатия	$\upsilon$	0	
Коэффициент дозарядки	$\zeta_{с.з.}$	1,15	
Коэффициент продувки	$\zeta_{оч}$	1	
Коэф-нт, определяющий действительное давление P <sub>z</sub>	$\varphi_{Pz}$	0,85	
Коэффициент полноты диаграммы	$\varphi_{Pi}$	0,95	
<b>Давление наддува</b>	P <sub>к</sub>	0,15	МПа
Показатель политропы сжатия в компрессоре	n <sub>к</sub>	1,4	
Потери давления в воздушном холодильнике	$\Delta P_{хол}$	0	МПа
Приращение температуры при охлаждении	$\Delta T_{хол}$	0	К
Состав и свойства горючего - Содержание углерода	C	0,855	

-	Содержание водорода	H	0,145	
-	Содержание кислорода	O	0,000	
-	Теплота сгорания	H <sub>u</sub>	43930	кДж/кг
-	Молекулярная масса	m <sub>T</sub>	115	кг/кмоль

Тепловой расчет четырехтактного двигателя с распределенным впрыском топлива позволил получить следующие расчетные значения параметров:

### I. Индикаторные параметры рабочего цикла

Теоретическое среднее индикаторное давление

$$P_{ip} = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[ \frac{\lambda}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] = 1,84 \text{ МПа}$$

Действительное среднее индикаторное давление

$$P_i = \varphi_u \cdot P'_i = 1,7557 \text{ МПа}$$

Индикаторный КПД

$$\eta_i = P_i \cdot l_0 \cdot \alpha / (H_u \cdot \rho_k \eta_V) = 0,4492$$

Индикаторный удельный расход

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i} = 182,46 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$$

### II. Эффективные показатели двигателя

Среднее давление механических потерь и средняя скорость поршня.

Для двигателя аналога ход поршня  $S=79$  мм, тогда подставив его в формулу для определения скорости поршня, получим при  $n_N = 6000 \text{ мин}^{-1}$

$$V_{n.c.p.} = \frac{S \cdot n_N}{3 \cdot 10^4} = 15,8 \text{ м/с}$$

Тогда

$$P_M = 0,034 + 0,0113 \cdot v_{n.c.p.} = 0,2892 \text{ МПа},$$

Среднее эффективное давление

$$P_e = P_i - P_M = 1,4665 \text{ МПа}$$

Механический КПД

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i} = 0,8353$$

Эффективный КПД

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M = 0,375$$

Эффективный удельный расход топлива

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} = 218,579 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$$

Основные параметры цилиндра и двигателя:

Литраж двигателя

$$V_{\lambda} = \frac{30 \cdot \tau \cdot N_e}{P_e \cdot n} = 1,5001 \text{ л}$$

Рабочий  
цилиндра                      объем

$$V_h = \frac{V_{\lambda}}{i} = 0,375 \text{ л}$$

$$S = 79 \text{ мм}$$

Диаметр цилиндра. Так как ход поршня предварительно был принят

$$D = 2 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{V_h / (\pi \cdot S)} = 77,76 \text{ мм}$$

Ход поршня

$$S = D \cdot \frac{S}{D} = 79 \text{ мм}$$

Окончательно, для проектируемого двигателя принимаются значения соответствующие  $D = 77.7 \text{ мм}$  и  $S = 79 \text{ мм}$ .

Площадь поршня

$$F_n = \pi \cdot D^2 / 4 \cdot 100 = 47,51 \text{ см}^2$$

Литраж двигателя

$$V_l = \frac{30 \cdot D^2 \cdot S \cdot i}{4 \cdot 10^6} = 1,5015 \text{ л}$$

Эффективная мощность

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_l \cdot n}{30 \cdot \tau} = 110,09 \text{ кВт}$$

Литровая мощность

$$N_l = \frac{N_e}{V_l} = 73,32 \text{ кВт}$$

Крутящий момент

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} = 175,35 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Часовой расход топлива

$$G_T = N_e \cdot g_e \cdot 10^{-3} = 24,06 \text{ кг/ч}$$

Средняя скорость поршня

$$V_{n.c.p.} = \frac{S \cdot n_N}{3 \cdot 10^4} = 15,8 \text{ м/с}$$

### Внешняя скоростная характеристика

При построении внешних скоростных характеристик используются результаты теплового расчета, проведенного для номинального режима работы двигателя. Построение кривых скоростной характеристики ведется в интервале от  $n_{\min} = 1000 \text{ мин}^{-1}$  до  $n_{\max} = 1,1 \cdot n_N = 1,1 \cdot 6000 = 6600 \text{ мин}^{-1}$ .

Максимальная частота вращения коленчатого вала ограничена следующими факторами:

- условиями качественного протекания рабочего процесса,
- термическим напряжением деталей,
- допустимой величиной инерционных усилий.

А минимальная – определяется условиями устойчивой работы двигателя при полной нагрузке.

Расчетные точки кривых: эффективной мощности, крутящего момента, часового и эффективного расходов топлива определяются по следующим эмпирическим зависимостям от 1000 до 6000  $\text{мин}^{-1}$  через 1000  $\text{мин}^{-1}$ , и далее с 6000  $\text{мин}^{-1}$  до 6600  $\text{мин}^{-1}$ .

Эффективная мощность  $N_{ex}$  на номинальном режиме работы:

$$N_{ex} = N_e \cdot \frac{n_x}{n_N} \cdot \left[ 1 + \frac{n_x}{n_N} - \left( \frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right] = 110,09 \text{ кВт}$$

где  $N_e$  и  $n_N$  - номинальная эффективная мощность (кВт) и частота вращения коленчатого вала ( $\text{мин}^{-1}$ ) при номинальной мощности;  $N_{ex}$  и  $n_x$  - эффективная мощность

(кВт) и частота вращения коленчатого вала ( $\text{мин}^{-1}$ ) в искомой точке скоростной характеристики двигателя.

Точки кривой эффективного крутящего момента ( $H \cdot м$ ) определяют по формуле:

$$M_{ex} = 3 \cdot 10^4 \cdot N_{ex} / (\pi \cdot n_x)$$

Крутящий момент  $M_{ex}$  на номинальном режиме работы:

$$M_{eN} = 3 \cdot 10^4 \cdot N_{eN} / (\pi \cdot n_N) = 175,15 H \cdot м$$

Удельный эффективный расход топлива,  $\text{кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ , на номинальном режиме:

$$g_{ex} = g_{eN} \cdot \left[ 1,2 - 1,2 \cdot n_x / n_N + (n_x / n_N)^2 \right] = 0,374 \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$$

где  $g_{eN}$  - эффективный расход при номинальной мощности,  $\text{кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$ .

Часовой расход топлива, на номинальном режиме соответственно:

$$G_{Tx} = g_{ex} \cdot N_{ex} = 41,14 \text{ кг}/\text{ч}$$

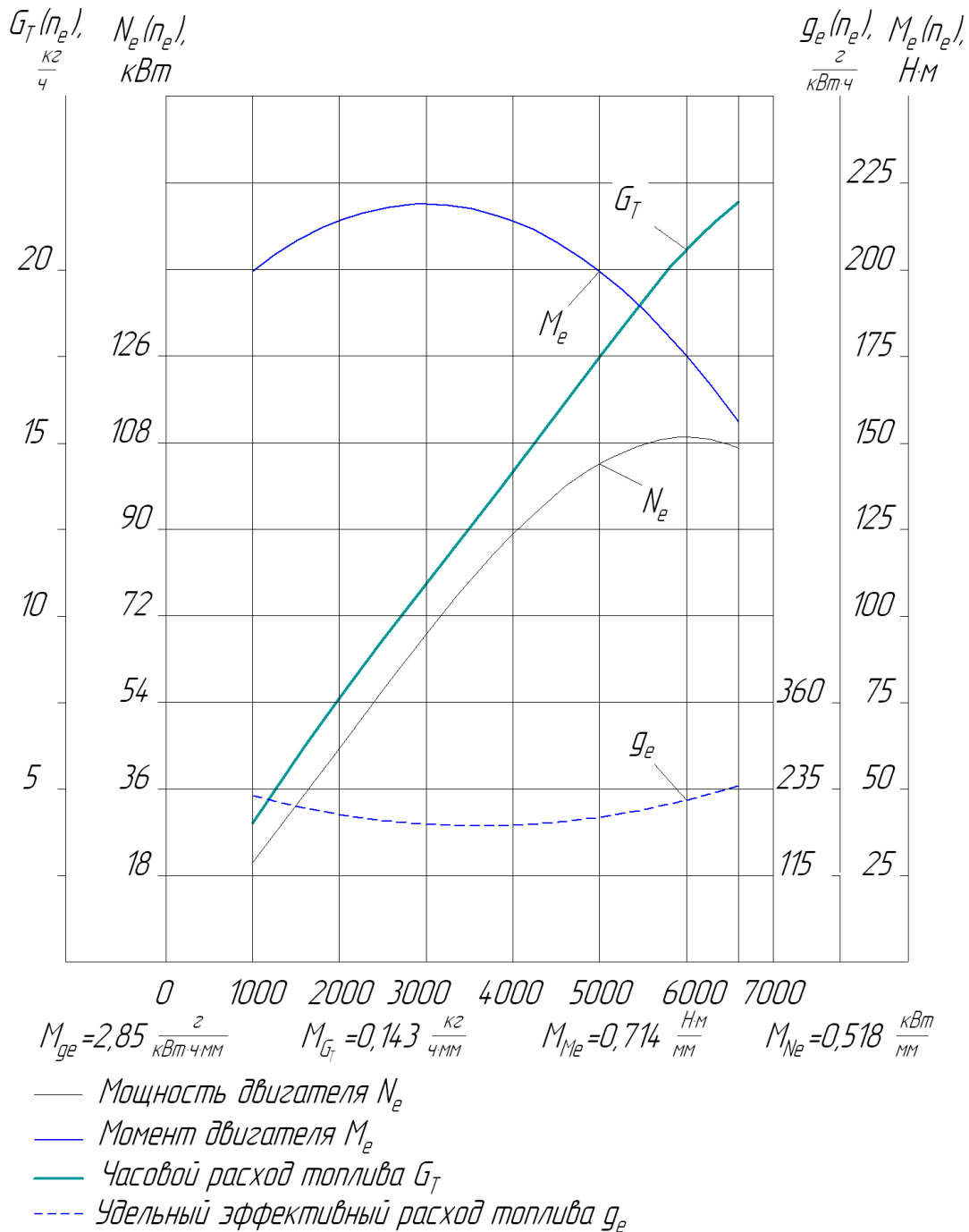
Подсчитанные значения всех вышеназванных параметров ВСХ в зависимости от частоты вращения коленчатого вала занесены в таблицу 3. По рассчитанным точкам в принятых и указанных масштабах построены графики мощности, крутящего момента и расходов топлива.

Вид внешних скоростных характеристик для двигателя представлен на рисунке 10.

**Таблица 3.** Расчетные параметры ВСХ для оппозитного двигателя

п, об/мин	$N_{ex}$ , кВт	$M_{ex}$ , Нм	$g_{ex}$ , кг/кВт*ч	$G_{Tx}$ , кг/ч
1000	20,88	199,49	0,224	4,68
2000	44,81	214,08	0,198	8,91
3000	68,75	218,95	0,185	12,75
4000	89,63	214,08	0,184	16,51
5000	104,4	199,49	0,195	20,37
6000	110,09	175,35	0,218	24,06
6600	107,69	155,89	0,237	25,61

На этих характеристиках для двигателя можно отметить максимальную  $n_{max} = 6600 \text{ об}/\text{мин}$  и минимально устойчивую  $n_{min} = 1000 \text{ об}/\text{мин}$  частоты вращения коленчатого вала при полном открытии дроссельной заслонки. Максимальный крутящий момент двигателя –  $M_{max} = 218,95 H \cdot м$  при  $n_M = 3000 \text{ об}/\text{мин}$ . Максимальное значение мощности –  $N_{max} = 110,09 \text{ кВт}$  при  $n_N = 6000 \text{ об}/\text{мин}$ . Минимальный удельный расход топлива  $g_{min} = 0,183 \text{ кг}/\text{кВт} \cdot \text{ч}$  – при частоте вращения  $n_g = 3600 \text{ об}/\text{мин}$ .



**Рис. 10.** Внешняя скоростная характеристика

**Заключение**

В ходе работы:

1. Произведен тепловой, кинематический, динамический расчеты. Полученные данные позволили определить термодинамические параметры двигателя и геометрические размеры его деталей.
2. В результате анализа требований к современным ДВС выбрана оппозитная схема двигателя, имеющая преимущества по следующим показателям: уравновешенность, меньшая вибронпряженность, низкий центр масс и малые линейные размеры.
3. Приведено описание конструкции оппозитного двигателя внутреннего сгорания, а также принцип функционирования его систем. Приведено описание принципа работы различных систем наддува.
4. Проработана конструкция двигателя и его систем, разработан сборочный чертеж.

5. Выполненная работа может служить основой рабочего проекта отечественного оппозитного двигателя с турбонаддувом.

### **Литература**

1. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для вузов. / А.И. Колчин, В.П. Демидов 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2002. 496 с.
2. Мультимедийное руководство SUBARU Legacy/Outback с 1999 по 2003 гг. выпуска / Издатель: ООО «РМГ Мультимедиа».
3. Патрахальцев Н.Н., Савастенко А.А. Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом. М.: Легион-Автодата, 2004. 176 с.
4. Автомобили и автомобилестроение / Под ред. А.М. Болдина. М: Машиностроение, 1984. 325 с.
5. Конструирование и расчет двигателей внутреннего сгорания: Учебник для вузов / Н.Х. Дьяченко, Б.А. Харитонов, В.М. Петров и др.; Под ред. Н.Х. Дьяченко. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. 392 с.

### **References**

1. Kolchin A.I. Raschet avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej: Uchebnoe posobie dlja vuzov. / A.I. Kolchin, V.P. Demidov 3-e izd., pererab. i dop. M.: Vyssh. shk., 2002. 496 s.
2. Mul'timedijnoe rukovodstvo SUBARU Legacy/Outback s 1999 po 2003 gg. vypuska / Izdatel': ООО «RMG Mul'timedia».
3. Patrah'al'cev N.N., Savastenko A.A. Forsirovanie dvigatelej vnutrennego sgoranija nadduvom. M.: Legion-Avtodata, 2004. 176 s.
4. Avtomobili i avtomobilestroenie / Pod red. A.M. Boldina. M: Mashinostroenie, 1984. 325 s.
5. Konstruirovanie i raschet dvigatelej vnutrennego sgoranija: Uchebnik dlja vtuzov / N.H. D'jachenko, B.A. Haritonov, V.M. Petrov i dr.; Pod red. N.H. D'jachenko. L.: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1979. 392 s.

УДК 62

## **Оппозитный двигатель рабочим объемом 1,5 литра с турбонаддувом**

Тарас Любомирович Черный<sup>а</sup>, Алексей Николаевич Терентьев<sup>а</sup>

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

**Аннотация.** Проведен информационно-конструктивный обзор по оппозитным двигателям аналогам и типам наддува современных двигателей. Проведен тепловой расчет, на основании которого получены технические параметры оппозитного двигателя рабочим объемом 1500 см<sup>3</sup> с турбонаддувом. Рассматриваются расчетные данные основных технических параметров оппозитного двигателя с турбонаддувом. В заключение авторами было приведено описание конструкции оппозитного двигателя внутреннего сгорания, а также принцип функционирования его систем. Приведено описание принципа работы различных систем наддува.

**Ключевые слова:** оппозитный двигатель, рядный двигатель, наддув, турбонаддув, силы инерции, мощность, крутящий момент.