



The History of Land Transport

Has been issued since 2015.
ISSN 2412-2041, E-ISSN 2413-760X
2017. 3(1). Issued 1 times a year

EDITORIAL BOARD

Terentev Aleksei – Izhevsk State Technical University, Izhevsk, 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

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: 1367/4, Stara Vajnorska str.,
Bratislava, Slovakia, Nove Mesto, 831 04

Release date 15.05.17.
Format 21 × 29,7/4.

Website: <http://ejournal38.com/>
E-mail: sochio03@rambler.ru

Headset Georgia.

Founder and Editor: Academic Publishing
House Researcher s.r.o.

Order № HLT-3.

The History of Land Transport

2017

Is.

1



The History of Land Transport

Издается с 2015 г.
ISSN 2412-2041, E-ISSN 2413-760X
2017. 3(1). Выходит 1 раз в год.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Терентьев Алексей – Ижевский государственный технический университет, Ижевск, 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

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: 831 04, Словакия, г. Братислава, Нове Место, ул. Стара Вайнорска, 1367/4

Дата выпуска 15.05.17.

Формат 21 × 29,7/4.

Сайт журнала: <http://ejournal38.com/>
E-mail: sochio03@rambler.ru

Гарнитура Georgia.

Учредитель и издатель: Academic Publishing House Researcher s.r.o.

Заказ № HLT-3.

C O N T E N T S

Articles and Statements

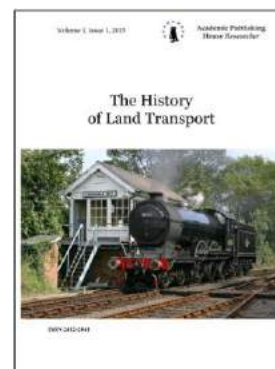
The Development of Transport Infrastructure among Cities with a Cultural Heritage (on the example of Tbilisi, Georgia) G. Giorgadze	4
The Ways of Increase the Efficiency of the Internal Combustion Engine E.A. Knyazev, A.N. Terentev	15
Efficiency Increase of the Internal Combustion Engine E.A. Korepanov	29
A 1.6 Liter Hydrogen and Petrol Engine N.V. Koshcheev	39
The Coordination Modes of the Engine in a Hybrid Power Plant V.A. Naumov, A.N. Terentev	51
Specificity of the Complexity of Transport of Dangerous Goods V.V. Sharikova	59
Classification and Construction Characteristics of Combined Engine A.V. Zorin	70

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): 4-14

DOI: 10.13187/hlt.2017.1.4
www.ejournal38.com



The Development of Transport Infrastructure among Cities with a Cultural Heritage (on the example of Tbilisi, Georgia)

Georgii Giorgadze ^a

^aTbilisi State University, Georgia

Abstract

Tbilisi is a modern capital city with a population above 1 million inhabitants, like many other similar cities is under severe pressure from results of urbanization. The most "heavy" topics for municipal agencies are environmental unbalance and saturation of vehicles in urban space.

An important step in understanding of the coexistence of urban transport and cultural heritage for Tbilisi was the project funded by the European Union to improve the management of the river Mtkvari (Kura). The project is based on the idea of active use of the historic neighborhoods Rica (Peski) and Meidani by way of the festival space on the river Mtkvari.

Keywords: transport infrastructure, cultural heritage, early "urban development", "soft" adaptation and sustainable development, a single continuous highway.

1. Введение

Тбилиси – современный столичный город, с населением выше 1 млн жителей, как и многие другие схожие города находится под жестким давлением результатов урбанизации. Наиболее «тяжелыми» темами для городских муниципальных служб являются экологическая неуравновешанность и перенасыщенность транспортными средствами городского пространства.

Первую из указанных проблем городская Мэрия, в определенной мере решает за счет проводимых мероприятий по озеленению локальных участков, создания новых скверов и рекреационных участков. Все более критичным становится отношение горожан к новостройкам вблизи зеленых массивов. Транспорт в городе остается сверхсложной задачей. Даже номинальное дневное передвижение, необходимое в качестве жизнеобеспечивающих процессов, поглощает колоссальную психологическую энергию, иссякающие кислородные лимиты, львиную долю свободного от работы времени. Опасными последствиями сверхвысокой степени автомобилизации являются: загрязнение окружающей среды, уличный шум, частые дорожно-транспортные происшествия, срывы деловых контактов и логистики из-за продолжительных «пробок».

2. Результаты

Вышеописанные проблемы усугубляются несколькими специфическими факторами, которыми наделена традиционная среда обитания в Тбилиси. Среди этих факторов выделяются: сложный городской рельеф, дефицит свободных от застройки участков, морфологическая структура городской ткани, высокая степень насыщения памятниками истории и зодчества – особенно в центральных районах города. Культурное наследие Тбилиси создавалось веками, неоднократно подвергалось уничтожению в ходе

многочисленных вражеских нашествий и природных катаклизмов, и несмотря на все, городу удавалось вновь и вновь показывать стойкость перед неумолимым ходом истории. Звучит парадоксально, но факт, что в мирное время, неотъемлемая часть технического прогресса – автомобилизация явилась непобедимым врагом многовекового города. По части количества механических средств передвижения, Тбилиси давно обогнал подобные по численности и уровню экономического развития города и некоторые столицы европейских государств. Хроническая нехватка мест парковки толкает водителей на негуманные поступки – автомобили оккупировали подходы к памятникам зодчества, узкие тротуары в исторических кварталах (Рис. 1, 2).



Рис. 1. Заполнение дефицита парковочных мест с захватом пешеходных тротуаров – общая урбанистическая «болезнь» всех, без исключения, кварталов города.



Рис. 2. Доминирование транспорта над пешеходом – расположение автостоянок в непосредственной близости исторических памятников. А. Переполненная частным и общественным транспортом активная туристическая зона Меидани в центре исторического города. В. Стоянка у подножья храма Метехи.

Необдуманнные, скороспелые «градостроительные действия» властей надолго лишают улицы и площади исторического центра возможностей «мягкой» адаптации и устойчивого развития.

В гонке за первенство между транспортом и памятниками увь, все чаще история и зодчество оказываются побежденными. Подобная «гонка» в ближайшем будущем приведет к полному коллапсу городского движения и безвозвратному уничтожению психосоциального комфорта проживания. Наглядным примером такового «урбанистического деяния» является ул. Пушкина, где была проведена масштабная реконструкция и в результате на поверхность «всплыл» целый пласт истории города – останки городской цитадели по всей длине раскопанной улицы.

Город вернул историю в виде интересной цитаты в водовороте транспортных потоков. К сожалению праздник культурного наследия и истории долго не длился – всего пару лет, и власти приняли новое решение – приоритет присвоить транспорту. Вновь была взрыта улица, вновь потрачены немалые городские средства... зодчество и история города вновь перекрыта асфальтом (рис. 3).



А

В

Рис. 3. Скороспелое градостроительное решение – расширение проезжей части ул. Пушкина в Тбилиси с «перекрытием» слоя культурного наследия. А. Вид улицы до расширения проезжей части. В. Современное состояние улицы после перекрытия историческо-культурного слоя дополнительной полосой движения.

Возникают вопросы: Была ли возможность решить проблему не в ущерб транспортному движению и культурному наследию? Принимали ли участие в обсуждении столь важной для города проблемы специалисты высшего разряда, эксперты-урбанисты и просто горожане хорошо знающие историю и культуру своего города? Решения принимаемые властями различных городов, в разное время зависит, в первую очередь от дальновидности этих же властей, конкретных этапов социально-экономического развития города, интеллектуального уровня развития и самосознания горожан и т.п. Убедительно можно заключить одно: верша судьбу городской среды, которая существуют не для единичных чиновников, а для поколений, следует осознавать ответственность перед этими поколениями, проводить многосторонний анализ ситуации, искать альтернативные пути, советоваться.

Градостроительные методы реабилитации застройки, смягчение транспортного влияния на городскую среду.

Современная урбанистика всесторонне изучает городские проблемы. Транспортным вопросам уделяется особое место в многопрофильных исследованиях. В наиболее сложных ситуациях прибегают к целевым экспериментам с круглосуточным мониторингом движения и виртуальному моделированию пространства. Передовые цифровые технологии, например BIM позволяют в режимах 2D-3D-4D (+ временные параметры) - 5D (+ ценовые параметры) разрабатывать, быстро перебрасывать на большие расстояния и получать через обратную связь большие объемы информации, содержащие базовые данные для проектирования и

строительства дорожно-транспортной инфраструктуры, скорректированные инварианты архитектурно-строительных проектов и детальных схем технологической оснастки. В помощь зодчим, искусствоведам и инженерам пришли 3D сканеры, способные с высокой точностью фиксировать в полном объеме масштабные строения, абрисы застройки и сложную топографию местности. С помощью дронов возможно оперативное слежение за динамикой транспортного движения.

На фоне богатого арсенала технических новшеств, урбанпланирование (планирование города в широком понимании термина) градостроительство, технический дизайн и опять-таки архитектура городской среды остаются и всегда будут фигурировать на переднем плане в процессе решения локальных транспортных узлов конкретных районов, кварталов, улиц и площадей. Человеческий фактор остается решающим на протяжении всего процесса проектирования и реализации. Мировая практика показывает, что вдохновителями генеральных концепций, наиболее креативными руководителями мастер планов городов и поселений, а также успешными координаторами процесса осуществления идей являются архитекторы и градостроители с богатым практическим опытом проектирования. Задача властей – всесторонняя поддержка прогрессивных, с точки зрения планирования и экономической целесообразности решений.

Городская власть должна четко следить за перманентное и безотлагательное выполнение намеченных графиков проектных и строительных работ, непрерывностью процесса финансирования, а также проводить глубоко продуманную политику инвестирования проектов формирования и реконструкции дорожно-транспортной инфраструктуры.

В 2005 г. был разработан проект: «Застройка территории прилегающей к ул. Бухайдзе, в р-не Чугурети, Тбилиси» (пилот-проект на участке 0,8 га). Разработке проекта предшествовало комплексное предпроектное исследование проектной территории района площадью 17 га. Исследовательский проект был выполнен по техническому заданию Мэрии г. Тбилиси. Наряду с реконструкцией исторически сложившейся застройки, проект подразумевал ряд планировочных новшеств, в том числе: создание автономной сети общественного обслуживания, обновление жилого фонда, создание экологически безопасной жилой среды, разработку оптимальной схемы транспортного движения и удобного паркования с обособленной пешеходной зоной в виде бульвара-променада (рис. 4, 5) (Chugurei, 2007).



А



В

Рис. 4. Предпроектная исследовательская программа пространственного развития территории прилегающей к ул. Бухайдзе в Тбилиси. Пилот-проект. 2005 г. Руководитель программы и гл. архитектор проекта Г. Гиоргадзе. А. Перспективный вид застройки. В. Схема движения транспорта и пешеходов



Рис. 5. Предпроектная исследовательская программа пространственного развития территории прилегающей к ул. Бухайдзе в Тбилиси. Пилот-проект. 2005 г. Руководитель программы и гл. архитектор проекта Г. Гиоргадзе. Фрагменты застройки, пешеходный бульвар.

В лучших примерах мастер планов европейских городов часто встречаются решения трансформации городских улиц или их частей в пешеходные зоны и бульвары. Города, центральные территории которых расположены на речных набережных, стараются занять эти территории под рекреационные пространства городского значения. Правительства этих городов стремятся субсидировать инфраструктурные проекты реконструкции и реабилитации речных набережных с переносом скоростных магистралей на участках «второго плана» в целях физического и морального оздоровления берегов. В случае Тбилиси все происходило наоборот: город не смог отстоять существующие вплоть до 1950-х гг., на правом берегу р. Мтквари в историческом р-не Ортачала «Ортачальские сады» – озелененные рекреации. Масштабные стройки коммунистической эпохи поглотили «Ортачальские сады», отняв у горожан возможность непосредственного контакта с рекой. Правобережная транспортная магистраль заняла место городского сада (рис. 6). Лишь спустя десятилетия, в наше время стало возможным вернуться к теме совмещения транспорта и ландшафтной архитектуры в черте города. На левом берегу той же реки, на территории Рике (Пески) недалеко от исторических «Ортачальских садов» возник новый городской сад «забрав» часть магистрали предварительно опустив ее в тоннель (рис. 7).

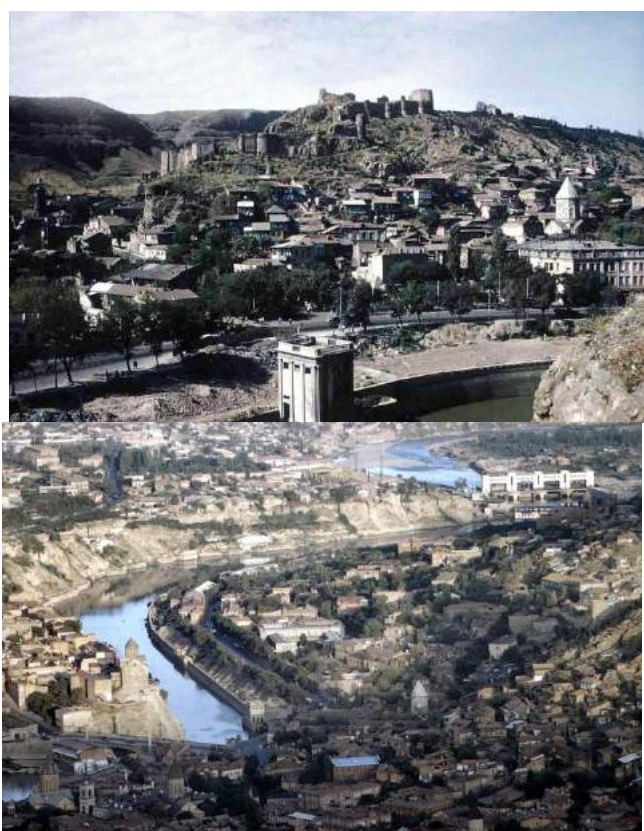


Рис. 6. Строительство скоростной транспортной магистрали на правом берегу р. Мтквари (Кура), в историческом р-не Ортачала, Тбилиси. Фотоархив американского фотографа 1959 г.

Важным этапом в осмыслении сосуществования городского транспорта и культурного наследия для Тбилиси явился проект финансируемый Европейским Союзом по улучшению управления р. Мтквари (Кура) ([Mtkvari River 2012](#)). В проекте заложена идея активного использования исторических кварталов Рике (Пески) и Меидани в виде фестивального пространства на р. Мтквари. В период проведения празднеств, Метехский мост – важный элемент транспортной инфраструктуры трансформируется в составляющую часть пешеходной зоны. Концепция Фестивальной зоны, также определяет городскую площадь Меидани как озелененное пространство с переносом существующей парковки (рис. 8).



Рис. 7. Начальная фаза формирования общественного пространства на левой набережной р. Мтквари (Кура), в историческом р-не Рике (Пески), Тбилиси – создание отрезка пешеходной зоны и городского парка (с переносом транспортной магистрали в тоннель).

В 2015 г. Правительством Тбилиси был организован и проведен международный конкурс по улучшению генерального плана землепользования города. В виде одного из основных требований предъявляемых к конкурсным проектам было выдвинуто требование разработки качественно нового подхода к решению проблемы городского транспорта.

В концепции компании SCP Consultants (Singapore) заслуживает внимание интегрированная транспортная схема с включением существующих и новых транспортных сообщений. В схему вовлечены все виды транспорта. Особый акцент делается на связь аэропорта с центральными районами города с помощью новой линии метрополитена, а также прокладки дополнительных объездных дорог на периферийных территориях, создающих единую непрерывную автомагистраль городского значения (рис. 9) ([Competitive Bid Response, 2015](#)).



Рис. 8. Концепция создания Фестивального Пространства с доминированием пешеходной активности на левой и правой набережных р. Мтквари (Кура), в исторических кварталах Рике (Пески) и Меидани Тбилиси. Рекомендации в Проекте Евросоюза для Тбилиси: Ensuring the Improvement of the Mtkvari River Management in the Tbilisi Area. ECFDC Reference: 061310 (EC Ref 2012/294630). Участие Г. Гиоргадзе в проекте – в качестве городского планировщика.

Our Approach

Our Recommendation

- 1) **Transportation**
- 2) City expressways & major arterials
- 3) Metro & LRT
- 4) Railways – passenger & cargo

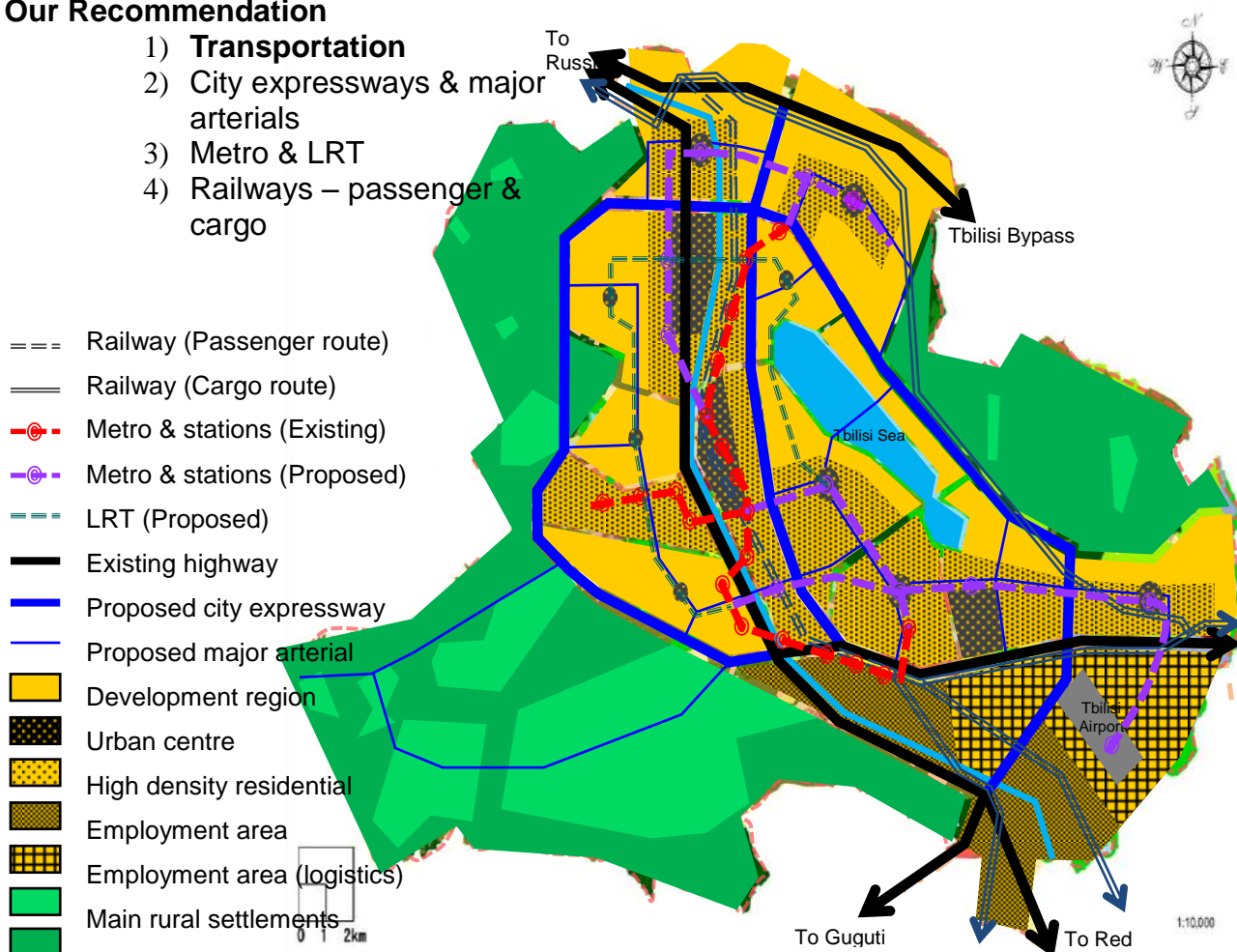


Рис. 9. Модель развития городской транспортной инфраструктуры. Пути и дороги. Проект улучшения Генерального Плана Землепользования Тбилиси, предложенный SCP Consultants (Singapore), Международный конкурс, 2015. Участие Г. Гиоргадзе в проекте – в качестве старшего консультанта.

В проекте, также упорядочено взаимоотношение между транспортной инфраструктурой и культурным наследием. Большая часть памятников истории и зодчества, а также охраняемые законом ландшафтные памятники сосредоточены вдоль р. Мтквари.

Вновь прокладываемые по проекту транспортные сообщения не пересекают зоны культурного наследия, они формируют одновременно объездное и связывающее кольцо (рис. 10). Подобный подход обеспечивает улучшение передвижения в чертах города с наименьшим ущербом для физического состояния сложившейся застройки (рис. 10). Новая кольцевая магистраль с непрерывным движением, также способствует развитию логистических связей.

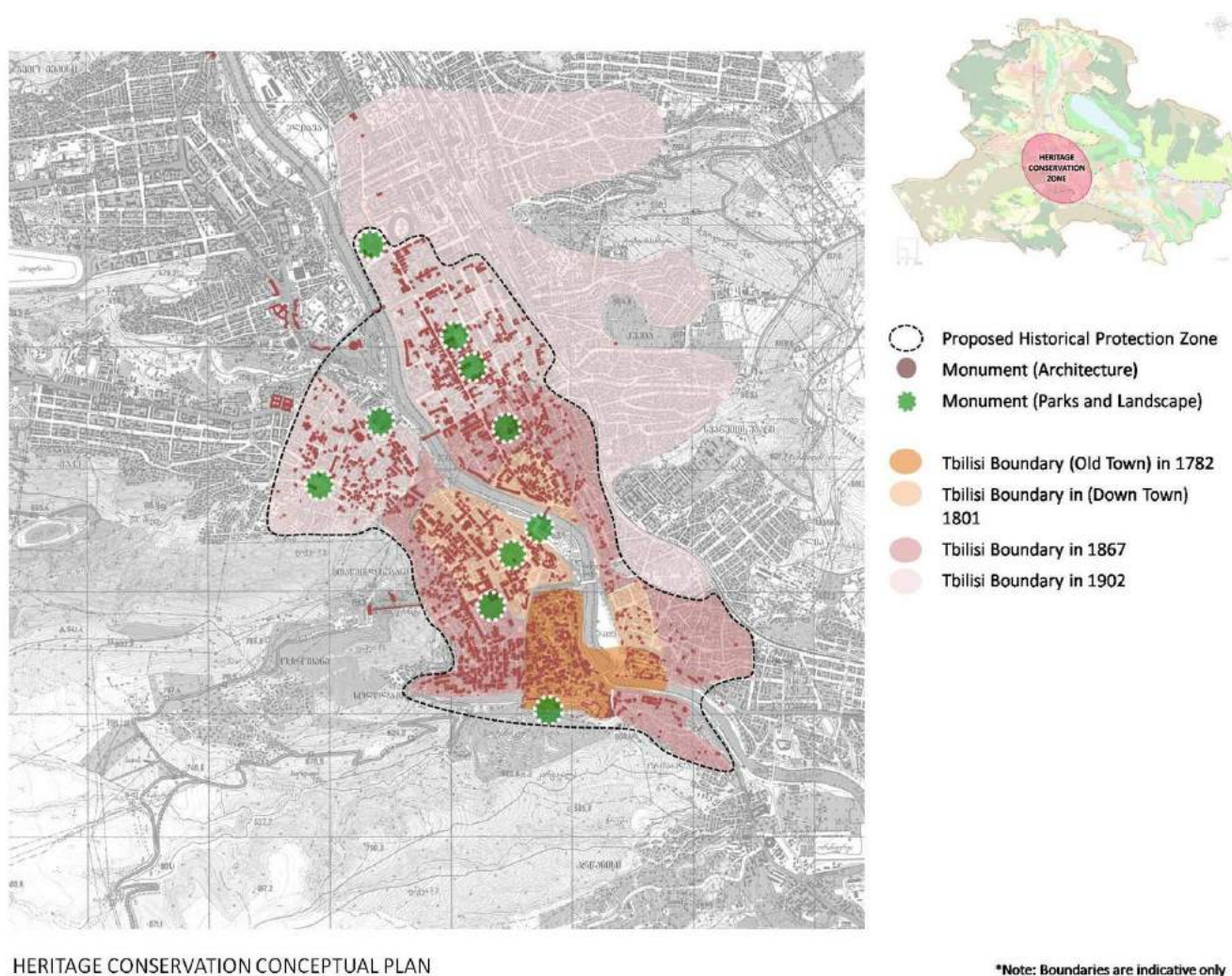


Рис. 10. Концептуальный план консервации и сохранения культурного наследия. Проект улучшения Генерального Плана Землепользования Тбилиси, предложенный SCP Consultants (Singapore), Международный конкурс, 2015. Участие Г. Гиоргадзе в проекте – в качестве старшего консультанта.

3. Заключение

В заключение хотелось бы отметить, что среди возможных рисков связанных с внедрением новых подходов в решении транспортных проблем, следует упомянуть:

- Риски связанные с управлением транспортных проектов и подбором исполняющих кадров. Смягчение – переквалификация и переподготовка штатных сотрудников Городских служб, и в первую очередь муниципальной службы Архитектуры.
- Финансовые риски. Смягчение – придание соответствующим пунктам в городском бюджете степени высокой защищенности («не подлежат секвестру»), забота финансовой службы мэрии для полного и своевременного выполнения всех финансовых обязательств, связанных с проектированием и строительством транспортной инфраструктуры.
- Риски связанные с планированием неотложных мер. Смягчение – периодический мониторинг процесса выявления приоритетов и определения первоочередных мероприятий в сфере городского движения.
- Информационные риски. Смягчение – активная деятельность городской службы по общественным связям и информационного центра мэрии в целях своевременного и полного информирования общественности относительно новых транспортных проектов.

Литература

[Chugurei, 2007](#) – Chugurei Rehabilitation Programme – past and Future. STYLE Magazine, № 25. pp. 116-120.

[Mtkvari River 2012](#) – Mtkvari River Water Management in the Tbilisi Area – Contract nr.2012/294630. European Union, December 2012.

[Competitive Bid Response, 2015](#) – Competitive Bid Response. Revision of General Plan for Land Use of Tbilisi. SCP Consultants Pte Ltd, 2015.

References

[Chugurei, 2007](#) – Chugurei Rehabilitation Programme – past and Future. STYLE Magazine, № 25. pp. 116-120.

[Mtkvari River 2012](#) – Mtkvari River Water Management in the Tbilisi Area – Contract nr.2012/294630. European Union, December 2012.

[Competitive Bid Response, 2015](#) – Competitive Bid Response. Revision of General Plan for Land Use of Tbilisi. SCP Consultants Pte Ltd, 2015.

Развитие транспортной инфраструктуры в городах с культурным наследием (на примере Тбилиси, Грузия)

Георгий Гиоргадзе ^a

^aТбилисский государственный университет, Грузия

Аннотация. Тбилиси – современный столичный город, с населением выше 1 млн жителей, как и многие другие схожие города находится под жестким давлением результатов урбанизации. Наиболее «тяжелыми» темами для городских муниципальных служб являются экологическая неуравновешенность и перенасыщенность транспортными средствами городского пространства.

Важным этапом в осмыслении сосуществования городского транспорта и культурного наследия для Тбилиси явился проект финансируемый Европейским Союзом по улучшению управления р. Мтквари (Кура). В проекте заложена идея активного использования исторических кварталов Рике (Пески) и Меидани в виде фестивального пространства на р. Мтквари.

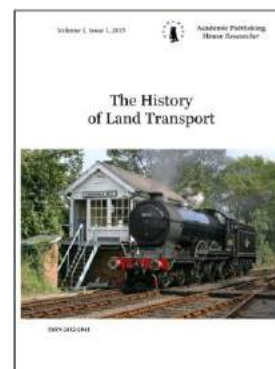
Ключевые слова: транспортная инфраструктура, культурное наследие, скороспелые «градостроительные действия», «мягкая» адаптация и устойчивое развитие, единая непрерывная магистраль.

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): 15-28

DOI: 10.13187/hlt.2017.1.15
www.ejournal38.com



The Ways of Increase the Efficiency of the Internal Combustion Engine

Eugene A. Knyazev ^a, Aleksei N. Terentev ^a

^a Izhevsk state technical university, Russian Federation

Abstract

In the course of work performed review of information on ways to improve the efficiency of the internal combustion engine. The objective of this work was to analyze the ways to improve efficiency. There were two thermal calculation of the internal combustion engine with different compression ratio of 10.5 and 14. Built two gauge charts. Based on these calculations and built charts the conclusion about efficiency of the internal combustion engine.

Keywords: internal combustion engine, efficiency, compression ratio, increase the power.

1. Введение

Двигатель внутреннего сгорания (сокращённо ДВС) — это тип двигателя, тепловая машина, в которой химическая энергия топлива (обычно применяется жидкое или газообразное углеводородное топливо), сгорающего в рабочей зоне, преобразуется в механическую работу. На данный момент ДВС является одним из самых распространённых типов двигателей.

Применение ДВС чрезвычайно разнообразно: их используют на самолётах, автомобилях, тракторах, тепловозах и т.д. Более мощные ДВС устанавливают на речных и морских судах. Несмотря на то, что ДВС являются весьма несовершенным типом тепловых машин (низкий КПД, большой шум, токсичные выбросы, малый ресурс) благодаря своей автономности (необходимое топливо содержит гораздо больше энергии, чем лучшие электрические аккумуляторы) ДВС, по-прежнему, очень широко распространены.

2. Обсуждение и результаты

Основная проблема ДВС – маленький коэффициент полезного действия. Далее рассмотрено несколько вариантов повышения эффективности ДВС (Двигатель внутреннего сгорания).

Степень сжатия. Степень сжатия это отношения полного объёма цилиндра к объёму камеры сгорания. Степень сжатия это один из очень важных технических показателей ДВС. Повышение степени сжатия увеличивает КПД – при сгорании равного объёма топлива двигатель производит больше механической энергии. При повышенной степени сжатия молекулы топлива физически приближаются друг к другу. При этом топливовоздушная смесь имеет более высокую температуру, в результате чего достигается лучшее испарение частичек топлива и их более равномерное перемешивание с воздухом. Для каждого топлива имеется предельное значение степени сжатия. Например, чем выше октановое число бензина, тем выше степень сжатия, при которой может работать двигатель. При превышении допустимой степени сжатия и, соответственно температуры в камере сгорания, двигатель начинает работать с детонацией (самопроизвольное взрывное

воспламенение смеси). Процесс детонации достаточно сложный, а основной причиной детонации является неправильное сгорание топливовоздушной смеси. При работе двигателя с детонацией резко уменьшается эффективность работы двигателя, и более того, возросшие ударные нагрузки могут привести к разрушению двигателя. Сильные стуки во время работы двигателя являются признаком детонации. Этот режим работы очень вреден для двигателя.

Современные электронные системы управления двигателем практически исключили работу двигателя с детонацией, но те, кому пришлось ездить на автомобилях с двигателями, не имеющих электронных систем управления, помнят, что на них режим детонации возникал довольно часто.



Рис. 1. Двигатель внутреннего сгорания

Раньше для повышения октанового числа бензина применялись специальные присадки на основе свинца. Применение этих присадок позволяло поднять степень сжатия до 12.5, но сейчас, в соответствии с законодательными нормами по охране окружающей среды, по причине того, что свинец наносит большой вред окружающей среде, применение присадок на основе свинца запрещено.

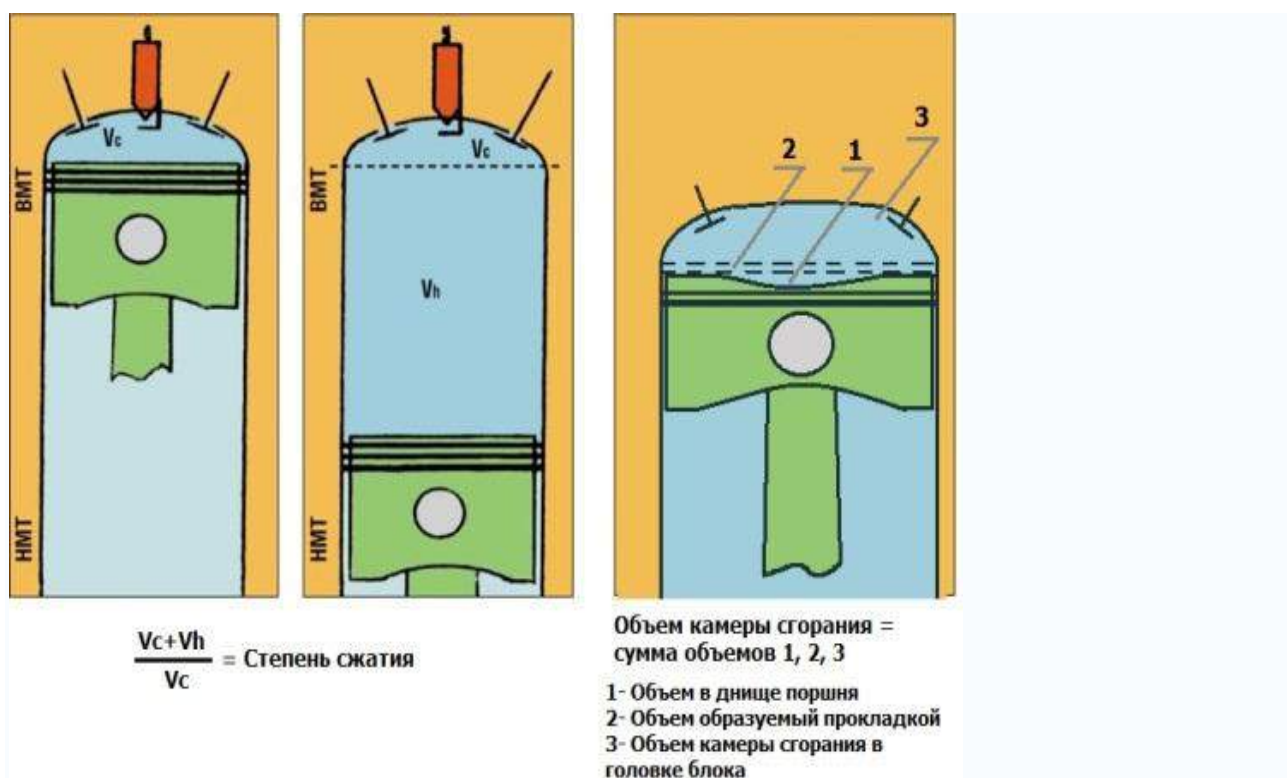


Рис. 2. Степень сжатия

Достижимая в настоящее время степень сжатия современных бензиновых двигателей составляет от 10 до 14. Величина степени сжатия может изменяться не только от качества предполагаемого к использованию топлива, но и от конструкции двигателя. Современные двигатели, имеющие систему управления двигателем с датчиком детонации, позволяют поднять степень сжатия до 12. Такие системы управления, регулируя угол опережения зажигания в каждом отдельном цилиндре, на основе информации, полученной от датчика детонации, позволяют двигателю работать на грани возникновения детонации, но не допускают её. Двигатели с непосредственным впрыском топлива в камеру сгорания из-за особенностей процессов, протекающих в цилиндре, тоже могут работать с повышенной степенью сжатия до 14.

Поскольку воспламенение топлива в дизельных двигателях происходит за счёт нагрева воздуха, находящегося в цилиндре, степень сжатия дизельных двигателей выше, чем бензиновых. Степень сжатия дизельных двигателей лежит в диапазоне от 14 до 23.

Двигатели с принудительным нагнетанием воздуха в цилиндры (турбокомпрессор или механический нагнетатель), как бензиновые, так и дизельные, имеют более низкую степень сжатия по сравнению с атмосферными двигателями. Это вызвано тем, что перед началом такта сжатия в цилиндре находится большая масса воздуха (и топлива). Слишком высокое давление в цилиндре в конце такта сжатия может привести к разрушению двигателя.

Ранее отмечалось, что повышение степени сжатия явление, в целом, очень желательное, но в действительности всё несколько сложнее. ДВС, особенно автомобильный, постоянно работает на различных скоростных и нагрузочных режимах. Научные исследования в данной области показали, что на некоторых режимах двигатель эффективней работает с более низкой степенью сжатия, а на других режимах степень сжатия может быть повышена без риска нанесения повреждений двигателю. Некоторые производители попытались создать двигатель с изменяемой во время работы степенью сжатия. Пионером в этой области, добившимся заметных результатов, был шведский производитель автомобилей SAAB. Работы в этом направлении проводились и другими производителями автомобилей (Мерседес-Бенц). Но до настоящего времени серийные автомобили с изменяемой степенью сжатия на рынке отсутствуют.

КПД двигателя. Повысить КПД двигателя можно следующими способами:

1) повышением механического КПД:

- снижение масс возвратно-поступательно движущихся деталей: поршня, пальца, шатуна;

- снижение трения в контакте «цилиндр - поршень - кольцо»;

- уменьшением числа поршневых колец, снижением их толщины;

2) повышением термического КПД:

- увеличение степени сжатия;

- повышение температуры двигателя.

Задачи разноплановые, но наиболее полно всем этим требованиям отвечает увеличение КПД двигателя с использованием специально подготовленных кованных поршней.



Рис. 3. Кованные поршни

В отличие от серийных, у кованных имеется ряд преимуществ: выше механическая надежность, меньше удельный вес. При всем этом, не смотря на относительно малый вес при сборке, поршневая группа дорабатывается для снижения веса: облегчается юбка, снимаются излишки металла на бобышках пальцев, дорабатывается форма днища поршня. Возможно облегчение и других деталей кривошипно-шатунного механизма и маховика. Очень удачным средством поднятия эффективности двигателя является доработка головки блока цилиндров. Это тривиальный путь форсирования мотора, известный с начала века, но сравнительно мало применяемый из-за большой трудоемкости работ. Прежде всего, требуется доработка впускных и выпускных каналов. Это необходимо для улучшения наполнения цилиндров за счет снижения потерь. При этом необходимо учесть, что смесь газов в каналах движется со звуковыми скоростями (отсюда шум впуска и выпуска). Любые местные нестыковки и шероховатости ведут к торможению потока, соответственно, к ухудшению наполнения и потере мощности (*Степень сжатия...*).

Для сравнения влияния степени сжатия на эффективность работы двигателя проведен тепловой расчет типового двигателя объемом 1,6 литра при работе на различных степенях сжатия и проведена оценка ее влияния.

Таблица 1. Исходные данные

Коэффициент избытка воздуха	α	1	
Давление окружающей среды	P_0	0,1013	МПа
Температура окружающей среды	T_0	293	К
Приращение температуры в процессе подогрева от стенок	ΔT	15	К

Температура остаточных газов	T_r	1040	К
Давление остаточных газов	P_r	0,1099	МПа
Коэффициент, определяющий P_a ,	K_{Pa}	0,85	
Коэффициент использования теплоты в точке z	ξ_z	0,9	
Коэффициент использования теплоты в точке b	ξ_b	0,92	
Коэффициент, учитывающий теплоотдачу в стенку в процессе сжатия	ν	0	
Коэффициент дозарядки	$\zeta_{с.з.}$	1,04	
Коэффициент продувки	$\zeta_{оч}$	1	
Коэффициент, определяющий действительное давление P_z	φ_{Pz}	0,9	
Коэффициент полноты диаграммы	φ_{Pi}	0,95	
Давление наддува	P_k	0	МПа
Показатель политропы сжатия в компрессоре	n_k	0	
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	кДж/кг кг/кмоль
- Содержание водорода	H	0,145	
- Содержание кислорода	O	0,000	
- Теплота сгорания	H_u	43961	
- Молекулярная масса	m_T	115	

Для примера был выбран серийный двигатель ВАЗ 11186 автомобиля Lada Granta технические характеристики, которого приведены в таблице на Рис. 4.

Параметр	Значение
Конфигурация	L
Число цилиндров	4
Объем, л	1,596
Диаметр цилиндра, мм	82,0
Ход поршня, мм	75,6
Степень сжатия	10,5
Число клапанов на цилиндр	2 (1-впуск; 1-выпуск)
Газораспределительный механизм	SOHC
Порядок работы цилиндров	1-3-4-2
Система питания	Распределенный впрыск с электронным управлением
Рекомендованное минимальное октановое число бензина	95
Экологические нормы	Евро 4 (Евро 5)
Вес, кг	112

Рис. 4. Технические характеристики двигателя

Тепловой расчет двигателя ВАЗ 11186 автомобиля Lada Granta

Первый расчет проводится, принимая степень сжатия 10,5 со следующими исходными данными.

Стехиометрическое количество воздуха, теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива и состава С+Н+О (воздух принимают как 0,21 объёмных частей кислорода и 0,79 объёмных частей азота)

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = 0,5119 \text{ кмоль.}$$

Количество свежей смеси на 1 кг топлива для двигателей с внешним смесеобразованием

$$M_1 = \alpha L_0 + \frac{1}{m_T} = 0,5206 \text{ кмоль.}$$

Полное сгорание при $\alpha \geq 1$

Принимают, что продукты полного сгорания состоят из углекислого газа CO_2 , водяного пара H_2O , избыточного кислорода O_2 и азота N_2

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} = 0,0712;$$

$$M_{H_2O} = H/2 = 0,0725;$$

$$M_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)L_0 = 0,0000;$$

$$M_{N_2} = 0,79\alpha L_0 = 0,4044;$$

Общее количество продуктов сгорания

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2} = 0,5482.$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = 1,0529.$$

Давление в начале сжатия

$$P_a = K_{P_a} P_0 = 0,086 \text{ МПа.}$$

Коэффициент наполнения

$$\eta_V = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \zeta_{с.з.} \frac{P_a}{P_0} \left(1 - \frac{\zeta_{cv} \zeta_{оч} P_r}{\zeta_{с.з.} \varepsilon P_a} \right) \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} =$$

$$= 0,8131,$$

где ζ_{cv} - коэффициент, учитывающий неодинаковость теплоёмкостей смеси и остаточных газов и равный

$$= 1,071.$$

Коэффициент остаточных газов

$$\gamma_r = \frac{\zeta_{оч} P_r T_0}{\varepsilon - 1 P_0 T_r \eta_V} = 0,0517.$$

Температура рабочей смеси в начале сжатия

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \zeta_{cv} \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = 349,9 \text{ К.}$$

Действительный коэффициент молекулярного изменения

$$\mu_0 = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = 1,050.$$

Давление в конце сжатия

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1} = 2,130 \text{ МПа,}$$

$$n_1=1,364.$$

Показатель политропы сжатия и расширения находится из трансцендентного уравнения

$$n_i - 1 = \frac{R_\mu (T_k - T_n)}{T_k (c_v)_0^k - A},$$

$$\text{где } T_k = T_n m^{n_i-1},$$

$$\text{для процесса сжатия } i=1, k=c, n=a, m=\varepsilon, A = T_a (c_v)_0^{T_a} + \frac{\vartheta H_u}{M_1(1+\gamma)};$$

$$\text{при адиабатном сжатии } \vartheta = 0, \text{ следовательно } A = T_a (c_v)_0^{T_a}$$

$$\text{для процесса расширения } i=2, k=b, n=z, m=\varepsilon, A = T_z (c_v)_0^{T_z} + \frac{(\xi_b - \xi_z) H_u}{M_1(\mu_0 + \gamma)};$$

$R_\mu=8,1343$ кДж/(кмоль*К) – универсальная газовая постоянная.

Температура в конце сжатия

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} = 824,4 \text{ К.}$$

При $\alpha \geq 1$

$$\chi = 1$$

Уравнение сгорания для бензиновых двигателей:

$$\frac{\xi_z \chi H_u}{M_1(1+\gamma_r)} + \frac{u_{c.c.z} + \gamma_r u_{c.p.c}}{1+\gamma_r} = \mu u_{z.p.c},$$

где ξ_z – коэффициент использования теплоты при сгорании; $u_{c.c.z}$ – молярная внутренняя энергия свежей смеси в конце процесса сжатия (свежего заряда), $u_{c.p.c}$ – молярная внутренняя энергия продуктов сгорания.

Степень повышения давления

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c} = 3,763$$

Молярная внутренняя энергия свежего заряда при температуре t_c , (температура в уравнение молярной внутренней энергии подставляется в °С)

$$u_{c.c.z} = (C_{v.c.z})^{t_c} t_c = 12097 \text{ кДж/кмоль,}$$

где $C_{v.c.z}$ – молярная теплоёмкость свежего заряда (воздуха) при температуре t_c ,

Молярная внутренняя энергия продуктов сгорания при температуре при температуре t_c

$$u_{c.p.c} = \sum r_{кп.с} (C_{v.п.с})^{t_c} t_c = 13439 \text{ кДж/кмоль,}$$

где $r_{кп.с}$ – объёмная доля компонента продуктов сгорания, $C_{v.п.с}$ – молярная теплоёмкость компонента продуктов сгорания при температуре t_c .

Молярная внутренняя энергия продуктов сгорания при температуре при температуре t_z

$$u_{z.p.c} = \sum r_{кп.с} (C_{v.п.с})^{t_z} t_z = 80380 \text{ кДж/кмоль,}$$

где $C_{v.п.с}$ – молярная теплоёмкость компонента продуктов сгорания при температуре t_z .

Объёмная доля компонента продуктов сгорания

$$r_{кп.с} = \frac{M_k}{M_2},$$

где M_k – количество компонента продуктов сгорания, кмоль; например, $r_{CO} = M_{CO}/M_2$

Решая уравнение сгорания, определяем температуру T_z .

$$T_z = 2932,9 \text{ К.}$$

Теоретическое давление в цилиндре в конце сгорания

$$P_z = \mu P_c \cdot \frac{T_z}{T_c} = 7,959 \text{ МПа.}$$

Действительное давление в цилиндре в конце сгорания

$$P_z^A = \varphi_{P_z} P_z = 7,163 \text{ МПа.}$$

Давление конца расширения

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}} = 0,278 \text{ МПа,}$$

$$n_2 = 1,427.$$

n_2 – показатель политропы расширения.

Температура конца расширения

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}} = 1074,9 \text{ К.}$$

Среднее индикаторное давление

$$P_{ip} = \frac{P_c}{\varepsilon_d - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] = 0,845 \text{ МПа.}$$

Индикаторная мощность двигателя (где V_h – рабочий объём одного цилиндра)

$$N_i = \frac{P_i \cdot i \cdot V_h \cdot n}{60} = 57,34 \text{ кВт.}$$

Индикаторный к.п.д.

$$\eta_i = \frac{P_i R_{\mu} M_1 T_0}{H_u \eta_v P_0} = 0,2959.$$

Удельный индикаторный расход топлива

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i} = 0,2768 \text{ кг/(кВт*ч).}$$

Мощность механических потерь

$$N_M = n \cdot i \cdot V_h \cdot P_{\text{мех}} (1 - f_{\text{выхлоп}}) = 14,16 \text{ кВт,}$$

где $P_{\text{мех}} = A + B C_M$ - среднее давление механических потерь, где A и B - коэффициенты

устанавливаемые экспериментально, средняя скорость поршня - $C_M = \frac{S \cdot n}{30}$

Эффективная индикаторная мощность двигателя

$$N_e = N_i - N_M = 43,18 \text{ кВт.}$$

Механический к.п.д.

$$\eta_M = \frac{N_e}{N_i} = 0,7530.$$

Эффективный к.п.д.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M = 0,2228.$$

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_M} = 0,3675 \text{ кг/(кВт*ч).}$$

Литровая мощность

$$N_{\text{ел}} = \frac{N_e}{i \cdot V_h} = 27,04 \text{ кВт/л.}$$

Часовой расход топлива

$$G_T = g_e \cdot N_e = 15,87 \text{ кг/ч.}$$

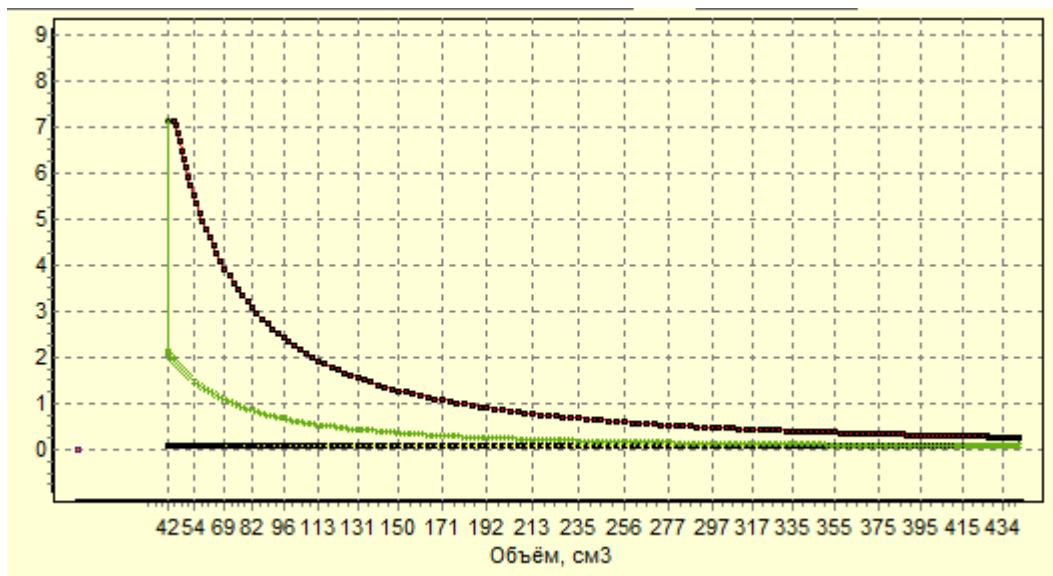


Рис. 4. Индикаторная диаграмма со степенью сжатия 10,5.

Проводим аналогичный тепловой расчет для этого же двигателя, но со степенью сжатия 14.

Исходные данные аналогичные предыдущему расчету.

Стехиометрическое количество воздуха, теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива и состава С+Н+О (воздух принимают как 0,21 объёмных частей кислорода и 0,79 объёмных частей азота)

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = 0,5119 \text{ кмоль.}$$

Количество свежей смеси на 1 кг топлива для двигателей с внешним смесеобразованием

$$M_1 = \alpha L_0 + \frac{1}{m_T} = 0,5206 \text{ кмоль.}$$

Полное сгорание при $\alpha \geq 1$

Принимают, что продукты полного сгорания состоят из углекислого газа CO_2 , водяного пара H_2O , избыточного кислорода O_2 и азота N_2

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} = 0,0712;$$

$$M_{H_2O} = H/2 = 0,0725;$$

$$M_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)L_0 = 0,0000;$$

$$M_{N_2} = 0,79\alpha L_0 = 0,4044;$$

Общее количество продуктов сгорания

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2} = 0,5482.$$

Коэффициент молекулярного изменения свежей смеси

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = 1,0529.$$

Давление в начале сжатия

$$P_a = K_{P_a} P_0 = 0,086 \text{ МПа.}$$

Коэффициент наполнения

$$\eta_V = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \zeta_{c.з.} \frac{P_a}{P_0} \left(1 - \frac{\zeta_{cv} \zeta_{оч} P_r}{\zeta_{c.з.} \varepsilon P_a} \right) \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} =$$

$$= 0,8206 ,$$

где ζ_{cv} – коэффициент, учитывающий неодинаковость теплоёмкостей смеси и остаточных газов и равный

$$= 1,071 .$$

Коэффициент остаточных газов

$$\gamma_r = \frac{\zeta_{оч} P_r T_0}{\varepsilon - 1 P_0 T_r \eta_V} = 0,0419 .$$

Температура рабочей смеси в начале сжатия

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \zeta_{cv} \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = 338,6 \text{ К.}$$

Действительный коэффициент молекулярного изменения

$$\mu_0 = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = 1,051 .$$

Давление в конце сжатия

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1} = 3,134 \text{ МПа,}$$

$$n_1 = 1,362 .$$

Показатель политропы сжатия и расширения находится из трансцендентного уравнения

$$n_i - 1 = \frac{R_\mu (T_k - T_n)}{T_k (c_v)_0^{T_k} - A} ,$$

где $T_k = T_n m^{n_i - 1}$,

для процесса сжатия $i=1, k=c, n=a, m=\varepsilon, A = T_a (c_v)_0^{T_a} + \frac{9H_u}{M_1(1+\gamma)}$;

при адиабатном сжатии $\vartheta = 0$, следовательно $A = T_a (c_v)_0^{T_a}$

для процесса расширения $i=2, k=b, n=z, m=\varepsilon, A = T_z (c_v)_0^{T_z} + \frac{(\xi_b - \xi_z)H_u}{M_1(\mu_0 + \gamma)}$;

$R_\mu = 8,1343 \text{ кДж/(кмоль*К)}$ – универсальная газовая постоянная.

Температура в конце сжатия

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1} = 880,3 \text{ К.}$$

При $\alpha \geq 1$

$$\chi = 1$$

Уравнение сгорания для бензиновых двигателей:

$$\frac{\xi_z \chi H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + \frac{u_{c.з.} + \gamma_r u_{c.п.с.}}{1 + \gamma_r} = \mu u_{z.п.с.} ,$$

где ξ_z – коэффициент использования теплоты при сгорании,; $u_{c.з.}$ – молярная внутренняя энергия свежей смеси в конце процесса сжатия (свежего заряда), $u_{c.п.с.}$ – молярная внутренняя энергия продуктов сгорания.

Степень повышения давления

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c} = 3,565$$

Молярная внутренняя энергия свежего заряда при температуре t_c , (температура в уравнение молярной внутренней энергии подставляется в °С)

$$u_{c.c.3} = (C_{v.c.3})^{t_c} t_c = 13430 \text{ кДж/кмоль},$$

где $C_{v.c.3}$ – молярная теплоёмкость свежего заряда (воздуха) при температуре t_c ,
Молярная внутренняя энергия продуктов сгорания при температуре при температуре t_c

$$u_{c.п.3} = \sum r_{к.п.с} (C_{v.п.с})^{t_c} t_c = 14950 \text{ кДж/кмоль},$$

где $r_{к.п.с}$ – объёмная доля компонента продуктов сгорания, $C_{v.п.с}$ – молярная теплоёмкость компонента продуктов сгорания при температуре t_c . (Колчин, Демидов, 2002)

Молярная внутренняя энергия продуктов сгорания при температуре при температуре t_z

$$u_{z.п.3} = \sum r_{к.п.с} (C_{v.п.с})^{t_z} t_z = 82256 \text{ кДж/кмоль},$$

где $C_{v.п.с}$ – молярная теплоёмкость компонента продуктов сгорания при температуре t_z .
Объёмная доля компонента продуктов сгорания

$$r_{к.п.с} = \frac{M_k}{M_2},$$

где M_k – количество компонента продуктов сгорания, кмоль; например, $r_{CO} = M_{CO}/M_2$

Решая уравнение сгорания, определяем температуру T_z .

$$T_z = 2987,4 \text{ К.}$$

Теоретическое давление в цилиндре в конце сгорания

$$P_z = \mu P_c \cdot \frac{T_z}{T_c} = 11,175 \text{ МПа.}$$

Действительное давление в цилиндре в конце сгорания

$$P^d_z = \varphi_{P_z} P_z = 10,057 \text{ МПа.}$$

Давление конца расширения

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}} = 0,261 \text{ МПа,}$$

$$n_2 = 1,423.$$

n_2 – показатель политропы расширения.

Температура конца расширения

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}} = 977,8 \text{ К.}$$

Среднее индикаторное давление

$$P_{ip} = \frac{P_c}{\varepsilon_d - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] = 0,909 \text{ МПа.}$$

Индикаторная мощность двигателя (где V_h – рабочий объём одного цилиндра)

$$N_i = \frac{P_i \cdot i \cdot V_h \cdot n}{60} = 61,68 \text{ кВт.}$$

Индикаторный к.п.д.

$$\eta_i = \frac{P_i R_\mu M_1 T_0}{H_u \eta_v P_0} = 0,3154.$$

Удельный индикаторный расход топлива

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i} = 0,2597 \text{ кг/(кВт*ч).}$$

Мощность механических потерь

$$N_M = n \cdot i \cdot V_h \cdot P_{мех} (1 - f_{выхлоп}) = 14,16 \text{ кВт,}$$

где $P_{\text{мех}}=A+BC_M$ - среднее давление механических потерь, где А и В - коэффициенты устанавливаемые экспериментально, средняя скорость поршня - $C_M = \frac{S \cdot n}{30}$

Эффективная мощность двигателя

$$N_e = N_i - N_M = 47,52 \text{ кВт.}$$

Механический к.п.д.

$$\eta_M = \frac{N_e}{N_i} = 0,7704.$$

Эффективный к.п.д.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M = 0,2430.$$

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_M} = 0,3370 \text{ кг/(кВт*ч).}$$

Литровая мощность

$$N_{\text{ел}} = \frac{N_e}{i \cdot V_h} = 29,75 \text{ кВт/л.}$$

Часовой расход топлива

$$G_T = g_e \cdot N_e = 16,02 \text{ кг/ч.}$$

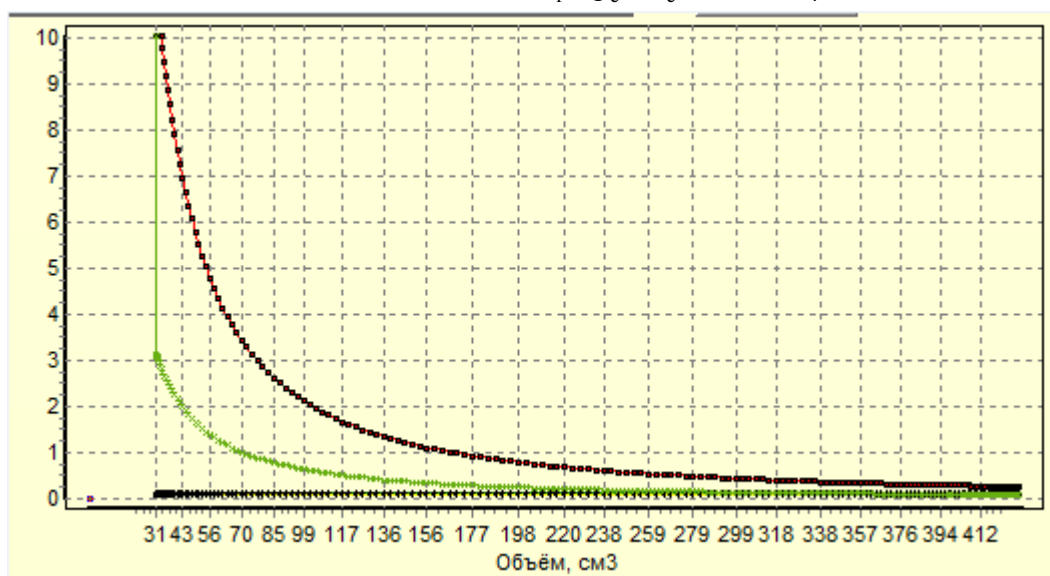


Рис. 5. Индикаторная диаграмма со степенью сжатия 14

На основании проведенных тепловых расчетов можно сделать вывод, что двигатель со степенью сжатия 14 эффективнее двигателя со степенью сжатия 10,5: мощность двигателя выросла на 4,34 % или 5,9 л. с.; эффективный КПД вырос на 9 %; эффективный удельный расход топлива снизился на 8 %. Теоретическое давление в цилиндре в конце сгорания увеличилось на 4,012 МПа.

Таблица 3. Увеличение мощности двигателя с увеличением степени сжатия

Увеличение степени сжатия	Прибавка мощности ДВС
с 8 до 9	2,0%
с 9 до 10	1,7%
с 10 до 11	1,5%
с 11 до 12	1,3%
с 12 до 13	1,2%
с 13 до 14	1,1%
с 14 до 15	1,0%
с 15 до 16	0,9%
с 16 до 17	0,8%

Промежуточные результаты суммируются, например поднятие степени сжатия с 8 до 14 даст прибавку мощности до 8.7 % (**Степень сжатия**).

Таблица 4. Степень сжатия и октановое число бензина

Степень сжатия	Бензин
от 9 до 10.5	АИ 92
от 10 до 12.5	АИ 95
от 12 до 14.5	АИ 98

Для увеличения мощности и суммарного КПД ДВС рекомендуется провести следующий объем работ по доработке каналов и клапанов:

- увеличение диаметра канала;
- изменение геометрии и выведение необходимых радиусов закруглений;
- доработка седла клапана;
- шлифовка острых кромок седла, которые создают сильное сопротивление
- совмещение коллекторов с каналами в головке блока;
- шлифовка каналов и впускного коллектора до чистоты 4-5 классов;
- облегчение клапана и увеличение поперечного сечения (высокая чистота обработки

поверхности клапана резко снижает риск прогара клапана, улучшает охлаждение тарелки.).

В целом, в результате всех этих действий возможно увеличение эффективной мощности до 20%.

3. Заключение

Повышение степени сжатия в общем случае увеличивает эффективность двигателя, повышает его КПД и способствует снижению расхода топлива. С другой стороны, увеличение степени сжатия способствует появлению детонации. Чтобы этого избежать, можно например, использовать бензин с более высоким октановым числом. Кроме этого при поднятии степени сжатия повышается нагрузка на детали кривошипно-шатунного механизма, что можно компенсировать, в частности, использованием кованных поршней.

Литература

Ардашев, 2016 – Ардашев А.В. Водородный автомобиль // *Первый шаг в науку*. 2016. № 7-8. С. 23-27.

Двигатель внутреннего сгорания – Двигатель внутреннего сгорания. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dok.opredelim.com/docs/index-12892.html>. Дата обращения 10.01.2017.

Дьяченко и др., 1979 – 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.

Колчин, Демидов, 2002 – *Колчин А.И., Демидов В.П.* Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш.шк., 2002. 496 с.

Кузнецов, 2016 – *Кузнецов И.В.* Перспективы газотурбинного двигателя для автомобиля // *Первый шаг в науку*. 2016. № 7-8. С. 31-33.

Мингалеев, 2016 – *Мингалеев Д.М.* Автомобильный двигатель на дровах // *Первый шаг в науку*. 2016. № 7-8. С. 28-30.

Степень сжатия – Степень сжатия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://лада2111.рф/tuning-kapota/1320-stepen-szhatiya-motor-auto-vaz.html>. Дата обращения 10.01.2017.

Степень сжатия... – Степень сжатия и компрессия в ДВС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.drive2.ru/b/2976654/>. Дата обращения 10.01.2017.

References

Ardashev, 2016 – *Ardashev A.V.* (2016). Vodorodnyi avtomobil'. *Pervyi shag v nauku*. 2016. № 7-8. pp. 23-27.

Dvigatel' vnutrennego sgoraniya – Dvigatel' vnutrennego sgoraniya. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://dok.opredelim.com/docs/index-12892.html>. Data obrashcheniya 10.01.2017.

D'yachenko i dr., 1979 – Konstruirovaniye i raschet dvigatelei vnutrennego sgoraniya: Uchebnik dlya vtuzov / N.Kh. D'yachenko, B.A. Kharitonov, V.M. Petrov i dr. Pod red. N.Kh. D'yachenko. L: Mashinostroeniye. Leningr. otd-nie, 1979. 392 p.

Kolchin, Demidov, 2002 – Kolchin A.I., Demidov V.P. Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigatelei: Uchebnoye posobie dlya vuzov. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Vyssh. shk., 2002. 496 p.

Kuznetsov, 2016 – *Kuznetsov I.V.* Perspektivy gazoturbinnogo dvigatelya dlya avtomobilya // *Pervyi shag v nauku*. 2016. № 7-8. pp. 31-33.

Mingaleev, 2016 – *Mingaleev D.M.* Avtomobil'nyi dvigatel' na drovakh // *Pervyi shag v nauku*. 2016. № 7-8. pp. 28-30.

Stepen' szhatiya – Stepen' szhatiya. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://лада2111.рф/tuning-kapota/1320-stepen-szhatiya-motor-auto-vaz.html>. Data obrashcheniya 10.01.2017.

Stepen' szhatiya... – Stepen' szhatiya i kompressiya v DVS [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.drive2.ru/b/2976654/>. Data obrashcheniya 10.01.2017.

Пути повышения эффективности двигателя внутреннего сгорания

Евгений Александрович Князев ^a, Алексей Николаевич Терентьев ^a

^a Ижевский государственный технический университет, Российская Федерация

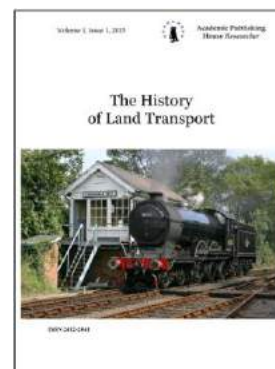
Аннотация. В ходе работы выполнен информационный обзор о способах повышения эффективности двигателя внутреннего сгорания. Задачей работы являлось проанализировать способы повышения эффективности. Были проведены два тепловых расчета двигателя внутреннего сгорания с различной степенью сжатия 10,5 и 14. Построены две индикаторные диаграммы. На основании полученных расчетов и построенных диаграмм сделан вывод об эффективности двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, эффективность, степень сжатия, коэффициент полезного действия, повышение мощности.



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): 29-38

DOI: 10.13187/hlt.2017.1.29
www.ejournal38.com



Efficiency Increase of the Internal Combustion Engine

Eugene A. Korepanov ^a

^a Izhevsk state technical university, Russian Federation

Abstract

In the course of the work, a review and analysis of the work on the creation of engines with variable compression ratio was performed. The task of the work is to analyze the effect of compression on the effective performance of the engine. Two thermal calculations of the internal combustion power with different compression ratios of 10.3 and 14 were carried out. Two indicator diagrams were constructed. Tax accounting and economic statistics.

Keywords: internal combustion engine, efficiency, compression ratio, increase the power.

1. Введение

В современном мире общая мощность поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) составляет 80–85 % мощности всех установок мировой энергетики, при этом эффективный КПД таких двигателей составляет всего 25–40 %. В связи с надвигающимся глобальным нефтяным кризисом предлагается много решений направленных на его перенос на более долгосрочную перспективу, одним из таких решений является увеличение эффективности используемых двигателей. Над этой проблемой работает ряд ведущих промышленно развитых стран. Наиболее серьезно работы ведутся в Японии и в США, где для повышения эффективности разрабатывают двигатели с высокими степенями сжатия.

2. Обсуждение

Обзор и анализ работ по созданию двигателей с переменной степенью сжатия

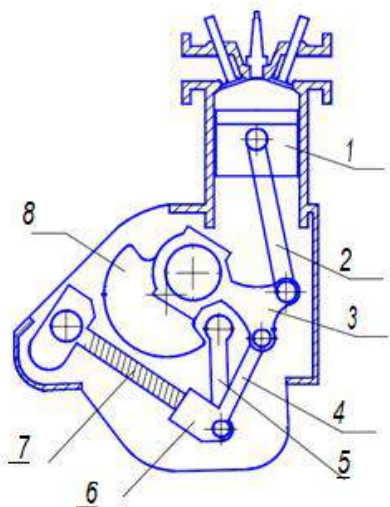
Работы по разработке и исследованию двигателей с переменной степенью сжатия ведутся в США, Японии, Германии, Австралии, Швейцарии, России и др. странах. В настоящее время еще не решены проблемы, препятствующие реализации изменения степени сжатия в ДВС. В данной работе, были рассмотрены существующие разработки и проведена оценка влияния переменной степени сжатия на рабочий процесс и, следовательно, на основные показатели ДВС.

Исследовательская лаборатория фирмы Sandia (США) и фирма ERDA (Австралия) по предложенной инженером Н. Pouliot схеме разработали автомобильный пятицилиндровый двигатель водяного охлаждения с переменным ходом поршня (Архангельский и др., 1977).

Мощность двигателя изменяется за счет изменения рабочего объема от 0,7 до 3,1 л путем регулирования хода поршня в пределах $S = 25,4...108$ мм. Дросселирование применяется только на холостом ходу и малых нагрузках.

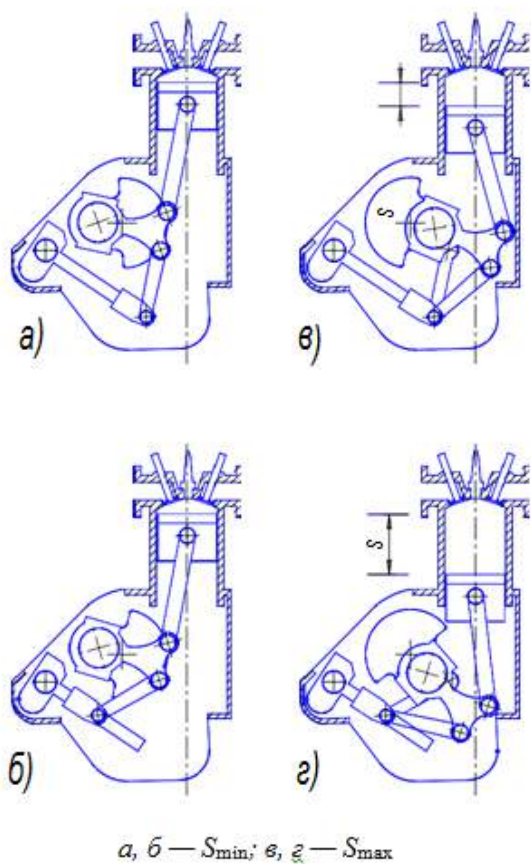
В двигателе Н. Pouliot (см. Рис. 1) ход поршня изменяют вворачиванием винта 7 в гайку 6 с помощью электродвигателя. Полное изменение хода поршня происходит приблизительно за 3 с.

На Рис. 2 показаны положения механизма изменения хода поршня при различных углах поворота коленчатого вала в двигателе Н. Pouliot.



1 — поршень; 2 — шатун поршня; 3 — шатун кривошипа; 4 — управляющий шатун; 5 — управляющая штанга; 6 — гайка; 7 — винт; 8 — коленчатый вал

Рис. 1. Схема двигателя с переменным ходом поршня конструкции Н. Pouliot



a, б — S_{min} ; *в, г* — S_{max}

Рис. 2. Положения поршня в ВМТ и НМТ при различных значениях хода поршня двигателя конструкции Н. Pouliot

В 2000 году разработан в ГНЦ НАМИ двигатель с переменным ходом поршня. Авторы разработки, такой механизм изменения хода поршня назвали траверсным (коромысловым) (Кутенев и др., 1998).

В двигателе (Рис. 3) к кривошипной шейке 7 коленчатого вала крепится двулучий рычаг (коромысло) – траверса 5, которая соединена с поршнем через главный шатун 6 и с эксцентриковым валом 3, расположенным в блоке цилиндров, посредством дополнительного шатуна 4. При повороте эксцентрика одновременно изменяются положения: центра качания дополнительного шатуна и верхней мертвой точки (поз. 1 и 2), а, следовательно, происходит регулирование степени сжатия. Степень сжатия в таком двигателе изменяется в диапазоне – от 7,5 до 14.

Как показали расчеты ГНЦ НАМИ, экономия топлива в двигателе с изменением степени сжатия от 7,5 (максимальная нагрузка) до 14 (холостой ход) превышает 15 %.

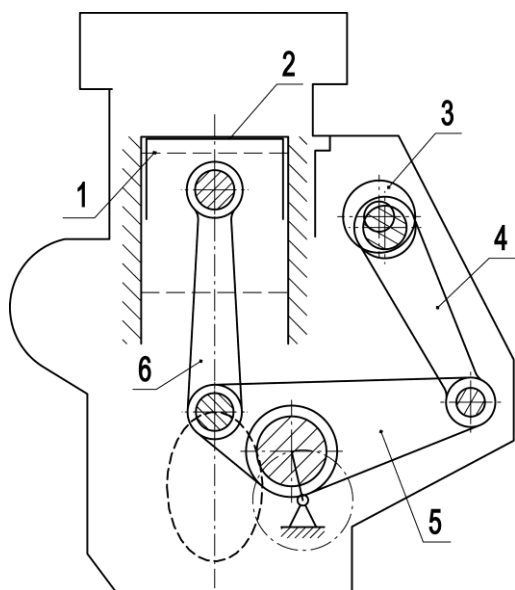


Рис. 3. Принципиальная схема двигателя с траверсным механизмом изменения степени сжатия

3. Результаты

Сравнительный анализ двигателей Н. Pouliot и ГНЦ НАМИ показал, что при частичных нагрузках экономические показатели у обоих двигателей практически одинаковы.

Интересным конструктивным решением является новый бензиновый двигатель с переменной степенью сжатия Saab Variable Compression (SVC), созданный на протяжении последних 20 лет шведской фирмой Saab (**Variable Kompression**). Автором идеи такого двигателя является известный шведский специалист по турбо-наддуву ДВС инженер Пер Гилбрандт (Голубовский, 2000). В середине 1990-х годов прошлого века фирма Saab представила автомобиль с этим двигателем на одном из наиболее престижных европейских салонов – Женевском (Воробьев-Обухов, Гзовский, 2000). Внешний вид двигателя SVC показан на Рис. 4.



Рис. 4. Внешний вид двигателя SVC

Двигатель Saab SVC рядный пятицилиндровый рабочим объемом цилиндров 1,6 л ($D = 68 \text{ мм}$, $S = 88 \text{ мм}$) развивает мощность 165 кВт при частоте вращения $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$, давлении турбонаддува 0,28 МПа и степени сжатия 8.

Степень сжатия изменяется плавно от 14 на холостом ходу до 8 при максимальной мощности. Система SVC поддерживает на частичных режимах работы двигателя степень сжатия в пределах 10...12, обеспечивая процесс сгорания на границе детонации и получая при этом максимально возможный КПД.

Верхняя часть двигателя (Рис. 5) – моноблок: головка и блок цилиндров отлиты заодно, чтобы обеспечить полную герметичность камеры сгорания при высоких давлениях сгорания. Моноблок установлен на шарнирах и может качаться относительно неподвижной нижней части двигателя, представляющей собой картер с размещенным в нем коленчатым валом.

Регулирование степени сжатия осуществляется изменением углового положения моноблока относительно неподвижной оси коленчатого вала. Отклонение (качание) моноблока происходит с помощью дополнительных шатунов с эксцентриковым валом и коромысел. Для поворота эксцентрикового вала служит активатор, представляющий собой дополнительный гидронасос с приводом от коленчатого вала. Моноблок уплотнен в месте соединения с картером гофрированной прокладкой.

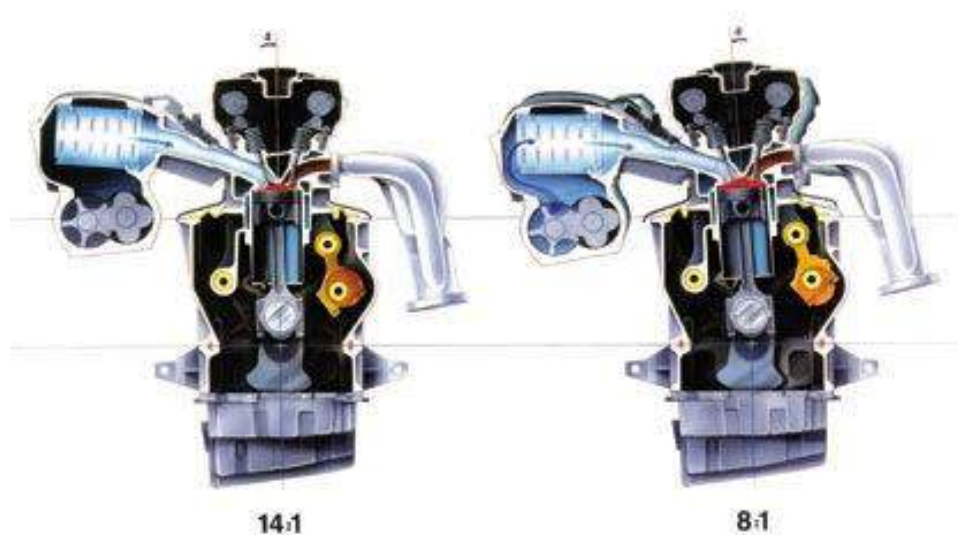


Рис. 5. Двигатель SVC (поперечный разрез)

Как показали результаты испытаний, двигатель SVC имеет высокую топливную экономичность. Кроме того, была заметно снижена эмиссия CO, NOx и CH, что позволяло двигателю с системой SVC отвечать всем действующим и даже предполагаемым в будущем экологическим нормам. К сожалению, авторы разработки не сообщали о значениях экономических и экологических показателей двигателя. Двигатель SVC имеет недостатки, присущие рассмотренным двигателям, которые имеют эксцентриковый вал и дополнительные шатуны.

Для сравнения влияния степени сжатия на параметры работы двигателя проведен тепловой расчет типового двигателя объемом 1,6 литра при работе на различных степенях сжатия и проведена оценка ее влияния.

Для примера был выбран серийный двигатель ВАЗ 21126 автомобиля Lada Priora технические характеристики которого приведены в [Табл. 1](#).

Таблица 1. Характеристики двигателя ВАЗ-21126

№ п/п	Параметры	Ед.	Значение
1	Количество цилиндров	шт	4
2	Рабочий объем	л	1,597
3	Диаметр цилиндров	мм	82
4	Ход поршня	мм	75,6
5	Степень сжатия		10,3
6	Номинальная мощность двигателя	кВт	72
7	Частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности	мин ⁻¹	5600
8	Частота вращения коленчатого вала на холостом ходу	мин ⁻¹	840

Тепловой расчет двигателя ВАЗ 21126 автомобиля Lada Priora

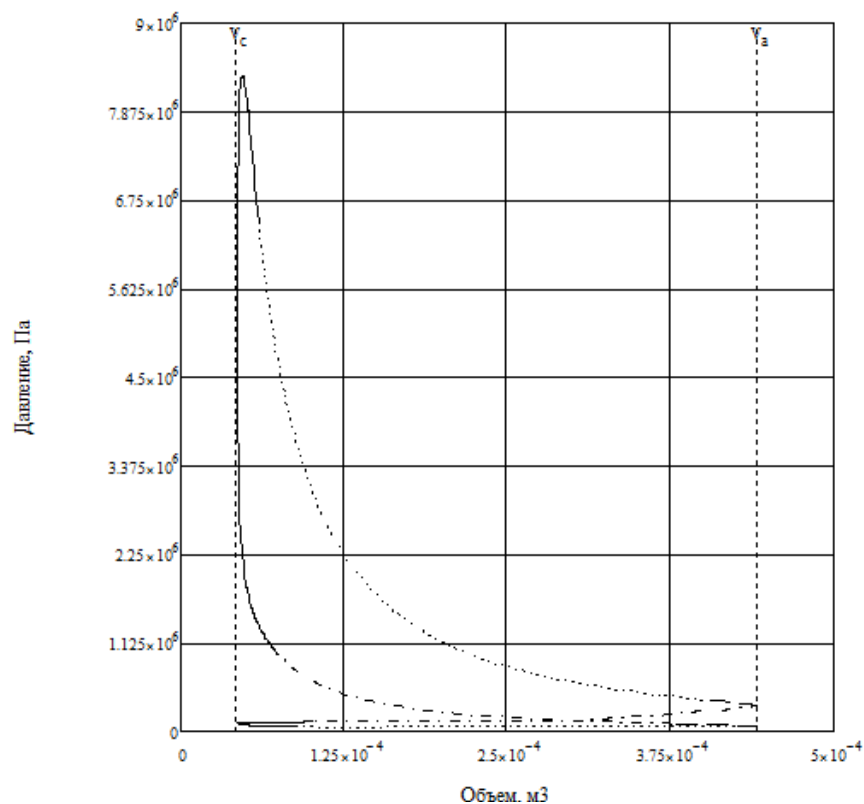
Первый расчет проводился, принимая стандартную степень сжатия 10,3 со следующими исходными данными.

Таблица 2. Исходные данные для теплового расчета

Параметры	Обозначение	Значение	Ед.
Коэффициент избытка воздуха	α	0,96	-
Давление окружающей среды	P_o	0,1	МПа
Давление на впуске	P_k	0,112	МПа
Температура окружающей среды	T_o	293	К
Температура стенок камеры сгорания	T_w	363	К
Температура на впуске	T_k	345	К
Температура остаточных газов	T_r	1040	К
Давление остаточных газов	P_r	0,1099	МПа
Показатель адиабаты воздуха	K	1,4	-
Универсальная газовая постоянная	R_o	8,31	Дж/(моль К)
Низшая теплота сгорания топлива	H_u	$44 \cdot 10^{-6}$	Дж/кг

Таблица 3. Полученные параметры теплового расчета для степени сжатия 10,3

Параметры	Значение	Ед.
Давление в цилиндре в конце сжатия	0,987	МПа
Температура в цилиндре в конце сжатия	799,348	К
Температура в цилиндре в конце сгорания	4356	К
Давление в цилиндре в конце сгорания	8,339	МПа
Эффективная мощность двигателя	72,65	кВт
Эффективный к.п.д.	0,2228	-
Удельный эффективный расход топлива	0,224	кг/(кВт*ч)
Литровая мощность	45,49	кВт/л
Часовой расход топлива	16,32	кг/ч

**Рис. 4.** Индикаторная диаграмма процесса со степенью сжатия 10,3

Проведен аналогичный тепловой расчет этого же двигателя, но со степенью сжатия 14. Исходные данные аналогичны предыдущему расчету.

Таблица 4. Полученные данные теплового расчета для степени сжатия 14

Параметры	Значение	Ед.
Давление в цилиндре в конце сжатия	1,223	МПа
Температура в цилиндре в конце сжатия	838,64	К
Температура в цилиндре в конце сгорания	4381	К
Давление в цилиндре в конце сгорания	11,13	МПа
Эффективная мощность двигателя	97,43	кВт
Эффективный к.п.д.	0,494	-
Удельный эффективный расход топлива	0,165	кг/(кВт*ч)
Литровая мощность	61,01	кВт/л
Часовой расход топлива	16,126	кг/ч

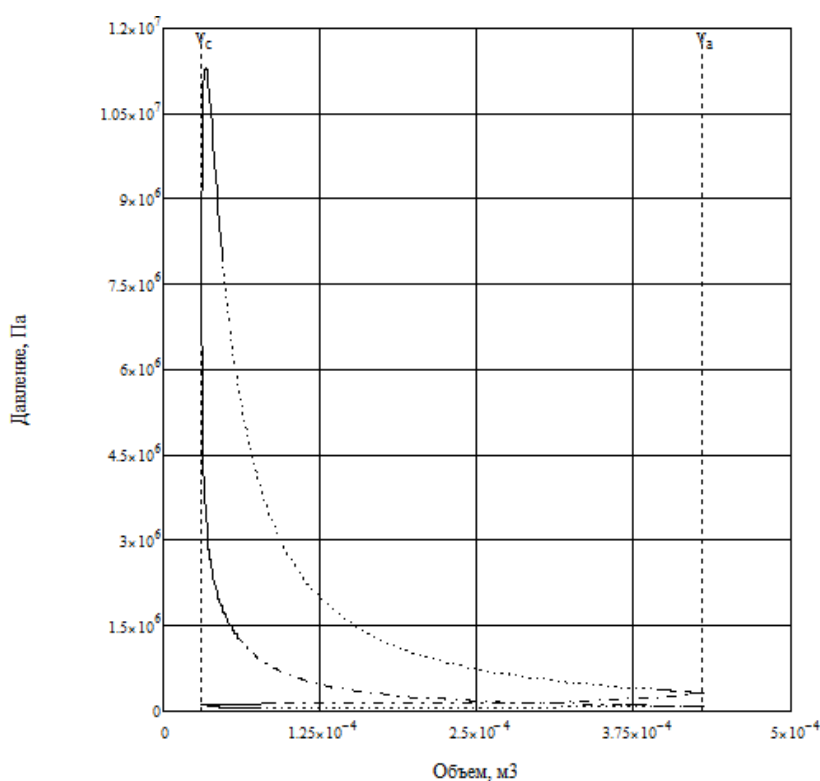


Рис. 5. Индикаторная диаграмма процесса со степенью сжатия 14

Также, для рассматриваемого двигателя, были проведены расчеты и построены графики зависимости давления и температуры в конце сжатия (в точке С, см. [рис. 6](#)) и в конце сгорания (в точке Z, см. [Рис. 7](#)) от оборотов двигателя с учетом гидравлических потерь при степенях сжатия 10,3 и 14.

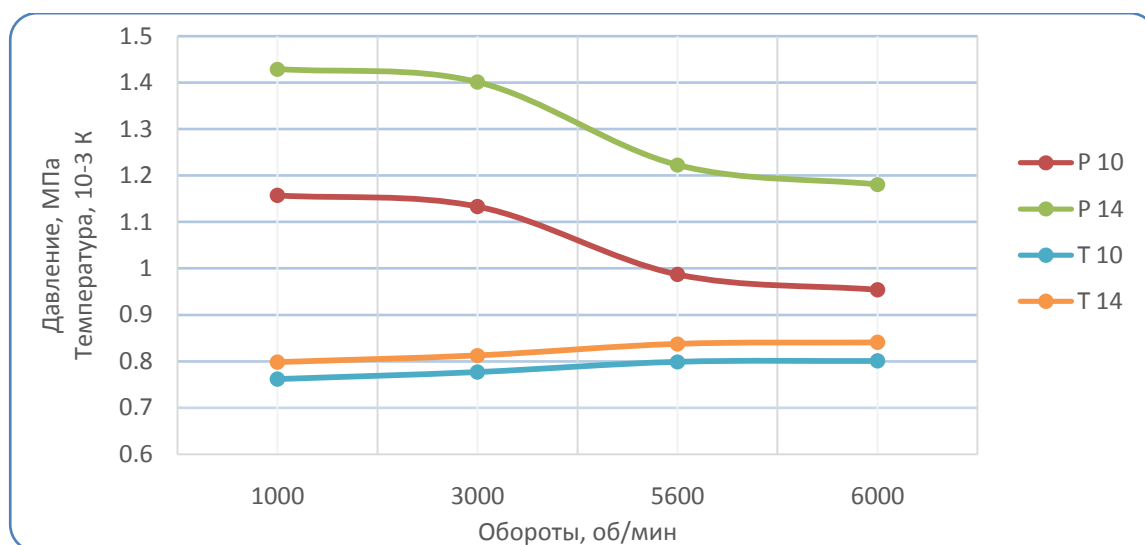


Рис. 6. Зависимость давления и температуры в конце сжатия от оборотов двигателя

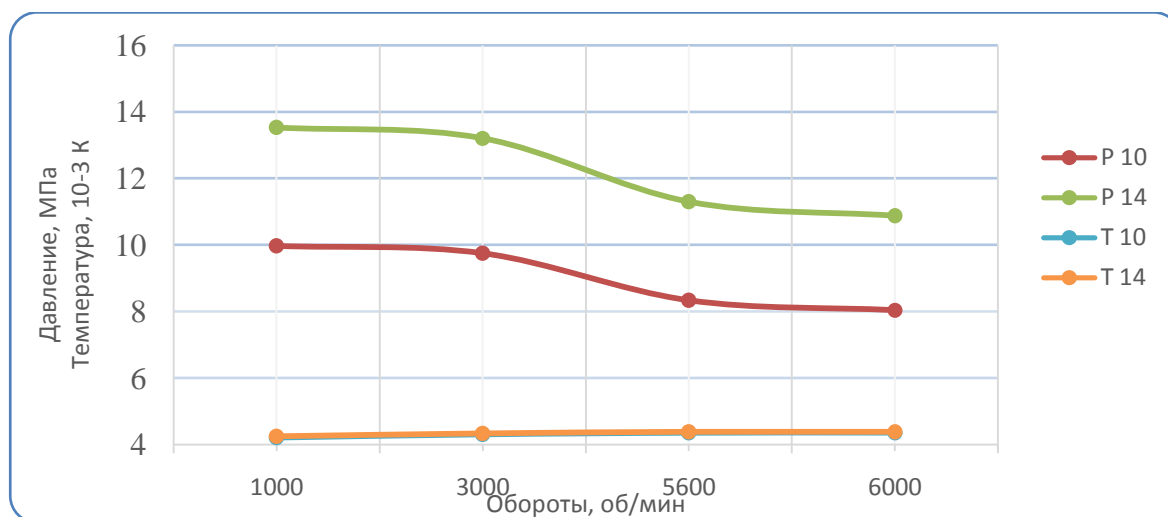


Рис. 7. Зависимость давления и температуры в конце сгорания от оборотов двигателя

При увеличении оборотов двигателя со степенью сжатия 14 возрастают механические и гидравлические потери вследствие чего давление и температура в конце такта сжатия и сгорания уменьшаются.

В дополнение к результатам, представленным в (Князев, Терентьев, 2017) в данной работе представлены графики, определяющие основные преимущества использования высокой степени сжатия именно на низких оборотах работы двигателя.

4. Заключение

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что двигатель со степенью сжатия 14 эффективнее двигателя со степенью сжатия 10,3: выросла мощность двигателя (на 34 %); увеличился эффективный КПД; снизился удельный эффективный расход топлива. Таким образом, повышение степени сжатия, в общем случае, увеличивает эффективность двигателя, повышает его КПД и способствует снижению расхода топлива.

Литература

Архангельский и др., 1977 – Архангельский В.М., Вихерт М.М., Воинов А.Н. и др. Автомобильные двигатели. Под ред. Ховаха М. С.М.: Машиностроение, 1977. 591 с.

Воробьев-Обухов, Гзовский, 2000 – Воробьев-Обухов А., Гзовский М. Полезное действие для КПД // *За рулем*. 2000. № 5. С. 42-43.

Голубовский, 2000 – Голубовский Ю. Мотор – маятник. Сигнал. 2000. № 5.

Дьяченко и др., 1979 – Дьяченко, Н.Х., Харитонов, Б.А., Петров, В.М. и др. Конструирование и расчет двигателей внутреннего сгорания: Учебник для вузов. Под ред. Н.Х. Дьяченко. Л: Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. 392 с.

Князев, Терентьев, 2017 – Князев Е.А., Терентьев А.Н. Пути повышения эффективности ДВС. *Первый шаг в науку*. 2017. № 1 (25). С. 14-18.

Колчин, Демидов, 2002 – Колчин, А.И. Демидов, В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2002. 496 с.

Конюхов и др., 1999 – Конюхов, А.В., Конюхов, В.А., Иващенко, Н.А. Особенности рабочего процесса в двигателе с управляемым ходом поршня // *Автомоб. пром-сть*. 1999. № 12. С. 6-12.

Кутенев и др., 1998 – Кутенев, Ф.Т., Зленко, М.А., Тер-Мкртчян, Г.Г. Управление движением поршней – неиспользованный резерв улучшения мощностных и экономических показателей дизеля // *Автомобильная промышленность*. 1998. № 11. С. 25-29.

Махалдиани и др., 1973 – Махалдиани, В.В., Эджибия, И.Ф., Леонидзе, А.М. Двигатели внутреннего сгорания с автоматическим регулированием степени сжатия. Тбилиси: Мецниереба, 1973. 272 с.

Мищенко и др., 2004 – Мищенко, Н.И., Химченко, А.В., Супрун, В.Л. Проблемы реализации изменения степени сжатия в двигателях внутреннего сгорания // *Вестник Донецкого института автомобильного транспорта*. Донецк: ДИАТ, 2004. № 1. С. 17-22.

Variable Kompression – Variable Kompression. *Auto, Mot. und Sport*, DE. 2000. № 6. С. 12.

References

Arkhangel'skii i dr., 1977 – Arkhangel'skii V.M., Vikhert M.M., Voinov A.N. i dr. *Avtomobil'nye dvigateli*. Pod red. Khovakha M. S.M.: Mashinostroenie, 1977. 591 p.

Vorob'ev-Obukhov, Gzovskii, 2000 – Vorob'ev-Obukhov A., Gzovskii M. (2000). Poleznoe deistvie dlya KPD. *Za rulem*. № 5. pp. 42-43.

Golubovskii, 2000 – Golubovskii Yu. Motor – mayatnik. *Signal*. 2000. № 5.

D'yachenko i dr., 1979 – D'yachenko, N.Kh., Kharitonov, B.A., Petrov, V.M. i dr. *Konstruirovaniye i raschet dvigatelei vnutrennego sgoraniya*: Uchebnyk dlya vtuzov. Pod red. N.Kh. D'yachenko. L: Mashinostroenie. Leningr. otd., 1979. 392 p.

Knyazev, Terent'ev, 2017 – Knyazev E.A., Terent'ev A.N. (2017). Puti povysheniya effektivnosti DVS. *Pervyi shag v nauku*. № 1 (25). pp. 14-18.

Kolchin, Demidov, 2002 – Kolchin, A.I. Demidov, V.P. (2002). *Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigatelei*: Uchebnoe posobie dlya vuzov. 3-e izd., pererab. i dop. M.: Vyssh. shk., 2002. 496 p.

Konyukhov i dr., 1999 – Konyukhov, A.V., Konyukhov, V.A., Ivashchenko, N.A. (1999). Osobennosti rabocheho protsessa v dvigatele s upravlyaemym khodom porshnya. *Avtomob. prom-st'*. 1999. № 12. pp. 6-12.

Kutenev i dr., 1998 – Kutenev, F.T., Zlenko, M.A., Ter-Mkrтчyan, G.G. (1998). Upravlenie dvizheniem porshnei – neispolzovannyi rezerv uluchsheniya moshchnostnykh i ekonomicheskikh pokazatelei dizelya. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. № 11. pp. 25-29.

Variable Kompression – Variable Kompression. *Auto, Mot. und Sport*, DE. 2000. № 6. p. 12.

Makhaldiani i dr., 1973 – Makhaldiani, V.V., Edzhibiya, I.F., Leonidze, A.M. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya s avtomaticheskim regulirovaniem stepeni szhatiya*. Tbilisi: Metsniereba, 1973. 272 p.

Mishchenko i dr., 2004 – Mishchenko, N. I., Khimchenko, A. V., Suprun, V.L. Problemy realizatsii izmeneniya stepeni szhatiya v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya. *Vestnik Donetskogo instituta avtomobil'nogo transporta*. Donetsk: DIAT, 2004. № 1. pp. 17-22.

Исследование влияния степени сжатия на эффективные показатели двигателя

Александр Сергеевич Корепанов ^a

^a Ижевский государственный технический университет, Российская Федерация

Аннотация. В ходе работы выполнен обзор и анализ работ по созданию двигателей с переменной степенью сжатия. Задачей работы являлось проанализировать влияние степени сжатия на эффективные показатели двигателя. Были проведены два тепловых расчета двигателя внутреннего сгорания с различной степенью сжатия 10,3 и 14. Построены две индикаторные диаграммы. На основании полученных расчетов и построенных индикаторных диаграмм сделан вывод о влиянии степени сжатия на эффективные показатели работы двигателя.

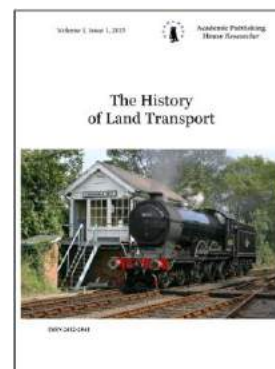
Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, эффективность, степень сжатия, повышение мощности.

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): 39-50

DOI: 10.13187/hlt.2017.1.39
www.ejournal38.com



A 1.6 Liter Hydrogen and Petrol Engine

Nikolay V. Koshcheev ^a

^a Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikova, Russian Federation

Abstract

An investigation was made of the effective performance of an internal combustion engine on various fuels. Effective parameters of the engine were studied for different mix compositions and ignition timing when the engine was running on hydrogen. The calculated data are presented: tables and graphs for studies.

Keywords: coefficient of excess air alpha, effective efficiency, specific fuel consumption, detonation resistance.

1. Введение

Двигатель внутреннего сгорания (сокращённо ДВС) — это тип двигателя, тепловая машина, в которой химическая энергия топлива (обычно применяется жидкое или газообразное углеводородное топливо), сгорающего в рабочей зоне, преобразуется в механическую работу. На данный момент ДВС является одним из самых распространенных типов двигателей, поэтому весьма актуально перевести его работу на более экологически чистое топливо – водород (**Двигатель внутреннего сгорания...**).

Водородное топливо впервые применили для обычных ДВС в сентябре 1941 года в блокадном Ленинграде. Всего за 10 дней перевели с бензина на водород 200 грузовиков, что позволило в условиях нехватки бензина защитить город, поднимая в небо аэростаты заграждения (**СССР: водородное топливо...**).

Наблюдаемое в мире в последние десятилетия резкое увеличение интереса к водороду как к горючему и энергоносителю определяется следующими его основными особенностями:

- запасы водорода практически неограниченны;
- водород – универсальный вид энергоресурса, так как может использоваться в качестве горючего для производства электричества в рабочих циклах различного типа, и в качестве энергоносителя для транспортировки в газообразном, жидком и связанном состояниях;
- при помощи водорода возможна аккумуляция энергии;
- среди прочих видов органического топлива водород отличается наибольшей теплотворной способностью на единицу массы и наименьшим отрицательным воздействием на окружающую среду (**Шаманов, Калмыков, 2006**).

Водород, получаемый из воды – один из наиболее энергонасыщенных видов носителей энергии. Так теплота сгорания 1 кг водорода составляет 120 МДж/кг (по низшему пределу), в то время как теплота сгорания бензина или лучшего углеводородного авиационного топлива всего 46 – 50 МДж/кг, т.е. в 2,5 раза меньше. К тому же водород – легко возобновляемое топливо.

Одним из важнейших фактором перевода двигателя на водород является детонационное свойство водорода, которое зависит от коэффициента избытка воздуха – альфа (далее α).

Как показывают многочисленные исследования, с обеднением смеси склонность к детонации у водорода снижается (Мищенко, 1984).

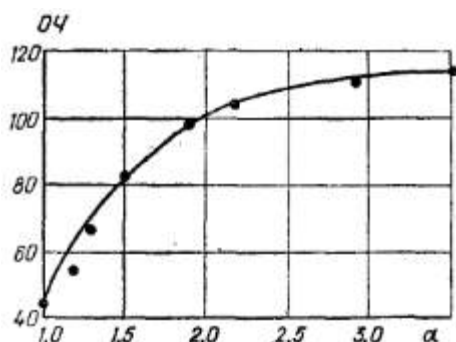


Рис. 1. График зависимости октанового числа от коэффициента α водородного ДВС.

2. Материалы и методы

Методика, лежащая в основе проводимых исследований – тепловой расчет на основе безразмерных дифференциальных уравнений. В настоящей статье представлена система дифференциальных уравнений в безразмерной форме. Подобная система пригодна одновременно, и для расчета и для анализа рабочих процессов в ДВС, так как уравнения включают взаимозаменяемые слагаемые, что позволяет получить соотношение, связывающее непосредственно давление и объем (или угол поворота вала двигателя), то есть описывающее индикаторную диаграмму.

3. Результаты

В соответствии с кинематикой кривошипно-шатунного механизма объем рабочей камеры равен:

$$V = V_c + F_n \cdot r \cdot \left[1 - \cos \varphi + \frac{\lambda_k}{4} \cdot (1 - \cos 2\varphi) \right] \quad (1.1)$$

а изменение объема:

$$dV = F_n \cdot r \cdot \left[\sin \varphi + \frac{\lambda_k}{2} \cdot \sin 2\varphi \right] d\varphi \quad (1.2)$$

где: V_c – объем камеры сгорания;

F_n – площадь поршня;

r , λ_k – соответственно, радиус кривошипа и геометрический коэффициент, равный отношению радиуса кривошипа к длине шатуна.

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1} \quad (1.3)$$

где: V_h – рабочий объем цилиндра;

ε – степень сжатия.

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4} \quad (1.4)$$

После деления формулы (1.2) на формулу (1.1) и преобразований получим безразмерное уравнение объема:

$$\frac{dV}{V} = \frac{\left[\sin \varphi + \frac{\lambda_k}{2} \cdot \sin 2\varphi \right] d\varphi}{\frac{2}{\varepsilon - 1} + \left[1 - \cos \varphi + \frac{\lambda_k}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right]} \quad (1.5)$$

Дифференциальное уравнение массового баланса имеет вид:

$$dm = dm_{en} - dm_e + \Delta m_u dx \quad (1.6)$$

где: dm_{en} , dm_e – соответственно, элементарные количества массы, поступающей через органы впуска и вытекающей через органы выпуска;

Δm_u – цикловая подача топлива;

x – доля топлива, участвовавшего в процессе сгорания.

$$\Delta m_u = \frac{m_{возд}}{L_0} \quad (1.7)$$

$$x = 6.908 \frac{m+1}{\phi_z} \cdot \left(\frac{\phi - \phi_0}{\phi_z} \right)^m \cdot e^{-6.908 \cdot \left(\frac{\phi - \phi_0}{\phi_z} \right)^{m+1}} \quad \text{- формула Вибге} \quad (1.8)$$

где: $L_0=14.957$ кг – теоретическая масса воздуха которая требуется для сгорания 1 кг топлива; $m_{возд}$ – масса воздуха поступившего в цилиндр двигателя в такт впуска и начала такта сжатия;

ϕ_z – угол горения;

ϕ_0 – угол начала горения;

ϕ – текущий угол поворота коленчатого вала;

m – коэффициент.

Разделив почленно выражение (1.6) на соотношение $pV=RmT$, представляющее уравнение состояния для рабочего тела произвольной массы, найдем

$$\frac{dm}{m} = \frac{RT}{pV} (dm_{en} - dm_e + \Delta m_u dx) \quad (1.9)$$

Для решения уравнения (1.9) используют сопутствующие формулы:

- элементарной массы:

$$dm_{en} = (\mu F)_{en} W_{en} \rho_{en} dt \quad (1.10)$$

$$dm_e = (\mu F)_e W_e \rho_e dt \quad (1.11)$$

- скорости в органах газораспределения: подкритическая скорость течения газа через выпускной клапан (при $P/P_k > \beta_{кр}$):

$$W_{en} = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_k \left[1 - \left(\frac{P}{P_k} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (1.12)$$

Подкритическая скорость течения газа через выпускной клапан (при $P_m/P > \beta_{кр}$):

$$W_{\epsilon} = \sqrt{\frac{2k_{\Gamma}}{k_{\Gamma}-1} R_{\Gamma} T \left[1 - \left(\frac{P_{\Gamma}}{P} \right)^{\frac{k_{\Gamma}-1}{k_{\Gamma}}} \right]} \quad (1.13)$$

Надкритическая скорость течения газа через выпускной клапан (при $P/P_k < \beta_{кр}$):

$$W_{en} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} RT_k} \quad (1.14)$$

Надкритическая скорость течения газа через выпускной клапан (при $P_m/P < \beta_{кр}$):

$$W_{\epsilon} = \sqrt{\frac{2k_{\Gamma}}{k_{\Gamma}+1} R_{\Gamma} T} \quad (1.15)$$

плотность газа при течения через органы газораспределения

$$\rho_{en} = \frac{P_k}{RT_k} \left(\frac{P}{P_k} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (1.16)$$

$$\rho_{\epsilon} = \frac{P}{R_{\Gamma} T} \left(\frac{P_{\Gamma}}{P} \right)^{\frac{1}{k_{\Gamma}}} \quad (1.17)$$

где: $(\mu F)_{en}$, $(\mu F)_{\epsilon}$ – эффективные площади проходных сечений в органах впуска и выпуска;
 k , k_{Γ} , R , R_{Γ} – показатели адиабаты и газовые постоянные соответственно для воздуха и продуктов сгорания;

P_k , T_k – давление и температура на впуске;

P_{Γ} – давление на выпуске;

$\beta = 0,528$ – для воздуха.

К числу основных, относится также уравнение баланса энергии рабочего тела, составляемое на основе первого закона термодинамики для открытой термодинамической системы:

$$d(mc_{\nu} T) = dE + dQ + dL \quad (1.18)$$

где: C_v – теплоемкость при постоянном объеме, а слагаемые в правой части учитывают энергетические потоки, обусловленные массообменом (dE), теплообменом (dQ) и механическим взаимодействием с внешней средой (dL).

Расшифровать эти слагаемые можно следующим образом: изменение энергии за счет массообмена:

$$dE = (C_{pk} T_k + \frac{W_k^2}{2}) dm_{en} - (C_p T + \frac{W^2}{2}) dm_e + (c T_T + \frac{W_T^2}{2}) dm_T \quad (1.19)$$

где: C_{pk} , C_p , C – соответственно теплоемкости при постоянном давлении свежего заряда, отработавших газов и топлива [Дж/(кг*К)], температуры (T_k , T , T_T) и скорости (W_k , W , W_T) указанных рабочих тел.

Теплоемкость воздуха:

$$C_{pk} = 0.0963 T_{cp} + 100 \quad (1.20)$$

$$T_{cp} = \frac{T_k + T_w}{2} \quad (1.21)$$

Теплоемкость продуктов сгорания:

$$C_p = 0.0762 \cdot T_{cp} - 837.4 \quad (1.22)$$

$$T_{cp} = \frac{T + T_w}{2} \quad (1.23)$$

Обычно влияние кинетических составляющих энергии невелико, также можно пренебречь энергообменом за счет поступления топлива, тогда последнюю формулу можно записать в упрощенном виде:

$$dE = C_{pk} T_k dm_{en} - C_p T dm_e \quad (1.24)$$

Слагаемое dQ в уравнении (1.18) представляет тепловое воздействие за счет сгорания и теплообмена со стенками. Другие тепловые эффекты в рабочей полости ДВС (затраты теплоты на испарение топлива, на диссоциацию продуктов сгорания и т.п.) незначительны, однако при необходимости они также могут быть учтены. Величина:

$$dQ = H_u \Delta m_u dx + \sum_{i=1}^i \alpha_{wi} F_{wi} (T_{wi} - T) dt \quad (1.25)$$

где: H_u – теплота сгорания топлива;

α_w – коэффициент теплоотдачи на границе рабочее тело – стенка;

F_w – площадь поверхности теплоотдачи;

T_w – температура стенки.

Выражение для теплоотдачи стенки составлено на основе формулы Ньютона, в которой с помощью суммы учтены локальные условия теплообмена (различные температуры стенок, а также различные условия формирования пограничного слоя).

Величины x и α_w определяют, как правило, по эмпирическим формулам, отражающим обобщенные результаты многочисленных экспериментов.

$$\alpha_w = C \cdot D^{-0.22} \cdot T^{-0.52} \cdot P^{0.78} \cdot C_m^{0.78} \quad \text{Формула Цапфа} \quad (1.26)$$

$$C_m = \frac{S \cdot n}{30} \quad \text{средняя скорость поршня} \quad (1.27)$$

Во время горения топлива используется следующая формула для коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha_w = \frac{\sqrt{0.00036 \left(\frac{T + T_w}{2} \right)^{0.75} \cdot \left(0.0762 \frac{T + T_w}{2} + 837.4 \right) \cdot \frac{P}{R \cdot \frac{T + T_w}{2}}}}{\sqrt{\omega}} \cdot \left[0.5 + 0.256 \frac{H_u \cdot x}{\left(0.0762 \frac{T + T_w}{2} + 837.4 \right) \cdot (T - T_w)} \right] \quad (1.28)$$

Третье слагаемое в правой части уравнения (1.18) представляет собой механическую работу на поршне:

$$dL = -pdV \quad (1.29)$$

в которой знак минус означает, что при увеличении объема внутренняя энергия рабочего тела уменьшается.

С учетом соотношений (1.24), (1.25), (1.29) уравнение баланса энергии (1.18) запишем:

$$d(mC_v T) = C_{pk} T_k dm_{en} - C_p T dm_e + H_u \Delta m_u dx + \sum_{i=1}^i \alpha_{wi} F_{wi} (T_{wi} - T) dt - pdV \quad (1.30)$$

Приняв, что теплоемкость C_v изменяется незначительно в пределах малого интервала времени и, продифференцировав левую часть уравнения, найдем:

$$C_v (m dT + T dm) = C_{pk} T_k dm_{en} - C_p T dm_e + H_u \Delta m_u dx + \sum_{i=1}^i \alpha_{wi} F_{wi} (T_{wi} - T) dt - pdV \quad (1.31)$$

Последнее уравнение приведем к безразмерному виду путем деления на внутреннюю энергию рабочего тела ($mC_v T$):

$$\frac{dT}{T} + \frac{dm}{m} = \frac{C_{pk}}{C_v} \frac{T_k}{T} \frac{dm_{en}}{m} - k \frac{dm_e}{m} + \frac{1}{C_v m T} \left[H_u \Delta m_u dx + \sum_{i=1}^i \alpha_{wi} F_{wi} (T_{wi} - T) dt \right] - \frac{P}{C_v m T} dV \quad (1.32)$$

Используя известные термодинамические преобразования последнего слагаемого, получим безразмерное уравнение энергии:

$$\frac{dT}{T} + \frac{dm}{m} = \frac{C_{pk}}{C_v} \frac{T_k}{T} \frac{dm_{en}}{m} - k \frac{dm_{\epsilon}}{m} + \frac{1}{C_v m T} \left[H_u \Delta m_u dx + \sum_{i=1}^i \alpha_{wi} F_{wi} (T_{wi} - T) dt \right] - (k-1) \frac{dV}{V} \quad (1.33)$$

Четвертым основным дифференциальным уравнением является уравнение состояния, которое также представлено в безразмерной форме:

$$\frac{dP}{P} + \frac{dV}{V} = \frac{dm}{m} + \frac{dT}{T} \quad (1.34)$$

Обычно удобно вести расчеты и анализ параметров рабочего тела в зависимости от угла поворота вала двигателя. Тогда основная система уравнений будет иметь вид:

$$\frac{dV}{V} = \frac{\left[\sin \varphi + \frac{\lambda_k}{2} \cdot \sin 2\varphi \right] d\varphi}{\frac{2}{\epsilon - 1} + \left[1 - \cos \varphi + \frac{\lambda_k}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right]} \quad (1.35)$$

$$\frac{dm}{m} = \frac{RT}{pV} (dm_{en} - dm_{\epsilon} + \Delta m_u dx) \quad (1.36)$$

$$\frac{dT}{T} + \frac{dm}{m} = \frac{C_{pk}}{C_v} \frac{T_k}{T} \frac{dm_{en}}{m} - k \frac{dm_{\epsilon}}{m} + \frac{1}{C_v m T} \left[H_u \Delta m_u dx + \sum_{i=1}^i \alpha_{wi} F_{wi} (T_{wi} - T) dt \right] - (k-1) \frac{dV}{V} \quad (1.37)$$

$$\frac{dP}{P} + \frac{dV}{V} = \frac{dm}{m} + \frac{dT}{T} \quad (1.38)$$

где: ω – угловая скорость вращения вала.

Для описания процессов в рабочей полости ДВС систему уравнений (1.35, 1.36, 1.37, 1.38) решают численными методами. Начальные условия задают, а затем уточняют в последующих циклах методом установления.

В программу расчетов включают также алгоритмы для определения основных показателей двигателя (индикаторной работы, среднего индикаторного давления, индикаторного КПД и удельного расхода топлива), с помощью которых судят о достоинствах или недостатках рассматриваемых вариантов. Это позволяет также решать оптимизационные задачи по ряду конструкторских, регулировочных или режимных факторов.

Достоинство системы уравнений (1.35-1.38) состоит в том, что все они содержат одинаковые слагаемые dV/V , dm/m , dT/T , dp/p , а, следовательно, возможны любые комбинации из этих уравнений, что делает их удобными не только для расчетов, но и для выполнения качественного анализа процессов. Обычно при использовании дифференциальных уравнений, а тем более их систем, бывает затруднительно дать наглядное представление о влиянии одного фактора на другой. Эту функцию поручают ЭВМ, которая позволяет установить конечный результат без его детального рассмотрения. Качественный анализ конечных уравнений всегда представляется более наглядным, и убедительным. В данном случае при использовании системы безразмерных уравнений (1.35-1.38) можно избежать этих затруднений.

Одним из основных инструментов анализа процессов в ДВС является индикаторная диаграмма. Её можно получить либо опытным, либо расчетным путем. Диаграмма представляет собой зависимость $p=f_1(V)$ или $P=f_2(\varphi)$. Решив совместно последние два уравнения системы (1.35-1.38), получим безразмерное уравнение, связывающее давление и объем, то есть уравнение, описывающее индикаторную диаграмму:

$$\frac{dP}{P} = \frac{C_{pk}}{C_v} \frac{T_k}{T} \frac{dm_{en}}{m} - k \frac{dm_e}{m} + \frac{1}{C_v m T} \left[H_u \Delta m_u dx + \sum_{i=1}^i \alpha_{wi} F_{wi} (T_{wi} - T) dt \right] - k \frac{dV}{V} \quad (1.39)$$

Это уравнение указывает, что давление в рабочей полости ДВС изменяется под влиянием пяти основных явлений (в порядке слагаемых в правой части): поступления свежего заряда через органы впуска, истечения отработавших газов через органы выпуска, сгорания, теплообмена со стенками и изменения объема цилиндра. Суммарное влияние, указанных факторов определяет относительное изменение величины давления dp/p . Наличие формулы, в которой представлена связь между давлением и указанными факторами в явной форме, дает возможность выполнить детальный качественный анализ рабочих процессов в ДВС (Колчин, Демидов, 2008; Бухмиров, 2014; Егоров, 1987; Егоров, 1987; Луканин и др., 1995).

Водородный ДВС

В представленной работе было проведено сравнительное численное исследование возможности использования водорода на серийном двигателе внутреннего сгорания. За основу взят бензиновый двигатель ВАЗ 11186 (Двигатель на Лада Гранта...).

Таблица 1. Технические параметры двигателя ВАЗ 11186

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	Распределенный впрыск топлива
Число клапанов на цилиндр	2
Количество цилиндров и их расположение, порядок работы	4-Р 1-3-4-2
Тактность двигателя	4-тактный
Номинальная эффективная мощность при номинальной частоте вращения	64 кВт при 5100 об/мин
Максимальный крутящий момент	140 Нм при 3800 об/мин
Минимальная частота вращения коленчатого вала	850 об/мин
Степень сжатия	10,5
Диаметр цилиндра	82 мм
Ход поршня	75,6 мм
Рекомендуемое топливо	АИ-95
Рабочий объем цилиндров	1597

1. Тепловой расчет производился для трех видов топлив: бензин, пропан, водород, при номинальной частоте вращения коленчатого вала 5100 об/мин и коэффициенте $\alpha=1$.

Таблица 2. Эффективные показатели двигателя ВАЗ 11186 на разном топливе

Вид топлива	Бензин	Пропан	Водород (детонация)
Индикаторный КПД	0.385	0.565	0.281
Механический КПД	0.845	0.844	0.840
Эффективная мощность	66,12 кВт	65.95 кВт	63.8 кВт
Эффективный КПД	0.325	0.477	0.236
Эффективный удельный расход	251.8 г/кВт*ч	158.7 г/кВт*ч	113.1 г/кВт*ч

Из **Таблицы 2** видно, что наиболее рациональное использование пропана, но водород выигрывает с позиции экологически чистого топлива. Проведено еще одно исследование, что бы проверить, как можно повысить показатели ДВС на водороде.

2. Тепловой расчет ДВС на водороде при разных α .

Таблица 3. Эффективные показатели двигателя ВАЗ 11186 при различных α

Альфа	1	1,5	2	3
Индикаторный КПД	0.281	0.476	0.561	0.842
Механический КПД	0.840	0.840	0.840	0.840

Эффективная мощность	63.8 кВт	63.8 кВт	63.8 кВт	63.8 кВт
Эффективный КПД	0.236	0.4	0.471	0.707
Эффективный удельный расход	113 г/кВт*ч	66.7 г/кВт*ч	56.6 г/кВт*ч	37.7 г/кВт*ч

С коэффициентом $\alpha=3$ получены наиболее высокие эффективные показатели, а так же мы имеем высокое (около 110) октановое число.

Далее было проведено исследование по выявлению наилучшего угла опережения зажигания для двигателя ВАЗ 11186 работающего на водороде. Представлены данные теплового расчета при разных углах опережения зажигания.

Таблица 4. Эффективные показатели при различных углах зажигания

Угол опережения зажигания	25	30	34	35
Индикаторный КПД	0.824	0.842	0.846	0.846
Механический КПД	0.836	0.840	0.840	0.840
Эффективная мощность	62.2 кВт	63.8 кВт	64.2 кВт	64.1 кВт
Эффективный КПД	0.689	0.707	0.711	0.711
Эффективный удельный расход	38.6 г/кВт*ч	37.7 г/кВт*ч	37.4 г/кВт*ч	37.5 г/кВт*ч

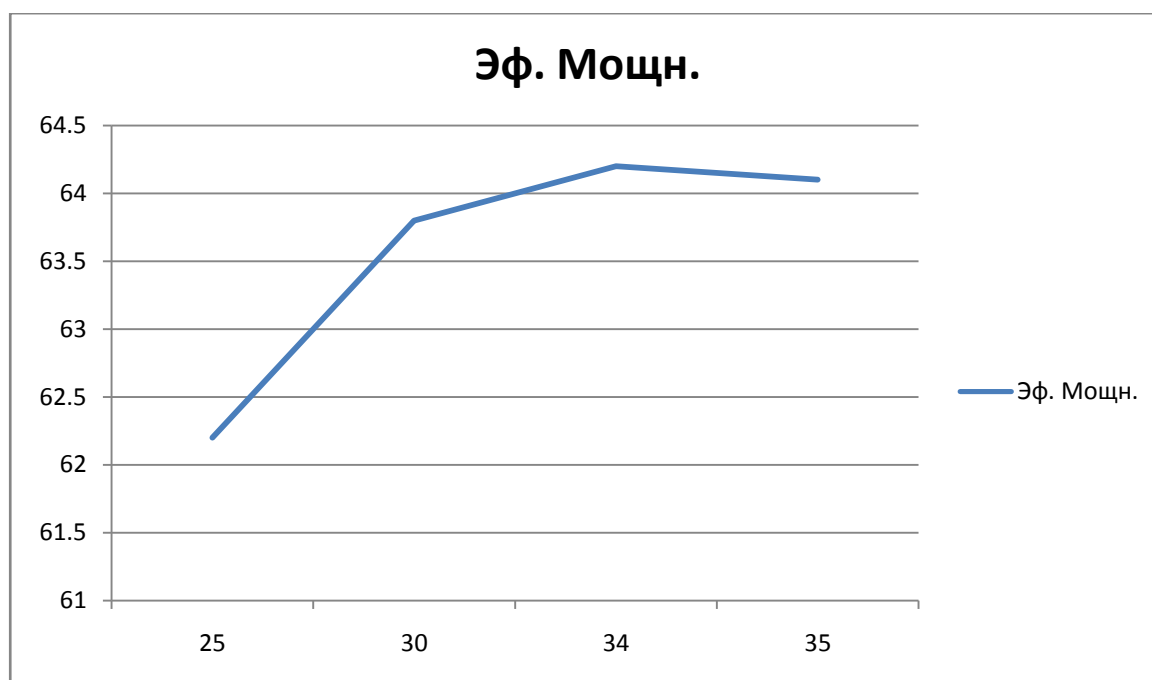


Рис. 2. График зависимости мощности от угла опережения зажигания

Максимальная мощность зафиксирована при угле опережения зажигания 34° , далее наблюдается ее спад. Максимальный Эффективный КПД достиг 0,711.

4. Заключение

Исходя из представленных теоретических расчетов двигателя ВАЗ 11186, для экспериментального водородного автомобиля Лада Гранта, можно отметить, что применение водорода представляется выгодным не только с точки зрения экологии, но и с точки зрения повышения его эффективных показателей. А с учетом, того, что имеющиеся технологические трудности производства и хранения водорода будут решены уже в ближайшем будущем, перспективы широкого применения водорода, в том числе и на автотранспорте вполне реальны.

Литература

[Бухмиров, 2014](#) – Бухмиров, В.В. Тепломассообмен: Учеб. пособие. ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». Иваново, 2014. 360 с.

[Двигатель внутреннего сгорания...](#) – Двигатель внутреннего сгорания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dok.opredelim.com/docs/index-12892.html> (дата обращения 18.05.2017).

[Двигатель на Лада Гранта...](#) – Двигатель на Лада Гранта: характеристики, неисправности и тюнинг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dvigatels.ru/russia/dvigatel-lada-granta.html> (дата обращения: 18.05.2017).

[Егоров, 1987](#) – Егоров, А.И. Качественный анализ рабочих процессов в ДВС с помощью дифференциальных уравнений. Запорожье 1987. 11 с.

[Егоров, 1987](#) – Егоров, А.И. Система безразмерных дифференциальных уравнений для расчета и анализа процессов в ДВС. Запорожье 1987. 9 с.

[Колчин, Демидов, 2008](#) – Колчин, А.И., Демидов, В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов. 4-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2008. 496 с.

[Луканин и др., 1995](#) – Луканин, В. Н., Морозов, К. А., Хачиян, Л. С. и др. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учеб. Под ред. В.Н. Луканина. М.: Высш. шк., 1995. 368 с.

Мищенко, 1984 – Мищенко, А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей. Наук. Думка. 1984. 143 с.

СССР: водородное топливо... – СССР: водородное топливо в блокадном Ленинграде [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.liveinternet.ru/users/ugolieok/post308974088/> (дата обращения 18.05.2017).

Шаманов, Калмыков, 2006 – Шаманов, Н.П., Калмыков, А.Н. Электрохимические транспортные энергоустановки с водородным топливом. Монография. СПбГМТУ. СПб., 2006. 306 с.

References

Bukhmirov, 2014 – Bukhmirov, V.V. Teplomassoobmen: Ucheb. posobie. FGBOUVPO «Ivanovskii gosudarstvennyi energeticheskii universitet imeni V.I. Lenina». Ivanovo, 2014. 360 p.

Dvigatel' vnutrennego sgoraniya... – Dvigatel' vnutrennego sgoraniya [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://dok.opredelim.com/docs/index-12892.html> (data obrashcheniya 18.05.2017).

Dvigatel' na Lada Granta... – Dvigatel' na Lada Granta: kharakteristiki, neispravnosti i tyuning. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://dvigatels.ru/russia/dvigatel-lada-granta.html> (data obrashcheniya: 18.05.2017).

Egorov, 1987 – Egorov, A.I. Kachestvennyi analiz rabochikh protsessov v DVS s pomoshch'yu differentsial'nykh uravnenii. Zaporozh'e 1987. 11 p.

Egorov, 1987 – Egorov, A.I. Sistema bezrazmernykh differentsial'nykh uravnenii dlya rascheta i analiza protsessov v DVS. Zaporozh'e 1987. 9 p.

Kolchin, Demidov, 2008 – Kolchin, A.I., Demidov, V.P. Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigatelei: Ucheb. posobie dlya vuzov. 4-e izd., ster. M.: Vyssh. shk., 2008. 496 p.

Lukanin i dr., 1995 – Lukanin, V. N., Morozov, K. A., Khachiyani, L. S. i dr. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. V 3 kn. Kn. 1. Teoriya rabochikh protsessov: Ucheb. Pod red. V.N. Lukanina. M.: Vyssh. shk., 1995. 368 p.

Mishchenko, 1984 – Mishchenko, A.I. Primenenie vodoroda dlya avtomobil'nykh dvigatelei. Naук. Dumka. 1984. 143 p.

СССР: водородное топливо... – СССР: водородное топливо в блокадном Ленинграде [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.liveinternet.ru/users/ugolieok/post308974088/> (data obrashcheniya 18.05.2017).

Shamanov, Kalmykov, 2006 – Shamanov, N.P., Kalmykov, A.N. Elektrokhimicheskie transportnye energoustanovki s vodorodnym toplivom. Monografiya. SPBGMTU. SPb., 2006. 306 p.

Двигатель рабочим объемом 1,6 литра, работающий на водороде и бензине

Николай Владимирович Кощев ^a

^a Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Российская Федерация

Аннотация. Проведены исследования эффективных показателей двигателя внутреннего сгорания на разных топливах. Исследованы эффективные показатели двигателя при разных составах смеси и углах опережения зажигания при работе двигателя на водороде. Представлены расчетные данные: таблицы и графики по исследованиям.

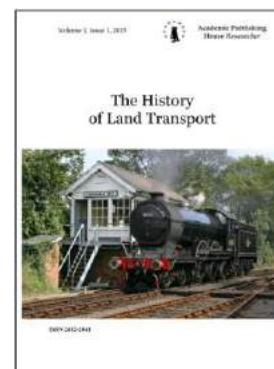
Ключевые слова: коэффициент избытка воздуха альфа, эффективный КПД, удельный расход топлива, детонационная стойкость.

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): 51-58

DOI: 10.13187/hlt.2017.1.51
www.ejournal38.com



The Coordination Modes of the Engine in a Hybrid Power Plant

Vadim A. Naumov ^a, Aleksei N. Terentev ^a

^a Izhevsk state technical university, Russian Federation

Abstract

One of the directions of development of the world automotive industry is the creation of an environmentally friendly, economical, with good driving characteristics and a large margin of the car. From this point of view, the most promising are cars with combined plants operating on two or more sources of energy. The most common "hybrid" is the combination of an internal combustion engine and an electric motor. Coordination of the work of these two propulsions requires careful attention.

Keywords: cars with a hybrid power plant, an internal combustion engine, a minimum specific flow rate, power, torque, a DC motor, layout schemes, job coordination, control mechanism, generator, motor.

1. Введение

Поиск оптимального соотношения динамических и экономических показателей автомобиля – основная задача конструкторов. Являясь основным источником энергии в автомобиле, двигатель внутреннего сгорания (ДВС) отвечает за динамику и экономию топлива автомобиля. Удельный расход топлива неравномерен и зависит от мощности двигателя. Минимальный расход соответствует достаточно узкой области на внешней скоростной характеристике автомобилей и может быть получен при определенном режиме работы. Как правило, минимальный удельный расход находится в зоне, близкой к максимальной мощности (Рис. 1) (Умняшкин и др., 2004).

Более мощный ДВС будет менее экономичен при низких оборотах коленчатого вала. Идеально иметь два двигателя – один маломощный, обеспечивающий движение в городе, а второй, мощнее, для движения в скоростном режиме.

Но можно поступить по-другому: использовать дополнительную нагрузку для двигателя при невысоких мощностях движения. Такой нагрузкой может стать электрический генератор. Коленчатый вал дополнительно соединен с ротором генератора, который будет повышать момент сопротивления, и вырабатывать электроэнергию, которой можно будет обеспечивать необходимые обороты и требуемую мощность гибридной системы (Зорин, Терентьев, 2017).

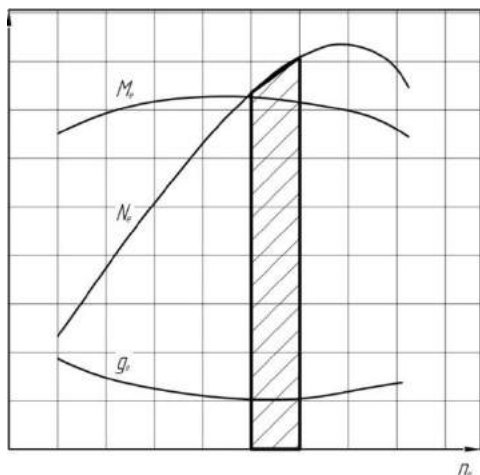


Рис. 1. Наиболее экономичная зона на графике внешней скоростной характеристики ДВС

При разгоне автомобиля крутящий момент сопротивления желательно снизить или отключить, так как ДВС работает на мощностях близких к максимальным.

Таким образом, гибридный привод может обеспечить движение от альтернативного источника энергии (электроэнергии) там, где ДВС работает в неэкономичной зоне. При такой системе движение автомобиля на малых скоростях осуществляется на электродвигателе, а на больших нагрузках – за счет ДВС. При недостаточных мощностях или при торможении момент ДВС повышается за счет работы генератора. Энергия, выработанная генератором и накопленная в аккумуляторе, реализуется электродвигателем при трогании с места и начале движения или при интенсивном разгоне, когда ДВС и электродвигатель работают вместе. Причем практичнее объединить функцию генератора в электродвигателе: при подаче крутящего момента на ротор электродвигателя в обмотке статора будет индуцироваться ЭДС индукции. Индуцированный переменный ток будет проходить через диодный мост (выпрямитель) и, будучи постоянным, будет заряжать аккумулятор (Рис. 2).

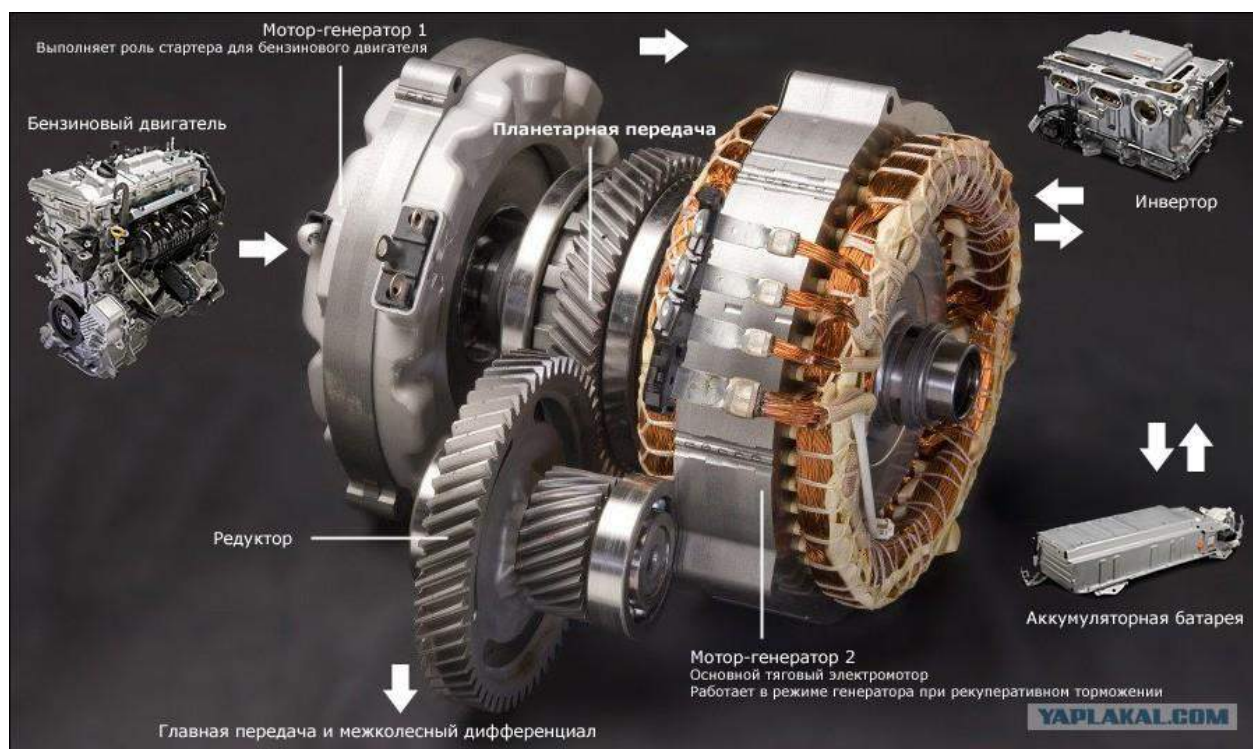


Рис. 2. Основные элементы комбинированной энергосиловой установки

2. Результаты

Схемы компоновки гибридных систем

Существуют три типа гибридных систем: последовательная (Рис. 3), параллельная (Рис. 4) и последовательно-параллельная (Рис. 5).

➤ *Последовательная схема.* Выходным валом является выходной вал ЭД, с которого мощность поступает на ведущие колеса. При движении с установившимися скоростями или при разгонах с небольшими ускорениями крутящий момент передается от ДВС через генератор Г, электродвигатель ЭД, коробку передач КПП к межколесному дифференциалу Д. Если при этом аккумуляторная батарея АБ находится в разряженном состоянии, то дополнительно крутящий момент поступает на нее через генератор. При необходимости дополнительной силы тяги на ведущих колесах (тяжелые дорожные условия, динамичный разгон) энергия поступает от аккумулятора. При торможении и при движении накатом за счет перехода ЭД в режим генератора осуществляется рекуперация энергии замедления и торможения в химическую энергию АБ.

При передаче энергии от ДВС на ведущие колеса происходит ее многократное преобразование, а, следовательно, такое преобразование сопровождается ее значительными потерями (Князев, Терентьев, 2017). Но известно, что токсичность отработавших газов увеличивается при работе ДВС в неустановившихся режимах. Эти режимы можно исключить, используя данную гибридную систему.

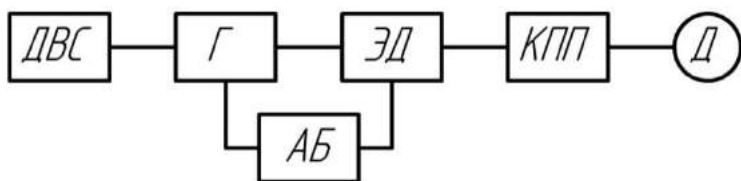


Рис. 3. Последовательная схема

➤ *Параллельная схема.* С точки зрения потерь более предпочтительна параллельная конструктивная схема.

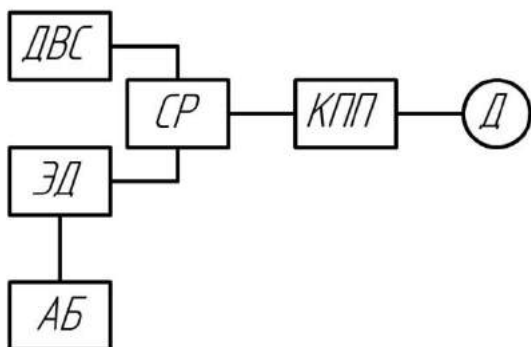


Рис. 4. Параллельная схема

Для согласования частот вращения валов ДВС и ЭД они соединяются между собой через согласующий редуктор СР. Движение с постоянными и близкими к ним скоростями осуществляется за счет мощности, передаваемой к ведущим колесам через цепь ДВС–СР–КПП–Д. Во время динамичного разгона дополнительная энергия поступает от ЭД. При необходимости зарядки аккумулятора ЭД переходит в режим генератора. Движение накатом или торможением сопровождается преобразованием энергии в химическую энергию АБ.

Наряду с низким удельным расходом топлива данная схема имеет недостаток, заключающийся в сложности согласования работы ДВС и ЭД в разнообразных режимах движения.

➤ *Последовательно-параллельная схема.* Более удобна для согласования работы двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя последовательно-параллельная схема. Мощность от ДВС передается к ведущим колесам через делитель мощности ДМ двумя потоками. Замыкание этих потоков происходит в дифференциальном СР. Так как большая часть мощности идет от делителя мощности ДМ с постоянным передаточным отношением, проще согласовать работу электродвигателя и ДМ.

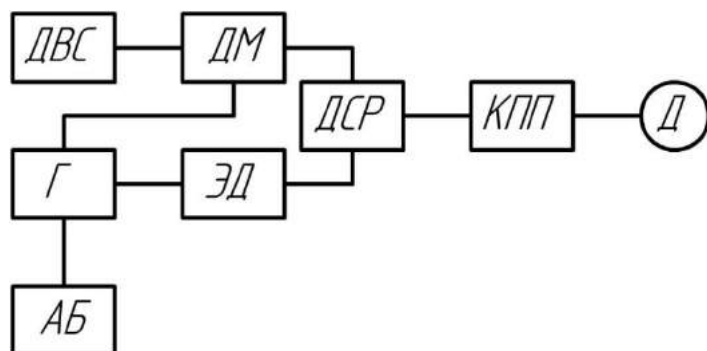


Рис. 5. Последовательно-параллельная схема

При старте возможно движение только за счет энергии аккумулятора. При движении с установившимися и близкими к ним скоростями передача мощности к ведущим колесам осуществляется от ДВС через делитель мощности и дифференциальный согласующий редуктор ДСР, а также от электродвигателя, энергия для работы которого берется от делителя мощности через генератор. Если зарядки аккумулятора не хватает, то в этом режиме аккумулятор берет энергию от генератора. При необходимости реализации высокого крутящего момента возникает третий поток мощности от АБ. При торможении ЭД работает как генератор.

Согласование ДВС и ЭД в гибридной энергосиловой установке

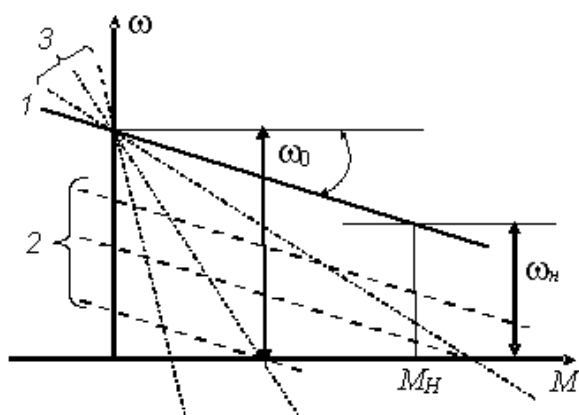
Механизм управления двух силовых установок реализовать непросто. Управление должно обеспечивать определенные режимы работы автомобиля, согласование работы ДВС и ЭД.

Управление работой ДВС осуществляется подачей топлива через дроссельную заслонку, угол открытия которой зависит от степени нажатия водителем педали акселератора. Чем больше угол открытия, тем больше частота оборотов вращения коленчатого вала.

Критериями для управления ЭД являются частота оборотов вращения выходного вала гибридной энергосиловой установки и угол открытия дроссельной заслонки.

Наиболее оптимальным выбором будет являться двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, так как его достоинство – это возможность широкой и равномерной (по линейному закону) регулировки частоты вращения (Рис. 6).

Механическая характеристика двигателя при неизменных параметрах U , R и Φ представляется прямой линией 1. На холостом ходу ($M = 0$) двигатель вращается с частотой вращения ω_0 . По мере увеличения момента нагрузки частота вращения снижается. Изменение величины питающего напряжения вызывает пропорциональное уменьшение частот вращения во всех режимах работы. Путем изменения величины питающего напряжения U от нуля до номинального значения (например, при помощи управляемого тиристорного выпрямителя), можно изменять частоту вращения вала в широких пределах.



- 1 – характеристика электродвигателя при номинальном напряжении,
- 2 – характеристики при изменении напряжения на статоре,
- 3 – характеристики при изменении сопротивления статора

Рис. 6. Механические характеристики электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением

Управление ЭД осуществляется путем изменения напряжения и тока в обмотках. Управление крутящим моментом на роторе: $M = K_M I$, где K_M – постоянная момента. Число оборотов за единицу времени регулируется подаваемым напряжением $\varepsilon = K_\varepsilon n$, где K_ε – постоянная ЭДС.

Одним из основных параметров электродвигателя постоянного тока является постоянная электродвигателя K_ε . Постоянная электродвигателя определяет способность электродвигателя преобразовывать электрическую энергию в механическую.

$$K_\varepsilon = \frac{K_M}{\sqrt{R}} = \frac{K_M I}{\sqrt{R} I} = \frac{M}{\sqrt{P_{эл}}}$$

Уравнение баланса напряжений на зажимах двигателя постоянного тока имеет вид:

$$U = \varepsilon - RI.$$

Уравнение, выраженное через момент двигателя и частоту оборотов вращения ротора будет выглядеть следующим образом:

$$U = K_\varepsilon \omega - R \frac{M}{K_M}.$$

Соотношение между моментом и частотой вращения при двух различных напряжениях питания двигателя постоянного тока неизменно. При увеличении частоты вращения создаваемый момент вращения ротора линейно увеличивается. Наклон этой функции постоянный и не зависит от значения напряжения питания и частоты вращения двигателя.

Благодаря таким характеристикам упрощается управление частотой вращения и углом поворота двигателей постоянного тока. Это характерно для коллекторных и вентильных двигателей постоянного тока, что нельзя сказать о двигателях переменного тока и шаговых двигателях.

Упрощенная модель электродвигателя выглядит следующим образом:

$$IU = M\omega + I^2R + IL \frac{dI}{dt} + P_{тр}$$

$$P_{эл} = P_{мех} + P_{теп} + P_{инд} + P_{тр}$$

- $P_{эл}$ – электрическая мощность (подведенная);
- $P_{мех}$ – механическая мощность (полезная);
- $P_{теп}$ – тепловые потери;

- $P_{инд}$ – мощность, затрачиваемая на заряд катушки индуктивности;
- $P_{тр}$ – потери на трение.

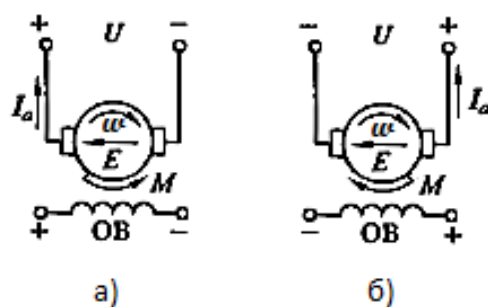
Для задания необходимого крутящего момента и оборотов электродвигателя необходимо учитывать потери. В данном случае удобно понижать ток, уменьшая потери, и увеличивать подаваемое напряжение от генератора или аккумуляторной батареи. Но уменьшение тока скажется на крутящем моменте. Поэтому рекомендуется следующее:

1. При запуске электродвигателю через согласующий редуктор необходимо сообщить крутящий момент для того, чтобы ДВС вышел на холостой ход. Для этого равномерно повышается напряжение при постоянном токе возбуждения. После этого ЭД не создает крутящего момента на выходном валу и не находится в генераторном режиме.

2. Начало движения и разгон осуществляется работой крутящего момента от ДВС и ЭД. Так как угол открытия дроссельной заслонки не будет соответствовать частоте оборотов вращения выходного вала, то дополнительная мощность будет поступать от электродвигателя. По мере разгона ток возбуждения уменьшается, а напряжение увеличивается, так как момент нагрузки становится меньше по мере увеличения скорости.

3. При равномерном движении ЭД может создать нагрузку на выходном валу для зарядки аккумуляторной батареи, если это необходимо.

4. При торможении или малом угле открытия заслонки акселератора для данной частоты вращения выходного вала ЭД также работает в генераторном режиме.

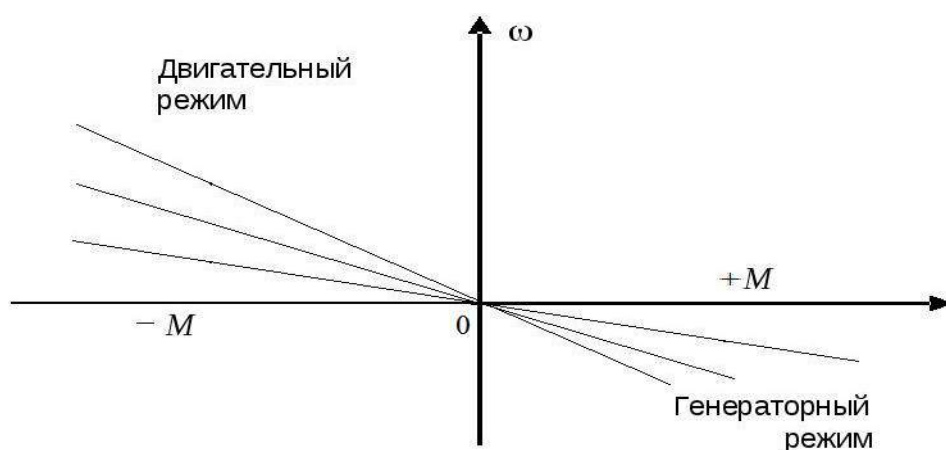


- а) генераторный режим
б) двигательный режим

Рис. 7. Режимы двигателя постоянного тока

При согласовании работы двигателя внутреннего сгорания и ЭД можно использовать момент, действующий на выходном валу гибридной энергосиловой установки (Рис. 8).

Можно отметить, что для каждого выбранного положения педали акселератора соответствует определенная равномерная скорость движения автомобиля. Если скорость автомобиля будет ниже определенной для заданного положения педали акселератора, ЭД работает в тяговом режиме; если скорость автомобиля будет выше определенной для заданного положения педали акселератора, ЭД начинает работать в режиме генератора.



$+M$ – избыток момента на выходном вале гибридной ЭУ при торможении или движении накатом;

M – недостаток момента на выходном вале гибридной ЭУ при разгоне;

0 – соответствует постоянному крутящему моменту при незначительных изменениях скорости автомобиля

Рис. 8. Алгоритм режимов работы ЭД

3. Заключение

В силу имеющихся недостатков современных ДВС и необходимости решения этой проблемы, был проведен обзор схем компоновки гибридных систем и режимов их работы, а также приведена методика согласования работы двух установок – ДВС и ЭД постоянного тока независимого возбуждения. Несмотря на устоявшееся мнение по поводу гибридных энергетических установок, что они являются переходным шагом на пути к полностью электрическим транспортным средствам, рассмотрение алгоритмов работы и возможностей согласования двух двигателей является актуальной задачей, которой необходимо уделять должное внимание на всех этапах разработки и проектирования перспективных транспортных средств.

Литература

[Зорин, Терентьев, 2017](#) – Зорин, А.В., Терентьев, А.Н. Классификация и построение характеристик комбинированного двигателя // *Первый шаг в науку*. 2017. № 2 (26). С. 10-15.

[Князев, Терентьев, 2017](#) – Князев, Е.А., Терентьев, А.Н. Пути повышения эффективности ДВС // *Первый шаг в науку*. 2017. № 1 (25). С. 14-18.

[Схемы электродвигателей...](#) – Схемы электродвигателей и их характеристики. URL: <http://electrono.ru/elektricheskie-mashiny-postoyannogo-toka/34-sxemy-elektrodvigatlej-i-ix-kharakteristiki> (дата обращения: 05.04.2017).

[Умняшкин и др., 2004](#) – Умняшкин, В.А., Филькина, А.Н., Ившин, К.С., Скуба, Д.В. Автомобили особо малого класса (квадроциклы) с гибридной энергосиловой установкой. Под общ. ред. В.А. Умняшкина. Ижевск: НИЦ «Регулировка и хаотическая динамика», 2004. 138 с.

References

[Zorin, Terent'ev, 2017](#) – Zorin, A.V., Terent'ev, A.N. Klassifikatsiya i postroenie kharakteristik kombinirovannogo dvigatelya // *Pervyi shag v nauku*. 2017. № 2 (26). pp. 10-15.

[Knyazev, Terent'ev, 2017](#) – Knyazev, E.A., Terent'ev, A.N. Puti povysheniya effektivnosti DVS // *Pervyi shag v nauku*. 2017. № 1 (25). pp. 14-18.

[Skhemy elektrodvigateli...](#) – Skhemy elektrodvigateli i ikh kharakteristiki. URL: <http://electrono.ru/elektricheskie-mashiny-postoyannogo-toka/34-sxemy-elektrodvigatlej-i-ix-kharakteristiki> (data obrashcheniya: 05.04.2017).

Umnyashkin i dr., 2004 – *Umnyashkin, V.A., Fil'kina, A.N., Ivshin, K.S., Skuba, D.V.* Avtomobili osobo malogo klassa (kvadrotsikly) s gibridnoi energosilovoi ustanovkoi. Pod obshch. red. V.A. Umnyashkina. Izhevsk: NITs «Regulirovka i khaoticheskaya dinamika», 2004. 138 p.

Согласование режимов работы двигателя в гибридной энергосиловой установке

Вадим Алексеевич Наумов ^a, Алексей Николаевич Терентьев ^a

^a Ижевский государственный технический университет, Российская Федерация

Аннотация. Одним из направлений развития мирового автомобилестроения является создание экологически чистого, экономичного, с хорошими ходовыми характеристиками и большим запасом хода автомобиля. С этой точки зрения наиболее перспективными выглядят автомобили с комбинированными установками, работающие на двух и более источниках энергии. Самым распространенным «гибридом» является сочетание двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя. Согласованию работы этих двух движителей требуется уделять пристальное внимание.

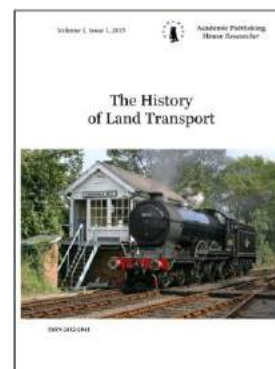
Ключевые слова: автомобили с гибридной энергосиловой установкой, двигатель внутреннего сгорания, минимальный удельный расход, мощность, крутящий момент, электродвигатель постоянного тока, схемы компоновки, согласование работы, механизм управления, генераторный, двигательный.

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): 59-69

DOI: 10.13187/hlt.2017.1.59
www.ejournal38.com



Specificity of the Complexity of Transport of Dangerous Goods

Veronika V. Sharikova ^a

^a St. Petersburg State Economic University, Russian Federation

Abstract

On the basis of scientific literature this article describes the classification of dangerous goods (DG) and the specificity of their transportation. It also tells about international organizations that are involved in the development of conventions and agreements on the DG transport issues.

The purpose of the article is to study the organization of transport of dangerous goods. It is also to find the basic details of the transportation of such goods and the development of measures to increase the safety of it.

Keywords: dangerous goods, transport safety, road transport, international organizations, especially dangerous goods transportation specifics.

1. Введение

Технологическая неординарность транспортных процессов обуславливает на сегодняшний день, что транспортировка грузов с помощью автомобильного транспорта является более востребованной, чем авиаперевозки, ж/д перевозки и перевозки морскими и речными судами.

Актуальность такого вида перевозок зависит от ряда факторов:

1. Автомобильным транспортом можно доставить груз почти в любую точку страны.
2. Перевозка автомобильным транспортом менее затратна, чем другими средствами транспортировки.
3. Не требует дополнительной перегрузки груза.
4. Автомобильное транспортное средство может осуществлять перевозку и твёрдых, и сыпучих, и жидких грузов.
5. Грузовой автомобиль может доставить груз практически в любую погоду (Шарикова и др., 2016).

На сегодняшний день аварии с опасными грузами далеко не редки. Мы часто слышим по новостям, читаем в газетах, что произошла авария с транспортным средством (ТС), перевозившим ОГ. Последствиями таких аварий являются гибель людей, флоры и фауны, загрязнение окружающей среды и многое другое. Для того чтобы снизить уровень аварий нашему поколению необходимо разработать мероприятия по организации перевозок опасных грузов.

2. Материалы и методы

Исследование было основано на работах российских учёных в области организации перевозок опасных грузов, а также на приказах Министерства транспорта и Минпрома России. В статье были использованы методы сравнения по условию безопасности.

3. Обсуждение

Опираясь на данные Организации Объединённых Наций (ООН), можно сказать, что доля перевозок опасных грузов (ОГ) увеличивается с каждым годом и на данном этапе составляет примерно половину от всего грузооборота.

В России доля перевозки опасных грузов различными видами транспорта составляет около 20 % (приблизительно 800 миллионов тонн). Из них автомобильным транспортом перевозится 65 % (520 миллионов тонн), на железнодорожном транспорте этот показатель равен 30 % (240 миллионов тонн), речной и морской транспорт перевозят 5 % (40 миллионов тонн), а авиационные перевозки составляют 0,1 % (0,8 миллионов тонн) (Акимов, Соколов, 2011).

Все грузы можно классифицировать по разным признакам, которые определяют основные аспекты их транспортировки:

- 1) По физическим свойствам;
- 2) Отраслям производства;
- 3) Степени опасности;
- 4) Виду тары;
- 5) Массе одного грузового места;
- 6) По способам погрузки – выгрузки и так далее (Гуджоян, Троицкая, 2001)

Классификация же опасных грузов производится в зависимости от их степени опасности и вида. Ниже представлена таблица с утвержденными классами ОГ:

Таблица 1. Классификация ОГ

Класс 1. Взрывчатые вещества и изделия.	1.1. Вещества и изделия, которые характеризуются опасностью взрыва массой
	1.2. Вещества и изделия, которые характеризуются опасностью разбрасывания, но не создают опасности взрыва массой
	1.3. Вещества и изделия, которые характеризуются опасностью загорания, а также незначительной опасностью взрыва или незначительной опасностью разбрасывания, или тем и другим вместе, но не характеризуются опасностью взрыва массой
	1.4. Вещества и изделия, которые не представляют значительной опасности
	1.5. Вещества очень низкой чувствительности, которые характеризуются опасностью взрыва массой
	1.6. Изделия чрезвычайно низкой чувствительности, которые не характеризуются опасностью взрыва массой
Класс 2. Газы.	2.1. Легковоспламеняющиеся газы
	2.2. Невоспламеняющиеся газы
	2.3. Токсичные газы.
Класс 3. Легковоспламеняющиеся жидкости.	3.1. Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки менее -18°C в закрытом тигле

	3.2. Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не менее -18°C , но не менее 23°C , в закрытом тигле
	3.3. Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки менее -23°C , но не более 61°C , в закрытом тигле
Класс 4. Легковоспламеняющиеся твёрдые вещества; вещества, способные к самовозгоранию; вещества, выделяющие легковоспламеняющиеся газы при соприкосновении с водой.	4.1. Легковоспламеняющиеся твёрдые вещества, самореактивные и твёрдые десенсибилизированные взрывчатые вещества
	4.2. Вещества, способные к самовозгоранию
	4.3. Вещества, выделяющие легковоспламеняющиеся газы при соприкосновении с водой
Класс 5. Окисляющие вещества и органические пероксиды.	5.1. Окисляющие вещества
	5.2. Органические пероксиды
Класс 6. Токсичные и инфекционные вещества.	6.1. Токсичные вещества
	6.2. Инфекционные вещества
Класс 7. Радиоактивные материалы.	
Класс 8. Коррозионные вещества.	8.1. Коррозионные и (или) едкие вещества, обладающие кислотными свойствами
	8.2. Коррозионные и (или) едкие вещества, обладающие основными свойствами
	8.3. Разные коррозионные и (или) едкие вещества
Класс 9. Прочие опасные вещества и изделия.	9.1. Грузы, не отнесённые к классам 1 – 8
	9.2. Грузы, обладающие видами опасности, проявления которых представляет опасность только при их транспортировании навалом водным транспортом (Акимов, Соколов, 2011)

Транспортировке опасных грузов уделяют огромное внимание, ведь такие перевозки сопряжены с огромным риском. Транспортировка этих грузов при несоблюдении определенных правил может привести к загрязнению окружающей среды, уничтожению флоры и фауны в месте аварии, инфекционным болезням и гибели людей.

В России вопрос о транспортировке опасных грузов впервые был поставлен в 1886 году после случая с пароходом «Вера», на котором воспламенились нефтепродукты, что привело к гибели 200 человек. В то же время появился первый документ по перевозке ОГ: «Правила

о наливной перевозке по внутренним водным путям нефтяных произведений и сырой нефти». В 1930 году вышли правила перевозки опасных грузов, которые включали полный список того времени опасных веществ, перевозимых водным транспортом. А уже в 1931 году издал «Правила перевозки опасных грузов учреждениями, предприятиями, организациями и отдельными лицами по безрельсовым дорогам гужевым и автомобильным транспортом». На сегодняшний день перевозка опасных грузов осуществляется в соответствии с правилами, записанными в ДОПОГ («Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов»), которые вступили в силу с 1971 года. Последний изменённый вариант данного соглашения вступил в силу 1 июля 2001 года (Акимов, Соколов, 2011).

Ниже приведен рисунок, на котором изображены международные организации, занимающиеся разработкой конвенций и соглашений по вопросам транспортировки опасных грузов.

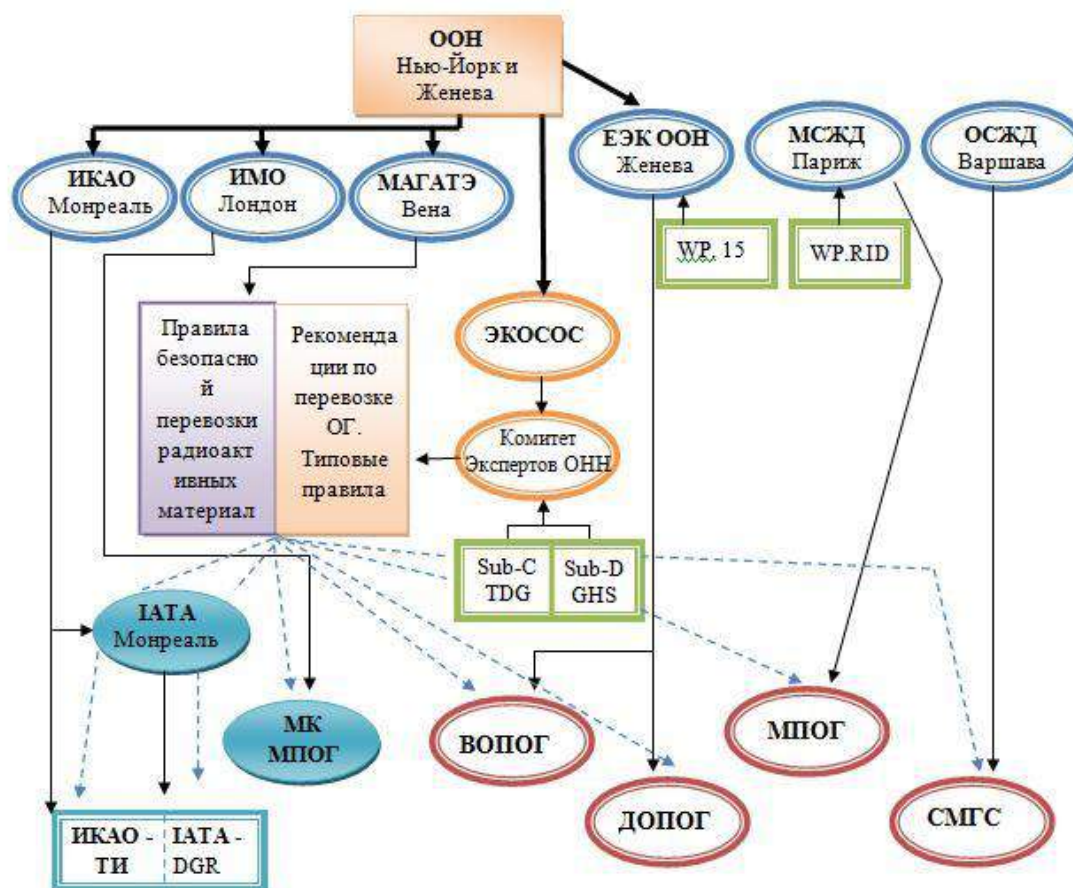


Рис. 1. Международные организации

Расшифровка обозначений:

1. ООН – Организация Объединённых Наций;
2. ИКАО – Международная организация гражданской авиации;
3. IATA – Международная ассоциация воздушного транспорта;
4. ИМО – Международная морская организация;
5. МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии;
6. ЕЭК ООН – Европейская Экономическая Комиссия Организации Объединённых Наций;
7. МСЖД – Межправительственная организация по международным перевозкам железными дорогами;

8. ОСЖД – Организация содружества железных дорог;
9. ЕКОСОС – Экономический и Социальный Совет Организации Объединённых Наций;
10. Sub-C TDG – Подкомитет по перевозке опасных грузов;
11. Sub-D GHS – Подкомитет по согласованной на глобальном уровне системе классификации опасности и маркировке химических веществ;
12. WP. 15 – Рабочая группа по перевозке опасных грузов;
13. WP.RID – Рабочая группа по перевозке ОГ по железным дорогам;
14. ИКАО-ТИ – Технические инструкции по безопасной перевозке ОГ по воздуху;
15. IATA DGR – IATA Правила перевозок опасных грузов;
16. МК МПОГ – Международный морской кодекс по перевозке ОГ;
17. ВОПОГ – Европейское соглашение о международной перевозке ОГ по внутренним водным путям;
18. ДОПОГ – Европейское соглашение о международной дорожной перевозке ОГ;
19. МПОГ – Правила международной перевозке ОГ по железным дорогам;
20. СМГС – Соглашение о международном грузовом сообщении. (2)

Организация перевозок ОГ осуществляется на основании приказа Министерства Транспорта РФ от 08.08.95 г. (с изменениями на 14.10.99 г.) «Об утверждении Правил перевозки опасных грузов автомобильным транспортом». Согласно данному документу организация, осуществляющая транспортировку ОГ должна иметь соответствующую лицензию, а также свидетельство о допуске транспортного средства (ТС) к перевозке ОГ, которое выдает подразделения ГАИ МВД России по месту регистрации ТС. Перевозка особо опасных грузов осуществляется при сопровождении ТС охраной и лица, знающего особенности данного груза и умеющего с ним обращаться, а также организация должна получить разрешение на перевозку от органов внутренних дел.

Маршрут ТС, которое перевозит опасный груз, не должен проходить через крупные населенные пункты, если это невозможно, то маршрут должен проходить вдали от культурно-просветительских, лечебных, школьных и дошкольных учреждений. Также запрещается транспортировка ОГ вблизи с крупными промышленными объектами; через архитектурные и природные заповедники; зоны отдыха. Для согласования маршрута организация должна предоставить в ГАИ МВД России разработанный маршрут перевозки в трёх экземплярах и свидетельство о допуске ТС к перевозке ОГ не менее чем за 10 суток до транспортировки.

Когда перевозка ОГ осуществляется колонной, ТС должны держать дистанцию при движении:

- По горизонтальному участку не менее 50 метров;
- По горной местности не менее 300 метров.

Когда видимость на дороге составляет менее 300 метров (туман, дождь, снегопад и т.д.) транспортировка ОГ может быть запрещена.

В населенных пунктах остановки и стоянки ТС, перевозящих ОГ, запрещены. Можно совершать остановку лишь в специальных местах, которые находятся дальше 200 метров от жилых строений. И при остановке водителю обязательно нужно поставить ТС на стояночный тормоз, а на уклоне установить противооткатный упор.

Структура опасных грузов различна, а значит, у каждого класса есть свои особенности при перевозке. Давайте их рассмотрим.

- ❖ Взрывчатые вещества и изделия.

Перевозка ОГ класса 1 осуществляется в металлических, стеклянных или керамических сосудах, которые в свою очередь упаковываются в деревянные ящики, бочки, фанерные барабаны, выложенные внутри прокладкой из невоспламеняющегося материала, а также в льняных, пеньковых, льнопеньковых мешках, пропитанных битум-озокеритовой парафиновой смесью.

По условиям совместимости запрещена транспортировка ОГ в одном контейнере разных групп. Так например, взрывчатые вещества (ВВ) группы L (особо опасные) нельзя

транспортировать с другими ВВ, включая вещества и изделия этой же группы, но другого типа. ВВ группы S (мало опасные) можно перевозить с любыми группами, исключения составляют инициирующие (группа А) и особо опасные (группа L). (4)



Рис. 2. Маркировка тары со взрывчатыми веществами

❖ Газы.

Существует 2 вида газа – сжиженный и сжатый. ОГ класса 2 перевозят в баллонах или сосудах, некоторые сжиженные газы перевозят в специальных цистернах.

При перевозке баллоны должны быть полностью исправными, на них должны иметься чёткая маркировка и опломбированные предохранительные колпаки.

Баллоны, у которых вместимость > 12 л, транспортируются:

- в вертикальном положении в контейнерах или без них, но с прокладками между баллонами и защитой от падения;
- в горизонтальном положении с прокладками между баллонами. В качестве прокладок используют деревянные бруски, веревочные или резиновые кольца толщиной более 25 мм.

Баллоны, у которых вместимость < 12 л без защитного колпака и опорного башмака, перевозятся в горизонтальном положении вентилями в одну сторону. Баллоны упаковывают в дощатые ящики типа П-IV по ГОСТ 2991-85 и между ними кладут прокладки. (5)

Запрещено перевозить газы с кинолентой или киноплёнкой.



Рис. 3. Маркировка тары с газами

❖ Легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ).

Легковоспламеняющиеся жидкости перевозят в бочках, бидонах цистернах и т.д. При укладке ёмкостей с ЛВЖ нужно избегать ударов. Бочки следует ставить наливной пробкой вверх. Если ЛВЖ имеет t вспышки паров равную 28°C , то бочки следует ставить в один ряд.

При перевозке ОГ класса 3 автоцистерны оборудуют свисающей до полотна дороги стальной цепочкой, она служит заземлением. Выхлопную трубу устанавливают в передней части ТС и оборудуют её искрогасителем.



Рис. 4. Маркировка тары с ЛВЖ

❖ Легковоспламеняющиеся твёрдые вещества.

Вещества, которые воспламеняются от соприкосновения с водой, транспортируют в герметично запакованных металлических банках, заполненных керосином или трансформаторным маслом. Ёмкости упаковывают в деревянные ящики и прокладывают промежутки между банками рыхлым упаковочным материалом. Также ОГ класса 4 перевозят в герметично закрытых бочках и барабанах (6).

Фото- и киноплёнку упаковывают в коробки из белой жести, которые в свою очередь кладут в железные ящики. Целлулоид запаковывают в деревянные ящики, проложенные изнутри прочной бумагой. Красный фосфор упаковывают в жестяные банки или герметичную стеклянную посуду, а затем кладут в ящики и заполняют оставшееся пространство древесными опилками (6).

При перевозке самовозгорающихся веществ нужно постоянно следить за температурой груза. Если температура груза повысилась, его нужно отделить от основной партии и увеличить проветривание груза. Грузы, которые находятся на грани возгорания необходимо выгрузить (6).



Рис. 5. Маркировка тары с легковоспламеняющимися твёрдыми веществами

❖ Окисляющие вещества и органические пероксиды.

Опасные грузы класса 5 могут перевозиться в заводской упаковке.

Чтобы не допустить самовозгорание или взрыв, необходимо следить, чтобы данный ОГ не смешивался с древесными опилками, углём, торфом, мучной пылью и другими органическими веществами.

ТС с изотермическим кузовом, перевозящее ОГ класса 5, должен обеспечивать требуемый для данного груза температурный режим и возможность контролировать температуру в кабине водителя, также транспортное средство должно иметь соответствующую вентиляционную систему.



Рис. 6. Маркировка тары с окисляющими веществами и органическими пероксидами

❖ Токсичные и инфекционные вещества.

Токсичные и инфекционные вещества транспортируют:

1. В стеклянных банках, установленных в обрешетки, а оставшееся пространство заполняют мягким упаковочным материалом;
2. В герметически упакованных металлических банках, которые в свою очередь устанавливаются в деревянные ящики;
3. В герметически запакованные металлические барабаны, а затем в деревянные бочки (ящики) или фанерные (картонные) барабаны, выложенные бумагой;
4. В 4-слойных крафтцеллюлозных мешках;
5. В многослойных бумажных мешках, которые затем вкладывают в джутовые мешки;
6. В льняные и джутовые мешки, а затем их кладут в железные барабаны;
7. В заводской упаковке;
8. В стальных баллонах;
9. В стеклянной посуде, запакованной в деревянные ящики с прокладкой (6)

Перевозка особо опасных грузов класса 6 производится только при сопровождении вооруженной охраны. Транспортировка инфекционных веществ должна происходить с вентиляцией в закрытых кузовах; также необходимо совершать предварительную обработку ТС дезинфицирующими растворами.



Рис. 7. Маркировка тары с токсичными и инфекционными веществами

❖ Радиоактивные материалы

Упаковка и транспортные пакеты, перевозимые радиоактивные материалы, должны быть следующих категорий:

1. Если максимальный уровень излучения не более $0,005 \text{ мЗв/ч}$, то категория I-БЕЛАЯ;
2. Если максимальный уровень излучения больше $0,005 \text{ мЗв/ч}$, но не больше $0,5 \text{ мЗв/ч}$, то категория II-ЖЕЛТАЯ;
3. Если максимальный уровень излучения больше $0,5 \text{ мЗв/ч}$, но не больше 2 мЗв/ч , то категория III-ЖЕЛТАЯ;
4. Если максимальный уровень излучения больше 2 мЗв/ч , но не больше 10 мЗв/ч , то категория III-ЖЕЛТАЯ и перевозится на условиях исключительного использования.



Рис. 8. Маркировка тары с радиоактивными веществами

Первичные ёмкости для перевозки ОГ класса 7:

1. Газообразные и жидкие вещества помещают в запаянные металлические или стеклянные ампулы;
2. Твёрдые вещества упаковывают в плотно закрывающиеся ёмкости с резиновой пробкой или в металлические пеналы.

Вторичной ёмкостью для жидких радиоактивных веществ является защитный контейнер, который должен быть заполнен сорбирующим материалом, таким как силикагелем или фильтрованной бумагой и т.д. У наружной упаковки должны быть крепежные детали, которые будут обеспечивать надежное соединение частей и не допускает самопроизвольное освобождение вещества. Также на упаковочный комплект должен быть опломбирован.

На ТС, перевозящем радиоактивные материалы, не разрешается находиться никому, кроме водителя и экспедитора.

❖ Коррозийные вещества.

Если ОГ класса 8 находятся в твёрдом состоянии, то такие вещества перевозят в стальных барабанах и бочках; в стеклянных, керамических или пластмассовых банках, которые упаковывают в деревянные ящики; в деревянных бочках или ящиках.

Если вещество находится в жидком состоянии, то его транспортируют в стеклянных, керамических или пластмассовых сосудах, герметично упакованных в ящики, обрешетки или корзины, металлические бочки или в контейнеры с противокислотным покрытием (Крючков, Жаворонков, 1968).

Коррозийные (едкие) вещества запрещено перевозить совместно со следующими веществами:

1. Нельзя перевозить азотную кислоту, меланж, водород фтористый безводный, соляную кислоту, олеум, хлорид йода, бром и т.д. со всеми другими ОГ;
2. Запрещена перевозка коррозионных (едких) веществ совместно с классами 1, 7, 5.2;
3. С воспламеняющимися от воды веществами: грелки химические, K, Na, Ca, CaH₂, Ca₃P₂ не разрешается перевозить лишь с серной и азотной кислотами;
4. Нельзя перевозить коррозионные (едкие) вещества с азотной кислотой и серной кислотой;
5. Легкогорючие грузы нельзя транспортировать с азотной и серной кислотами;
6. Сжатые воздух и кислород можно перевозить лишь с CaO, органическими кислотами и щелочами (Тарасов и др., 2000).



Рис. 9. Маркировка тары с коррозионными веществами

❖ Прочие опасные вещества и изделия.

Вещества, относящиеся к ОГ класса 9, имеют достаточно низкую опасность при перевозке. К ним относятся горючие вещества и материалы (хлопок, древесная стружка, эфиры, смолы), слабоядовитые вещества (красители, масла технические), аэрозоли, вещества, которые становятся едкими и коррозионными при определенных условиях (негашеная известь, окислители).

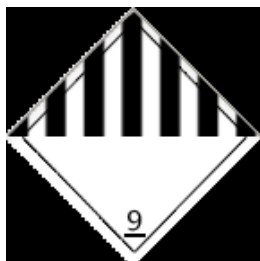


Рис. 10. Маркировка тары с прочими опасными веществами и изделиями

4. Заключение

Изучив материалы об опасных грузах, можно твердо утверждать, что у каждого класса есть множество нюансов при перевозке. Чтобы транспортировка грузов проходила без происшествий и аварий нужно обязательно соблюдать все правила перевозок ОГ, которые описаны в нормативно-технической документации, такой как ДОПОГ, МАГАТЭ (в случае с радиоактивными материалами), приказы министерства транспорта России.

Также не стоит убирать из внимания такие факты как:

1. Чем на маршруте больше кривых участков (горизонтальных или вертикальных), тем сложнее осуществлять транспортировку;
2. Если водитель ТС, перевозящего опасных груз, будет как можно чаще проходить стажировку, то уровень его профессиональности и опыта будет повышаться, и это позволит сократить риск ДТП;
3. Если в организации будут люди, контролирующие передвижение ТС с опасным грузом и следящие за физическим и психическим состояниями водителя, то это позволит вовремя предотвратить аварию;
4. При перевозке грузов на дальние расстояния продолжительность вождения без перерыва не должна превышать 4,5 часов.

Литература

[Акимов, Соколов, 2011](#) – Акимов В.А., Соколов Ю.И. Риски транспортировки опасных грузов. Москва ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011.

[Гуджоян, Троицкая, 2001](#) – Гуджоян О.П., Троицкая Н.А. Перевозка специфических грузов автомобильным транспортом. Москва, издательство «ТРАНСПОРТ», 2001.

[Крючков, Жаворонков, 1968](#) – Крючков, А.А., Жаворонков, Н.М. Организация перевозок опасных грузов различными видами транспорта. Москва, издательство Недр, 1968.

[Перевозка опасных грузов...](#) – Перевозка опасных грузов: Документы. Материалы. СПб: Информационный центр "Выбор" и Петербург – XXI век, 2002.

[Правила перевозки...](#) – Правила перевозки автомобильным транспортом инертных газов и кислорода сжатых и жидких: приказ от 14 апреля 1997 года.

[Тарасов и др., 2000](#) – Тарасов А.В., Герке С.Г., Лукина Л.Г. Химическая безопасность перевозки опасных грузов. СПб, Петербургский государственный университет путей сообщения, 2000.

[Шарикина и др., 2016](#) – Шарикина В.В., Петрова П.О., Ермилова Ю.В. Анализ проблемы повышения безопасности перевозок. *Журнал Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, 2016. 7(1): 219-221.

References

[Akimov, Sokolov, 2011](#) – *Akimov, V.A., Sokolov, Yu.I.* (2011). Riski transportirovki opasnykh грузов. Moskva FGU VNII GOChS (FTs).

[Gudzhoyan, Troitskaya, 2001](#) – *Gudzhoyan, O.P., Troitskaya, N.A.* (2001). Perevozka spetsificheskikh грузов avtomobil'nym transportom. Moskva, izdatel'stvo «TRANSPORT».

[Kryuchkov, Zhavoronkov, 1968](#) – *Kryuchkov, A.A., Zhavoronkov, N.M.* (1968). Organizatsiya perevozok opasnykh грузов razlichnymi vidami transporta. Moskva, izdatel'stvo Nedra.

[Perevozka opasnykh грузов...](#) – *Perevozka opasnykh грузов: Dokumenty. Materialy.* SPb: Informatsionnyi tsentr "Vybor" i Peterburg – XXI vek, 2002.

[Pravila perevozki...](#) – *Pravila perevozki avtomobil'nym transportom inertnykh gazov i kisloroda szhatykh i zhidkikh: prikaz ot 14 aprelya 1997 goda.*

[Tarasov i dr., 2000](#) – *Tarasov, A.V., Gerke, S.G., Lukina, L.G.* Khimicheskaya bezopasnost' perevozki opasnykh грузов. SPb, Peterburgskii gosudarstvennyi universitet putei soobshcheniya, 2000.

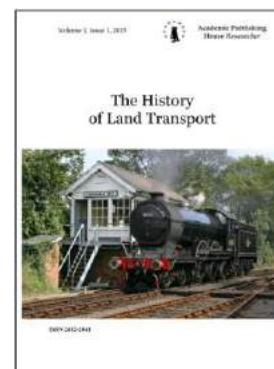
[Sharikova i dr., 2016](#) – *Sharikova, V.V., Petrova, P.O., Ermilova, Yu.V.* (2016). Analiz problemy povysheniya bezopasnosti perevozok. Zhurnal Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk, 7(1): 219-221.

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



Classification and Construction Characteristics of Combined Engine

Aleksei V. Zorin ^a

^a 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°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.

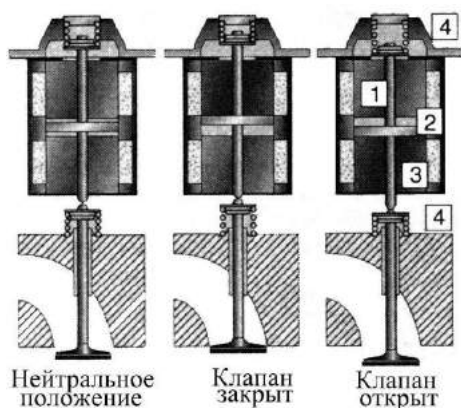
Двигатели с электромагнитным приводом клапанов

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

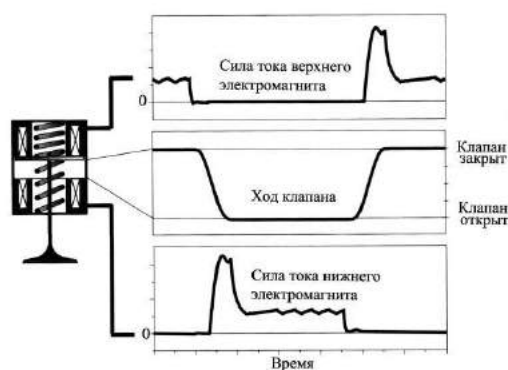
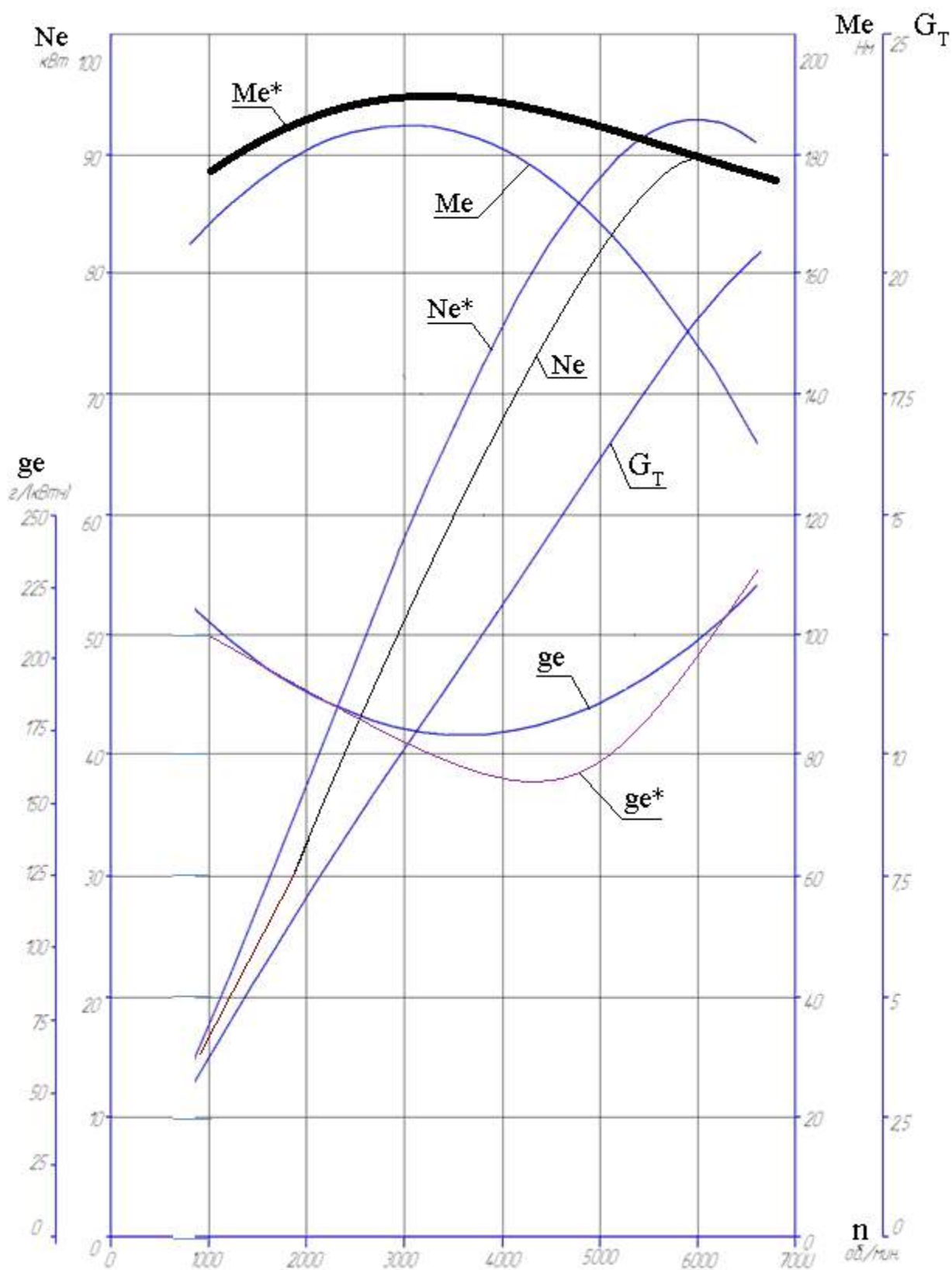


Рис. 2. Изменение силы тока в электромагнитах

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 ^a

^a 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.