

УДК 621.43

Румянцев В.В., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Гордеев А.В., м.н.с., Луцко В.А., к.т.н., м.н.с., передовая инженерная школа «Кибер Авто Тех», Набережночелнинский институт ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В качестве эпиграфа:

«Германия и Европейский союз объявили..., что они достигли соглашения в своем споре о будущем автомобилей с ДВС, разрешив регистрацию новых автомобилей с такими двигателями даже после 2035 года при условии, что они используют климатически нейтральное топливо.

Так что жизнь продолжается, коллеги-двигателисты! Жизнь продолжается...» [1, со ссылкой на Grieshaber K. Germany, EU reach agreement in combustion engine row. The Associated Press, March 25, 2023].

Аннотация. Под эффективностью поршневых двигателей внутреннего сгорания в первую очередь подразумевают их топливную экономичность при условии выполнения требований нормативных документов по экологической безопасности (выбросам вредных веществ). На фоне развития альтернативных источников энергии может показаться, что поршневые двигатели будут запрещены к использованию. Однако, анализ работ в области совершенствования поршневых двигателей, объемов капиталовложений и др., говорят об обратном. Поэтому обзор и анализ применяемых технологий, направленных на повышение эффективности данных двигателей можно считать актуальными.

Ключевые слова. Двигатель внутреннего сгорания, механические потери, тепловые потери, эффективный коэффициент полезного действия.

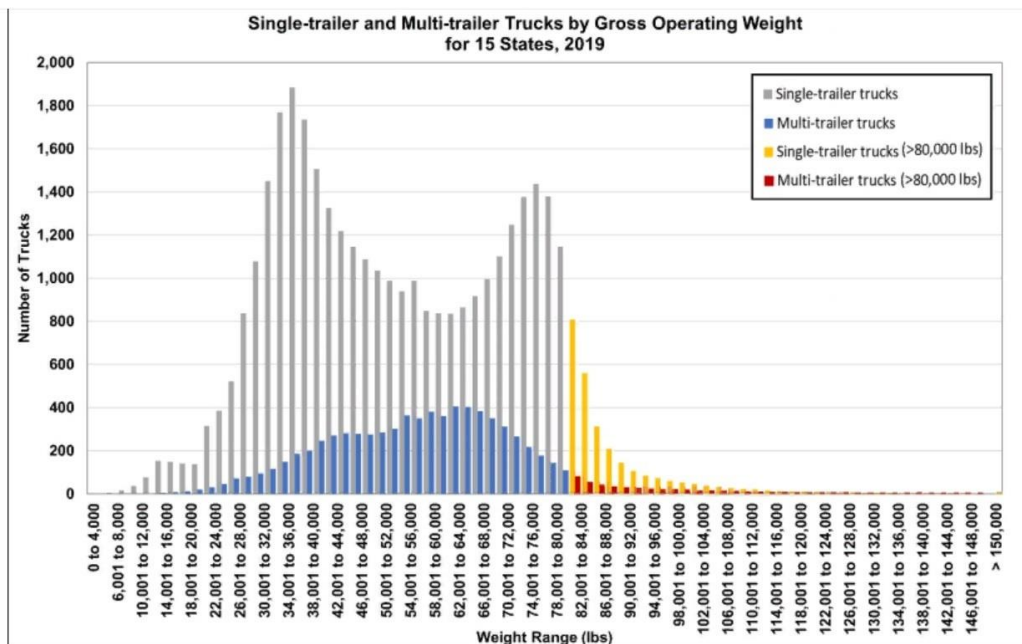
Введение

Появление на рынке автомобильного транспорта с альтернативными силовыми установками заставляет исследователей и производителей поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) искать пути повышения их топливной экономичности и экологической безопасности. Если в легковых автомобилях электрические и гибридные силовые установки находят все более

широкое применение, то в грузовом коммерческом сегменте преобладают автомобили с традиционными ДВС.

На сайте министерства энергетики США департамента транспорта в 2023 году представлен анализ использования грузовиков за 2019 год в 15 штатах (Рис. 1) [2]. Кроме того, прогноз по продажам легковых автомобилей (Light-duty vehicle sales) в США до 2050 года (Рис.2) не подразумевает полного отказа от поршневых двигателей, работающих на легком (Gasolin) и дизельном (Diesel) топливе: Internal combustion engine and the use of liquid fuel projected to dominate transportation for many yeacer (Двигатель внутреннего сгорания и использование жидкого топлива, по прогнозам, будут доминировать на транспорте в течение многих лет) [3].

Таким образом, современное состояние и перспективы использования ДВС на традиционных видах углеводородного топлива подтверждает актуальность работ в области их совершенствования. Принимаемые в странах Европейского союза решения (см. эпиграф) скорее говорят о навязывании «зеленой» повестки, чем о существовании некоторого планомерного подхода в данной области.



Примечание: Данные собраны из Калифорнии, Коннектикута, Флориды, Джорджии, Гавайев, Айовы, Миннесоты, Миссури, Монтаны, Северной Каролины, Орегона, Пенсильвании, Южной Дакоты, Техаса и Вашингтона.

Рисунок 1. Данные о весе грузовиков из 15 штатов США в 2019 году [2].

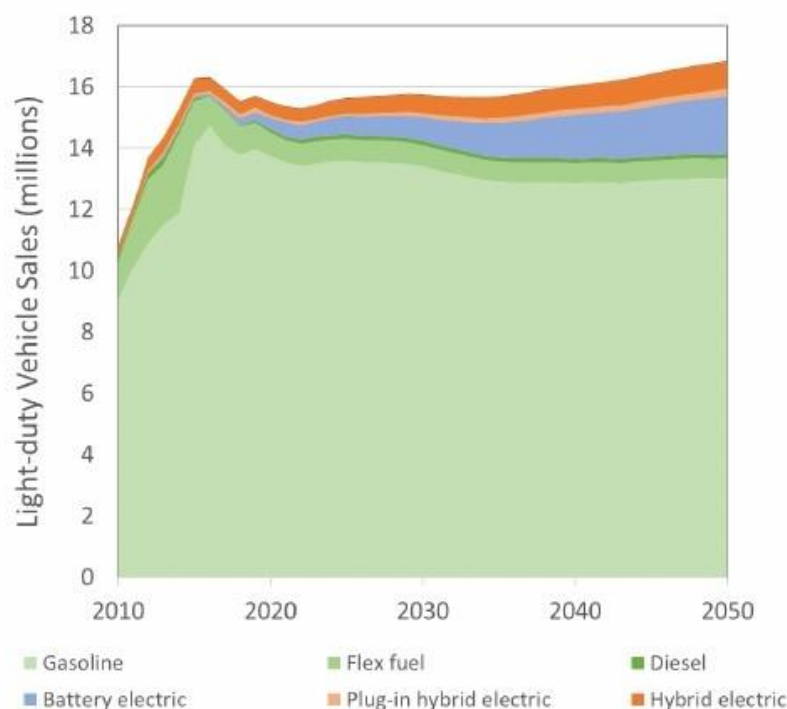


Рис. 2 Прогноз по продажам транспортных средств с различными двигателями в мире до 2050 года [3]

Основные направления совершенствования поршневых ДВС.

Максимальные значения эффективного коэффициента полезного действия η_e ДВС приближаются к значению 50%. Исключением можно считать дизель WP13H560E65 компании Weichai (КНР) с официально подтвержденным значением $\eta_e = 50,26\%$ (сертификат TÜV SÜD, Германия и «Китайский исследовательский центр автомобильных технологий») [4].

Для оценки минимального эффективного расхода топлива ДВС можно воспользоваться формулой Циннера, предложенной в [5], скорректированной для значений низшей теплоты сгорания современных топлив: $g_e = 84,5/\eta_e$, при этом η_e выражается в долях от 1. Формула Циннера получена при значении низшей теплоты сгорания топлива $H_U = 4,1868 \times 10^7$ Дж/кг. Для современных дизельных топлив $H_U = 4,26 \times 10^7$ Дж/кг. Тогда минимальные значения удельного эффективного расхода при $\eta_e = 0,5$ достигают $g_e = 169$ г/(кВт×ч). Таким образом, половина теплоты, вводимой с топливом, представляет собой потери. Отметим, что указанные выше значения η_e и g_e справедливы для комбинированных двигателей с

воспламенением от сжатия (дизелей). В ДВС с принудительным воспламенением потери составляют 70% и более.

Укрупнённо потери можно разделить на механические и тепловые. Механические потери представляют собой потери в парах трения, потери на привод агрегатов (водяной и топливный насосы, распределительный вал, вентилятор системы охлаждения), процессы газообмена, вентиляционные потери. Тепловые потери связаны с необходимостью охлаждения и смазки двигателя, потерями тепла от несовершенства процесса сгорания, с отработавшими газами и вследствие отвода тепла от воздуха, поступающего от нагнетателя (компрессора) в комбинированных ДВС.

Подобная классификация позволяет наметить пути снижения потерь.

Здесь следует отметить, что борьба за повышение экономичности (снижение g_e и повышение η_e) связана с экологическими показателями двигателей, т.к. результатом сгорания углеводородных топлив является углекислый газ - CO_2 .

Перечень и эффективность технологий совершенствования двигателей.

Ведущие мировые производители дизелей для большегрузных автомобилей, такие как Daimler Truck North America (с января 2017 г.), Volvo Group North America (с конца 2016 г.), Cummins/Peterbilt (с января 2016 г.), Navistar (с октября 2016 г.), Paccar (с октября 2016 г.) приступили к выполнению программы Super Truck II. Основной задачей в отношении двигателей являлось «продемонстрировать значение теплового эффективного КПД 55% и более». При этом привлекались отдельные исследовательские центры и компании (Eaton, Bridgestone, AVL, Kenworth, DAF, Национальная лаборатория по исследованию возобновляемых источников энергии Университет штата Мичиган, Университет Клемсона и мн. другие), так как программа затрагивала и автомобили в целом.

Результаты работ по состоянию на конец 2022 года были опубликованы на сайте министерства энергетики США (DoE) в виде презентаций. Примеры технологий и их вклад в тепловой КПД показаны на рис. 3 и рис. 4. Здесь показан прирост по отношению к базовым значениям (Baseline) эффективного КПД (BTE)

за счет совершенствования сгорания (Combustion), воздухообеспечения (Air Handling), снижения потерь трения (Friction & Parasitic) и др.

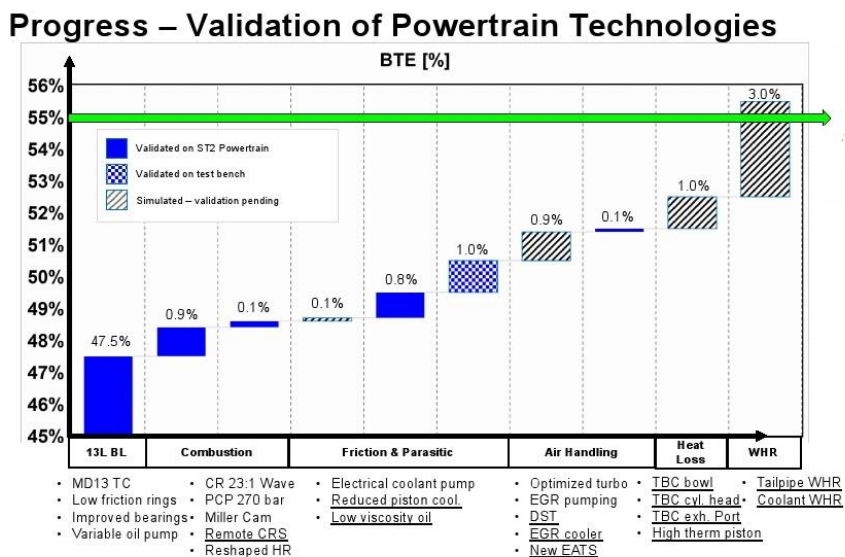


Рис. 3 Вклад технологий в повышение теплового КПД дизелей Volvo

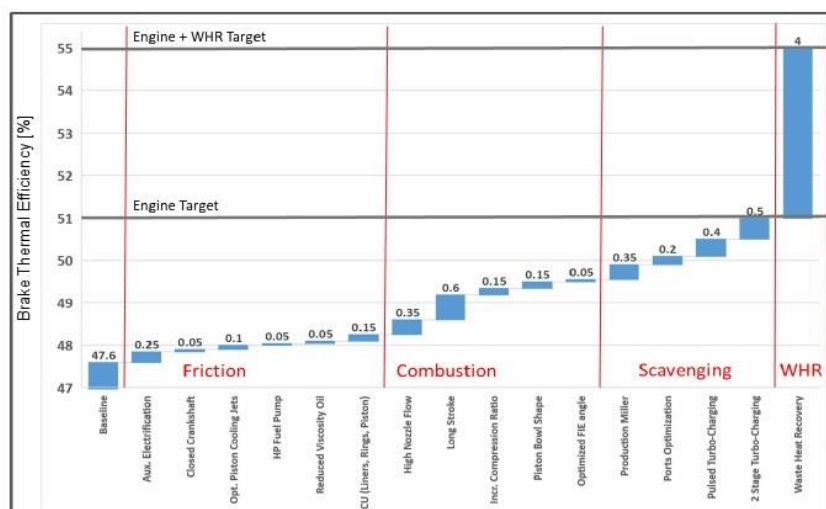


Рис. 4 Вклад технологий в повышение теплового КПД дизелей Рассаг

Выводы

Отметим следующие особенности двигателей и технологии, общие для поименованных выше производителей:

- все двигатели с рядным расположением цилиндров, количество цилиндров 6;
- рабочий объём преимущественно 13л., фирма Volvo в рамках программы Super Truck II исследовала дизели с объемом 11л., Cummins – 15л.;
- степень сжатия повышенная, до 23:1;

- увеличенный ход поршня (двигатели длинноходные, отношение хода поршня S к диаметру цилиндра D составляет до $S/D = 1,317$);
- система топливоподачи Common Rail (ф.Bosch) с давлением впрыска топлива до 2700 бар (подобно X-Pulse дизелей OM471 DaimlerAG);
- все двигатели с «высокоэффективным» турбокомпрессором и охладителем надувочного воздуха, рассматривается двухступенчатый наддув (Daimler, Cummins, Paccar);
- газораспределение четырехклапанное, с верхним расположением вала, преимущественно одновальные;
- масляный насос переменной производительности; масло с низкой вязкостью 0W16;
- система EGR низкого и высокого давления;
- двигатели соответствуют нормам токсичности Euro 6e (US10), снабжены системой SCR (селективного каталитического восстановления, Selective Catalytic Reduction), сажевым регенеративным фильтром (DPF - Diesel Particulate Filter), дизельным каталитическим нейтрализатором (DOC - Diesel Oxidation Converter), многофункциональным катализатором ASC (Ammonia Slip Catalyst).

Отдельные производители отмечают эффективность применения цикла Миллера, волновых камер сгорания, специальных антифрикционных покрытий поверхностей трения поршневых колец.

Наибольший прирост эффективного теплового КПД (3÷4%) дает применение систем регенерации энергии WHR (Waste Heat Recovery) с помощью реализации органического цикла Ренкина (ORC - Organic Rankine Cycle). При этом мощность мотор-генераторов при напряжении бортовой цепи 48В ограничена. Так Paccar указывает мощность 30 кВт. Последнее видимо объясняется массово-габаритными параметрами этих систем. Стендовые образцы двигателей с ORC-системами выглядят довольно громоздко (рис. 5). О габаритах и массе аккумулирующих элементах информация не приводится.

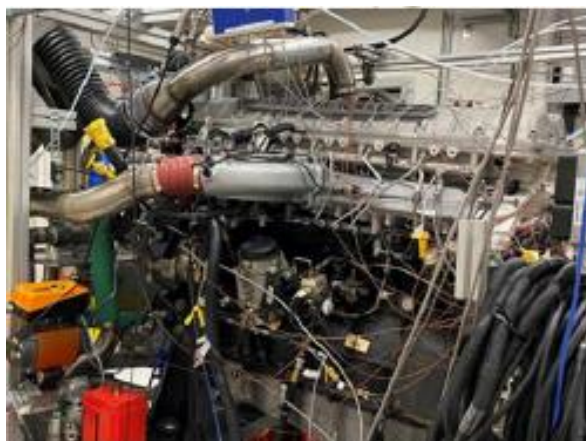


Рис. 5 Стендовый образец с системой ORC ф. Navistar

Эпилог

«Так что жизнь продолжается, коллеги-двигателисты! Жизнь продолжается...» [1].

Список использованных источников

1. Зленко М.А., Теренченко А.С. Электричество, водород или е-топливо // Труды НАМИ. – 2023. - №1 (292). С.56-81.
2. <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1293-june-5-2023-2019-more-heavy-trucks-operated-34000-36000-pounds-any> (дата обращения 20.06.2023)
3. Robert Wagner (ORNL). The Co-Optimization of fuels and engine overview. June 3, 2020, # Project FT037.
4. <https://weichairus.ru/kompania/publikacii/novosti/vyshe-50.html> (дата обращения 16.06.2023)
5. Циннер К. Наддув двигателей внутреннего сгорания = Aufladung von Verbrennungsmotoren: перевод с немецкого/Под ред. д-ра техн. наук Н.Н.Иванченко. – Л., Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. – 264 с., ил.

Rumyancev V.V. candidate of technical Sciences, assistant professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

Gordeev A.V., junior research assistant, Lushcheko V.A., candidate of technical Sciences, assistant professor., junior research assistant., advanced engineering school "Cyber Auto Tech", Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

ANALYSIS OF TECHNOLOGIES FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF
PISTON ENGINES

Abstract. The efficiency of piston internal combustion engines primarily means their fuel efficiency, provided that the requirements of regulatory documents on environmental safety (emissions of harmful substances) are met. Given the development of alternative energy sources, it may seem that piston engines will be banned from use. However, an analysis of work in the field of improving piston engines, the volume of capital investments, etc., suggests the opposite. Therefore, a review and analysis of the technologies used aimed at increasing the efficiency of these engines can be considered relevant.

Key words. Internal combustion engine, mechanical losses, thermal losses, effective efficiency.

УДК 539.421

Сибгатуллин Э.С., доктор физико-математических наук, профессор, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Сибгатуллин М.Э., кандидат физико-математических наук, доцент, Академия наук Республики Татарстан, Институт прикладных исследований

Сибгатуллин К.Э., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Новоселов О.Г., кандидат технических наук, старший преподаватель, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Барсукова А.Д., магистрант, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ «БЕСКОНЕЧНОЙ» ПЛАСТИНЫ, ИМЕЮЩЕЙ МАКРОТРЕЩИНУ

Аннотация. Изотропная пластина находится в обобщенном плоском напряженном состоянии. Предельная комбинация внешних сил для пластины определяется двумя способами: используя известные в научной литературе соответствующие соотношения и используя условия равновесия близкой к трещине окрестности, с учётом только асимптотических составляющих напряжений. Из равенства соответствующих результатов следуют формулы для определения размеров окрестности трещины, где необходимо учитывать работу асимптотических напряжений, а также работу внешних сил.