

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича
Столетовых» (ВлГУ)**

**Институт машиностроения и автомобильного транспорта
Кафедра «Тепловые двигатели и энергетические установки»**

КУРС ЛЕКЦИЙ
по дисциплине «История энергомашиностроения»

**Направление подготовки 13.03.03 – энергетическое машиностроение
Профиль подготовки – двигатели внутреннего сгорания
Уровень высшего образования – бакалавриат
Форма обучения очная**

Составитель: проф. Гуськов В.Ф.

Владимир 2015

ИСТОРИЯ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ

СОЗДАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Развитие механики в XVII веке и потребность в универсальном двигателе привели к созданию эффективных паровых машин (рис. 1), положив начало интенсивному развитию производительных сил общества на основе механизации всех производственных процессов. История техники весьма поучительна и полезна при изучении инженерных наук. Знания, кажущиеся очевидными в наше время, добывались усилиями многих людей. *Тепловые двигатели* прошли сложный путь развития.

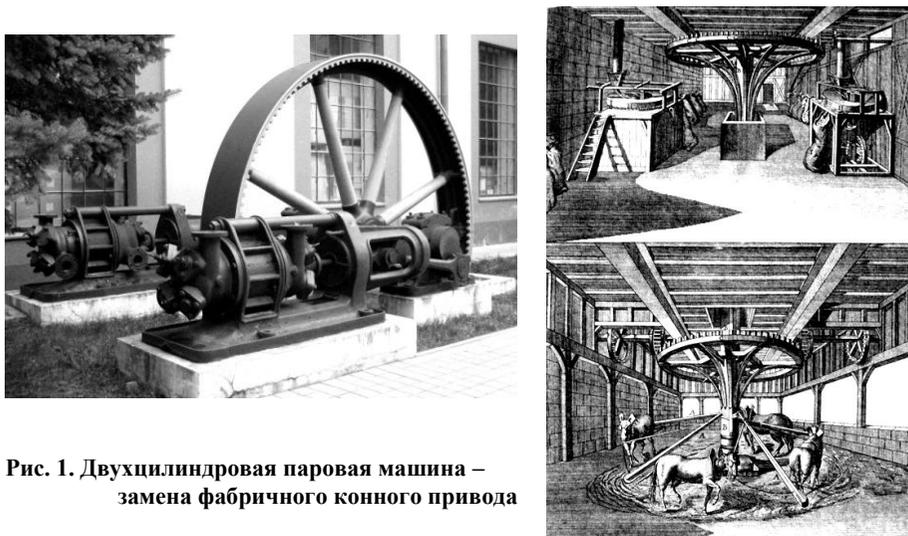


Рис. 1. Двухцилиндровая паровая машина – замена фабричного конного привода



Эванджелиста

Торричелли
(1608 – 1647)

Первые достоверные сведения о целенаправленных научных изысканиях по преобразованию тепла в механическое движение относятся ко времени формирования европейских научных школ: Лондонского Королевского общества, основанного в 1662 г, Парижской Академии наук, Германского общества естествоиспытателей и т. д. После доказательства Торричелли существования атмосферного давления многие изобретатели занялись постройкой «атмосферного» двигателя, который бы приводился в движение атмосферным давлением, для чего нужно было создать разрежение под поршнем машины. Исследование различных способов получения вакуума привели к использованию **конденсации паров воды** в цилиндре, дающей необходимое разрежение. И первыми «огнедействующими водоотливными машинами» (тепловыми шахтными насосами), пригодными для практического использования, явились **атмосферные паровые** машины.

1. АТМОСФЕРНЫЕ МАШИНЫ

У истоков тепловых двигателей, в частности, паровой машины, стояли Х.Гюйгенс, Д.Папен, Г.В.Лейбниц, Т.Севери, Т.Ньюкомен и мн. др.



Дени Папен
(1647 – 1714)

Дени Папен родился в г. Блуа, во французской буржуазной семье, которая была известна и уважаема в протестантской среде. В 1669 г. Папен окончил медицинский факультет университета в Анже и получил диплом доктора. Он рано заинтересовался экспериментальным направлением в разных научных областях, а медицинская наука на протяжении всей жизни служила Папену исключительно материальным источником существования, когда он в этом нуждался.

В 1671 г. в Париже Папен через родственника, часовых дел мастера Годрона, знакомится с выдающимся голландским физиком Христианом Гюйгенсом, который работал над механизмами настольных и башенных часов и, поэтому, имел дело с часовщиками. В начале 1673 г. Папен становится ассистентом Гюйгенса и работает в его парижской лаборатории. Голландский учёный покорила его своим кругозором, на всю жизнь Гюйгенс останется для Папена образцом служения науке; их переписка прервётся лишь со смертью Гюйгенса.



Христиан Гюйгенс
(1629 – 1695)

Тепловая машина, предназначенная «...для поднятия больших грузов с помощью орудийного пороха», которую Гюйгенс вместе с ассистентом Папеном испытывал в Париже в 1673 г, представляла собой цилиндр диаметром в один фут и высотой четыре фута, выполненный из металлических листов, сваренных оловом и оштукатуренных. Машина была снабжена поршнем, соединённым с подвешенным грузом при помощи каната, перекинутого через блоки. Цилиндр имел отверстия, в которые вставлялись кожаные трубы, выполнявшие

функцию клапанов. Гюйгенс зажигал внутри цилиндра несколько граммов пороха: взрыв заставлял поршень подняться, значительная часть образовавшихся газов выходила из цилиндра через кожаные трубы, при остывании пороховых газов создавался частичный вакуум и под действием атмосферного давления поршень опускался, поднимая груз, привязанный к канату.

Папен принимал участие и в экспериментах над вакуумом, проводившихся Гюйгенсом при изучении атмосферного давления. В 1674 г. Папен публикует статью «Эксперименты с вакуумом и описание машины, служащей для его создания», где описывает опыты немецкого физика Отто фон Герике, отчеты о которых уже были опубликованы двумя годами раньше в Магдебурге, и добавляет краткое описание экспериментов Гюйгенса. Небольшая статья Папена, появившаяся в 1675 году в журналах «Acta Eruditorum» в Лондоне и «Journal des Savants» в Париже, приносит ему известность.

На почве религиозных распрей во Франции начинаются гонения на инакомыслящих и в 1675 году Гюйгенс с Папеном, религиозные верования которых отличались от государственных, вынуждены эмигрировать. Гюйгенс возвращается на родину в Голландию, а Папен, имея при себе рекомендательное письмо Гюйгенса к Роберту Бойлю и часы – подарок его учителя председателю Королевского общества лорду Брункеру, уезжает в Лондон. Обращаясь к английским коллегам, Гюйгенс положительно охарактеризовал Папена, напомнил о его публикациях и заверил, что «он хорошо разбирается в машинах и, к тому же, знает геометрию».

В Лондоне Папен жил за счёт медицинской практики, но главное внимание уделял исследованиям, и в 1680 г. был принят в члены Королевского общества. В начале 1681 г. Дени Папен представил своё первое изобретение – знаменитый «котёл Папена», который в научном плане был интересен тем, что подтверждал зависимость между температурой и давлением пара.

Успех аппарата Папена был огромен: сам король Англии и Шотландии Карл II Стюарт прибыл в Королевское общество, чтобы самолично увидеть, как функционирует машина. Весь английский двор пробовал бульон и рагу, которые Папен приготовил из костей с помощью своей скороварки. В Париже некий Юбен воспроизвёл этот эксперимент в Королевской академии наук. Папен становится знаменитым в Германии; посол Венецианской республики при английском дворе приглашает его создать в Венеции Академию физических и естественных наук.

В Англии усиливаются антипротестантские настроения, и под влиянием сложившихся обстоятельств Папен решает покинуть Англию, положительно откликнувшись на приглашение германского принца-протестанта, ландграфа Гессена-Касселя Карла-Августа, который предложил ему должность профессора в Марбургском университете. Папен оставил Англию, чтобы запереть себя в маленьком отсталом княжестве в Центральной Германии. Университет Марбурга, расположенного на реке Лан, в 120 км от Касселя, не представлял собой ничего интересного. Известный как самый старый протестантский университет Германии, он оставался приверженным теологии, кото-



**Готфрид Вильгельм
фон Лейбниц
(1646 – 1716)**

рая занимала центральное место среди изучаемых наук. Дени Папен, назначенный руководителем кафедры математики, был там очень плохо принят. Это отношение усугублялось ещё и тем, что ландграф, польщённый репутацией Папена, сразу же сделал его деканом.

Но была и положительная сторона в этой беспросветной ситуации: Папен вступает в переписку с выдающимся немецким учёным Готфридом Лейбницем. Прослышав, что изобретатель «котла», бывший ассистент Гюйгенса и член Королевского общества находится в Марбурге, Лейбниц сам написал Папену.

Лейбниц родился в семье профессора философии Лейпцигского университета. Когда мальчику было 8 лет, его отец умер, оставив после себя большую библиотеку. Лейбниц уже к 12 годам самостоятельно изучил латынь. В 1661 г. Готфрид поступил в Лейпцигский университет, где познакомился с работами Кеплера и Галилея. В 1663 г. переходит в Йенский университет, где изучает математику. Затем возвращается в Лейпциг изучать право. Диссертацию на соискание степени доктора права защищает в Нюрнбергском университете в 1666 году. Закончив обучение, в 1670 году устраивается советником курфюрста Майнцского. Работа требовала постоянных разъездов по всей Европе; в ходе этих путешествий он подружился с Гюйгенсом, который углубляет его знание математики. В 1673 году Лейбниц избирается членом Королевского Общества в Лондоне. Уже в 1676 году Лейбниц в письмах излагает основы математического анализа. Объём его переписки колоссален. В 1700 году Лейбниц основывает Берлинскую Академию наук и становится её первым президентом. Избирается иностранным членом Французской Академии наук.

В 1697 году, во время путешествия по Европе, русский царь Петр I случайно познакомился с Лейбницем. Во время торжеств в 1711 г., посвящённых свадьбе наследника русского престола с принцессой правящего ганноверского дома, состоялась их вторая встреча. В следующем году Лейбниц имел более продолжительные встречи с Петром, сопровождал его в Теплиц и Дрезден. Это свидание было весьма важным и привело в дальнейшем к одобрению Петром создания Академии наук в Петербурге, что послужило началом развития научных исследований в России по западноевропейскому образцу. От Петра Лейбниц получил титул тайного юстиции советника и пенсию в 2000 гульденов. Лейбниц предложил проект научных исследований в России, связанных с её уникальным географическим положением, таких, как изучение магнитного поля Земли, отыскание пути из Арктики в Тихий океан.

В сентябре 1688 г. в Касселе Папен восстановил и усовершенствовал пороховую машину, которую они с Гюйгенсом испытывали в 1673 г.: торец



Д.Папен за испытанием
парового цилиндра

цилиндра был прочнее и выполнен из бронзы, вместо труб из кожи установлены клапаны. В августе 1690 г. в журнале «Acta Eruditorum» опубликована статья Папена, в которой он предложил заменить «дефлаграцию пороха разрежением воздуха», что в переводе на современный технический язык означает, сгорание пороха заменить введением водяного пара, который при конденсации образует вакуум. Это явилось настоящим прорывом в области будущего использования движущей силы **водяного пара**.

В начале 1691 г. Папен предложил ландграфу построить подводную лодку и испытать её. Папен не был пионером подобного проекта: в начале века голландский физик и механик Корнелис Дреббель (1572—1634) уже пробовал провести такой эксперимент в Лондоне на Темзе, но он остался без продолжения. Проект Папена не был лишён оригинальности. Его лодка представляла собой большой ящик, к которому была пристроена система клапанов, позволяющих всасывать воду, чтобы утяжелить машину, и воздушный насос, с помощью которого внутри создавалось давление, равное давлению окружающей воды. Было намечено провести погружение в августе 1691 г. в Марбурге на реке Лан. Ландграф, сопровождаемый двором, прибыл, чтобы почтить своим присутствием многообещающий эксперимент, но подъёмный кран, который должен был погрузить судно, сломался. Подводная лодка упала в воду с открытым люком и затонула, эксперимент закончился. Многие насмеялись над Папеном, но Лейбниц ему посоветовал не сдаваться и проявить настойчивость.

В 1697 г. Папен предложил ландграфу Касселя с помощью своей машины поднять воды реки Фульды, чтобы заполнить бассейн графского парка. Ландграф не дал согласия. Неожиданно появился шанс: Лейбниц, который

прочёл небольшую статью Папена, предложил построить машину в Ганновере. Это было бы превосходно, если бы Ганновер не принадлежал ненавистным соперникам ландграфа Касселя, у которого они отняли титул курфюрста. Для Папена осложнять отношения со своим покровителем было рискованно. В конце 1698 г. он с грустью ответил Лейбницу: «Я себе не принадлежу и не могу располагать своими творениями».

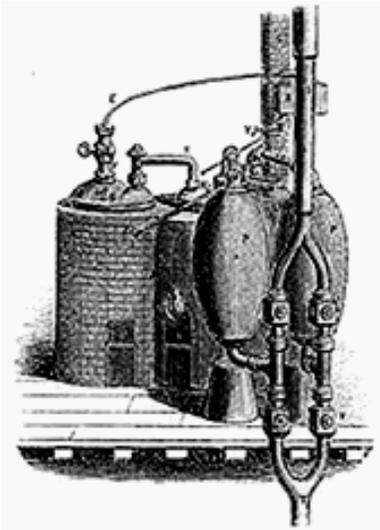


**Томас Севери
(1650 – 1715)**

В июне 1699 г. Лондонский журнал «Philosophical Transactions» опубликовал доклад английского изобретателя Томаса Севери, сопровождаемый схемой функционирования «насоса с зажиганием»: машины, работающей на атмосферном воздухе, в которой вакуум создаётся резким охлаждением и конденсацией пара (рис. 2).

Машина Севери была далека от совершенства, но она работала, и на неё был спрос. Лейбниц после её изучения отправил Папену заключение о статье в «Transactions». Папен вернулся к своему проекту с учётом некоторых нововведений Севери. На этот раз ландграф позволил себя убедить, и в начале 1707 г. Папен создал систему, которую, чтобы польстить ландграфу, назвал «машиной курфюрста» (рис. 3). Она практически не имела ничего общего с проектом 1690 г., основанном на работах Гюйгенса.

Совершенно очевидно, что Папен использовал принцип Севери, при этом он постарался исключить из него то, что делало «насос с зажиганием» англичанина опасным. С одной стороны, он усовершенствовал конструкцию поршня, с другой – обезопасил цилиндр с помощью предохранительных клапанов. Папен нашёл очень оригинальное решение, пристроив к поршню полую камеру, которую можно было наполнять раскалённым углём. Благодаря этому цилиндр нагревался и обеспечивался более быстрый рост давления пара, что, по сравнению с моделью Севери, приводило к ускорению процесса.



**Рис. 2. Водоотливная машина
Т.Севери —насос с зажиганием».
1698 г.**

Папен опубликовал в Касселе описание своей машины, в котором он чётко изложил суть усовершенствования: сохранение тепла в цилиндре после конденсации ускоряет процесс и усиливает мощность устройства. Тем не менее «машина курфюрста», более сложная и совершенная, чем система Севери, не получила распространения.

Убеждённый в важности открытия, Папен написал статью в Лондонский «Philosophical Transactions». Он не учел, что Томас Севери внимательно следит, чтобы ни один конкурент не скомпрометировал его изобретение: статья не была опубликована. Никаких рудников в Касселе не существовало, и после нескольких демонстраций машина Папена была демонтирована. Папен был обескуражен: в Германии ничего у него не получится, надо ехать в Англию. Он

представит англичанам свою последнюю идею: создать судно с механическим двигателем, который будет функционировать с помощью его машины. Уверенный в том, что в Лондоне его ждёт слава, Папен лихорадочно приступил к работе. Лихорадочность довольно быстро переросла в психоз. Папен вбил себе в голову, что сможет соорудить небольшое паровое судно, которое позволит ему и его семье вернуться в Великобританию, спустившись по рекам Фульда и Везер, переплыть Северное море и триумфально подняться по Темзе. С мая 1707 г. он живёт только этим проектом...

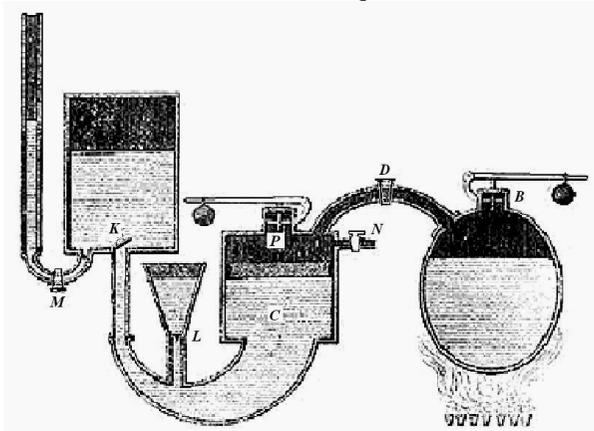


Рис. 3. Схема «Машины курфюрста» – водоотливной машины Д.Папена. 1707 г.

Английский изобретатель Т. Ньюкомен совместно с Дж. Коули на протяжении 1705...1712 гг. создают паровой водоподъёмник с приводным поршнем, который сразу же сделал устаревшей машину Севери и который постепенно превратился в базовую модель шахтного насоса (рис. 4). Очевидно, английский механик, увлечённый всем, что касается энергии пара, был знаком с проектом Папена 1690 года. Ньюкомену повезло больше, чем Папену: к 1767 году на рудниках одного Ньюкастла насчитывалось около 70 машин Ньюкомена. Сам царь Пётр закупил эти машины для подачи воды в фонтаны Петродворца, и именно на основе этой машины Уатт создаст универсальный двигатель.



**Томас Ньюкомен
(1663 – 1729)**

Это означает, что в 1690 г. Папен был на правильном пути, но впоследствии, поддавшись влиянию системы Севери, он повернул в другом направлении, которое оказалось тупиковым. Интуиция Папена была точной, он даже предложил механизм трансформации поступательного движения поршня во вращательное, хотя сам недооценивал значение своих инициатив. Его «машина курфюрста» была всего лишь насосом, в то время как машина Ньюкомена стала универсальной. Подобным устройством в 1769 г. французский инженер Никола Жозеф Кюньо (1725 – 1804) снабдит свою «паровую телегу».

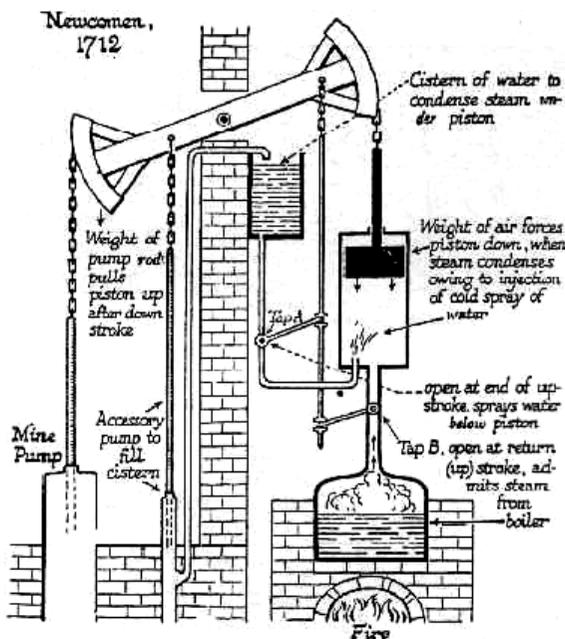


Рис. 4. Чертёж водоотливной машины Т.Ньюкомена. 1712 г.

2. ЭНЕРГИЯ ПАРА

Кюньо был капитаном французской армии, военным инженером, получившем превосходное образование в Германии. В 1763 году ему удалось добиться встречи с генерал-инспектором артиллерии и заинтересовать его в строительстве «паровой телеги» для перевозки снарядов и пушек. В 1765 г. изобретатель испытал свою первую (и первую в истории мобильных машин с двигателем) механическую повозку, перевозившую четырёх пассажиров со скоростью 4...5 км/час. Паровая машина имела два цилиндра, работавших попеременно (что исключало появление «мертвых» точек), под избыточным давлением, с выпуском отработавшего пара в атмосферу. Хотя она и имела ряд недостатков, в частности, котёл предварительно нагревали на костре, и пара хватало на несколько минут работы, французское военное министерство поручило Кюньо спроектировать артиллерийский тягач для армии и финансировало работы.

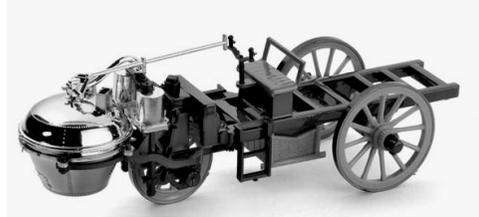


Рис. 5. Паровая повозка Ж. Кюньо. 1770 г.

В 1769 г. паровик был готов к испытаниям. Он представлял собой массивную дубовую раму на трёх колёсах. На подрамнике переднего (управляемого и ведущего) колеса устанавливались двухцилиндровая паровая машина и котёл с топкой. Поступательное движение поршней в цилиндре при помощи храпового механизма преобразовывалось во вращательное движение ведущего колеса. Управлять деревянным паровиком приходилось двоим, поскольку сам он весил тонну и столько же – запасы воды и топлива.

При показательных испытаниях, в присутствии высоких чинов, изобретатель не справился с управлением, и паровая телега протаранила каменную стену, котёл взорвался. В следующем 1770 г. Кюньо построил ещё одну паровую телегу, но конструктивного развития она уже не имела: сменилось командование, прекратилось финансирование и об изобретателе забыли. Сама повозка сохранилась до наших дней и находится в Музее искусств и ремёсел в Париже.

Гениальный русский механик Иван Иванович Ползунов (1728 – 1766) познакомившись с описанием паровых машин того времени, но практически независимо от западных изобретателей, в 1763 году спроектировал паровую

машину для Колываново-Воскресенского завода в Барнауле (рис. 6). Машина Ползунова отличалась от известных в то время «огнедействующих машин» прежде всего тем, что предназначалась не для подъема воды, а для привода воздушных мехов в медеплавильных печах.

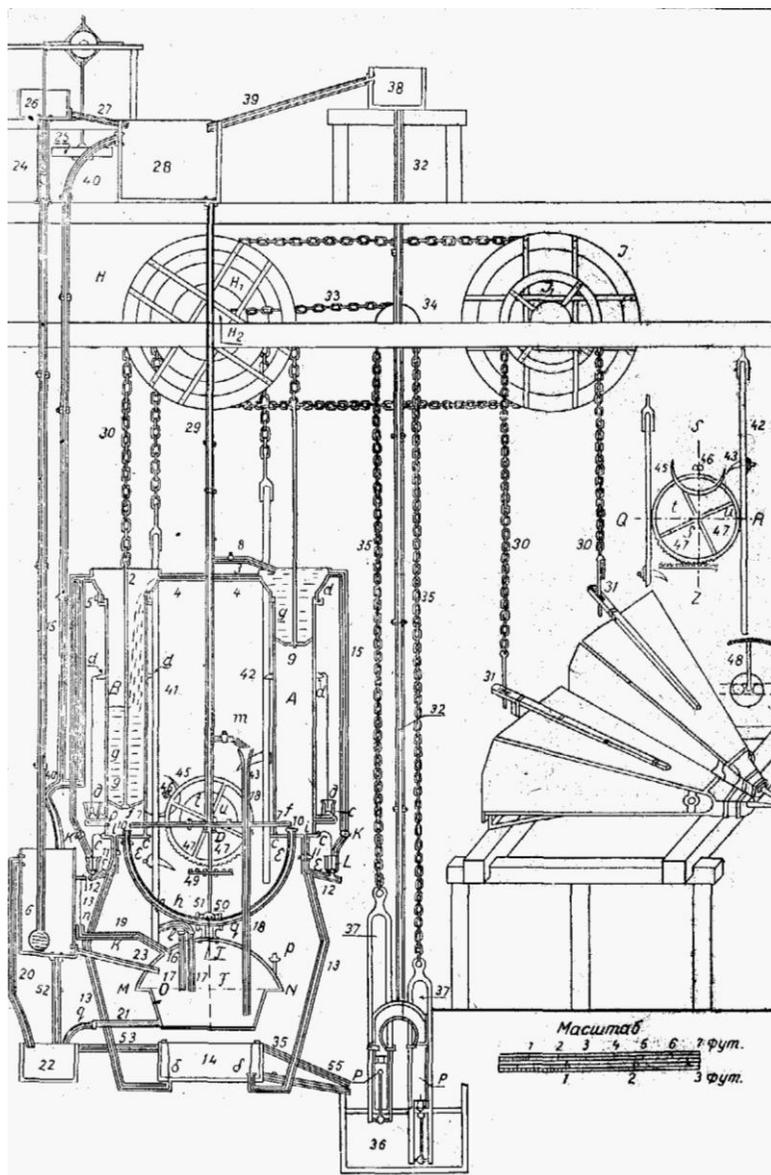


Рис. 6. Проект устройства и работы машины Ползунова 1763 г.

В отличие от машин Ньюкомена машина Ползунова была машиной непрерывного действия, что достигалась применением двух поочередно работающих цилиндров вместо одного. Наконец, Ползунов предусмотрел в своей машине не только автоматическое парораспределение, но и автоматическое водопитание с поплавковым регулятором уровня воды в котле.

За свой проект Ползунов получил повышение в чине, стал «механикусом», но реальной помощи в деле осуществления проекта ему не было оказано. Приказом от 22 января 1764 г. начальство Кольвано-Воскресенских заводов предписало Ползунову строить машину *с учетом указаний* президента Берг-коллегии Петербурга И. Шлаттера. По компоновке и внешнему виду устройство «огнедействующей машины» Ползунова 1766 года (рис. 7) напоминает машину Ньюкомена 1712 года. Машина была построена и пущена в ход уже после смерти Ползунова: до ее пробного пуска он не дожил 7 дней. После пуска машина исправно проработала 43 дня, после чего прогорел медный котел и... машину забросили. Модель машины была передана в Петербург, сначала в музей Академии наук, затем – в кунсткамеру.

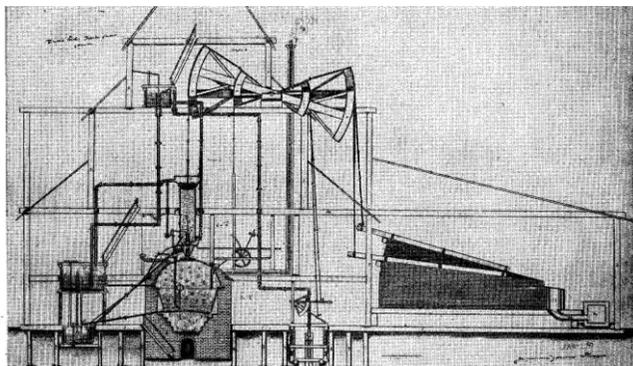
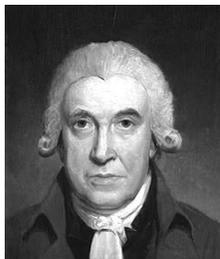


Рис. 7. Рабочие эскизы компоновки машины Ползунова 1766 г.

Паровую машину И.И. Ползунова многие склонны считать русским приоритетом в области создания универсального теплового двигателя, появившегося раньше патента Джеймса Уатта.



Джеймс Уатт
(1736 – 1819)

Джеймс Уатт родился в г. Гринок, Шотландия, имел от рождения хрупкое здоровье, поэтому начальное образование получил в семье. Большую часть года он был ограничен стенами своей комнаты, где учился самостоятельно. Будучи подростком, увлекался астрономией, химическими опытами, научился всё делать своими руками, за что получил от окружающих звание «мастера на все руки». В 1754 году отец отправил Уатта в Лондон для обучения слесарному делу. Освоив за год семилетнюю программу, Уатт возвратился в Шотландию и получил место мастера-изготовителя

точных и оптических инструментов в Университете города Глазго. В 1763 году к Джеймсу Уатту, обратился профессор физики университета с просьбой отремонтировать действующий макет паровой машины Ньюкомена. Уатт провел ряд экспериментов, убедился в неэффективности машины и стал работать над усовершенствованием конструкции. На протяжении 1763...1769 гг. были предложены теплоизоляция цилиндра, отдельный конденсатор пара, цилиндр двухстороннего действия.

Внешний вид и схема функционирования универсального двигателя, впервые реализованного Д.Уаттом в 1780 г., представлен на рис. 8.

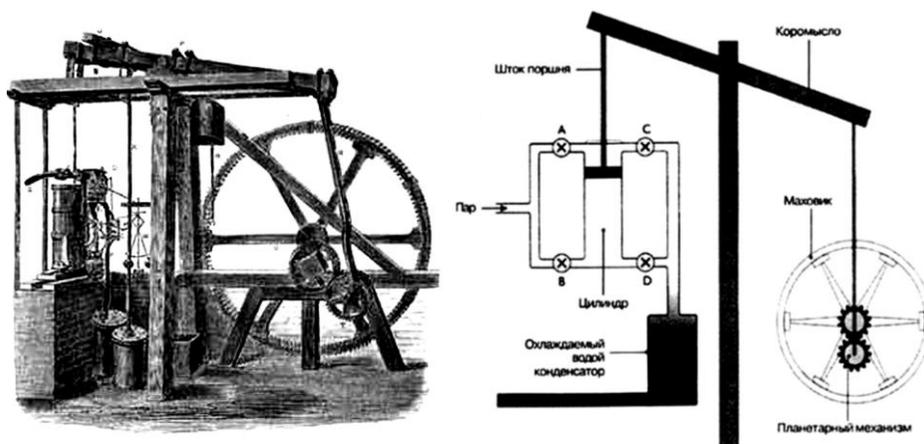


Рис. 8. Внешний вид и схема работы паровой машины паровой машины Уатта

В паровом двигателе Д.Уатта преобразование тепла в механическую работу при расширении рабочего тела осуществлялось в поршневой машине двойного действия, снабженной кривошипно-шатунным механизмом (патент Пикара, 1779 г.). Две рабочих полости – надпоршневая и штоковая (рис. 3.8) – попеременно сообщаются отверстиями А, В, С и D с впускным и выпускным паропроводами, соединяющие золотниковую коробку с паровым котлом и конденсатором, соответственно. Парораспределение осуществляет золотник, который приводится в действие от вала машины кулачком и тягой (патент Мердока, 1782 г.).

За выдающиеся успехи в деле создания универсального двигателя Уатт был принят в члены Эдинбургского королевского общества (1784), Лондонского королевского общества (1785), Парижской академии наук (1814). Его именем названа единица мощности в системе СИ – Ватт.

За сто лет развития паровая машина Уатта принципиально изменилась мало (рис. 9), однако паровые двигатели конца XIX в. имели достаточно высокие удельные показатели. Достаточно сказать, что первый самолет Можайского имел специально разработанный им в 1880 г. паровой двигатель. В 1938 году научно-исследовательский автотомоторный институт (НАМИ) приобрел

для исследований шеститонный самосвал английской фирмы Сентинел с паровым двигателем на угле. Несмотря на большой расход угля – 152 кг на 100 км пути, – эксплуатация машины была выгодной, ведь литр бензина тогда стоил 95 копеек, а килограмм угля – всего четыре копейки.

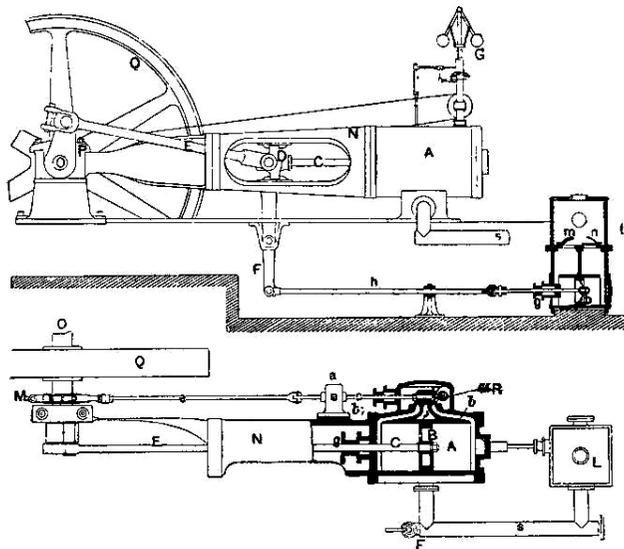


Рис. 9. Схема устройства паровой машины конца XIX в

В 1947 году перед конструкторами НАМИ поставили задачу: создать для леспромхозов автомобиль, работающий на дровах. Уже в 1948 году был построен опытный НАМИ-012 на базе шасси семитонного ЯАЗ-200 (рис. 10). Трехцилиндровая паровая машина имела мощность 100 л. с. при 1250 об/мин, ее габариты и масса получились даже меньше, чем у дизеля с коробкой передач. Правда, эту экономию сводил на нет тяжелый (около тонны) «котлоагрегат». В трансмиссии автомобиля устанавливались трехдисковое сцепление и двухступенчатый редуктор.



Рис. 10. Паровой автомобиль НАМИ-012 1949 года

Одной заправки бункера дровами влажностью до 35% было достаточно для непрерывного пробега по шоссе до 80–100 км. Даже при форсированных режимах работы котла химический недожег составлял лишь 4–5%. Нормальная работа автомобиля гарантировалась даже при работе на дровах влажностью до 49%. Паропроизводительность котельного агрегата составляла 600 кг пара в час при 25 атм давления и температуре 425°С. Испаряющая поверхность котла составляла 8 м², поверхность пароперегревателя – 6 м². Холодный котел разжигался до полного давления за 30...35 минут, а движение паровой автомобиль мог начать с низкой скоростью, когда давление пара достигало 12...16 атм. Конструкция топочного устройства допускала его перевод на низкокалорийное топливо – торф или бурый уголь.

Автор статьи о паромобиле НАМИ-012 отмечает, что в советской научно-технической литературе разным периодам развития паровых машин соответствует различное к ним отношение. Так, в Кратком техническом словаре 1934 года приводится заключение: «Паровые автомобили имеют весьма малое распространение. Главнейшие недостатки – необходимость большого запаса тяжеловесного топлива, медленный пуск в ход вследствие длительного разогревания...». В 1959 году составители Малой советской энциклопедии публикуют фотографию НАМИ-012 и сопровождают ее положительными комментариями: «Наиболее благоприятные показатели... Паросиловая установка выгодно отличается от других...». А вот Политехнический словарь 1976 года резюмирует: «Паровой автомобиль не получил распространения из-за конструктивной сложности».

Паровая машина широко применялась до 60 гг. XX столетия в различных производствах и отраслях, в том числе и как передвижной двигатель сельскохозяйственного назначения под названием локомобиль (рис. 11), работающий на местных топливах – на соломе, дровах, на любых горючих отходах.

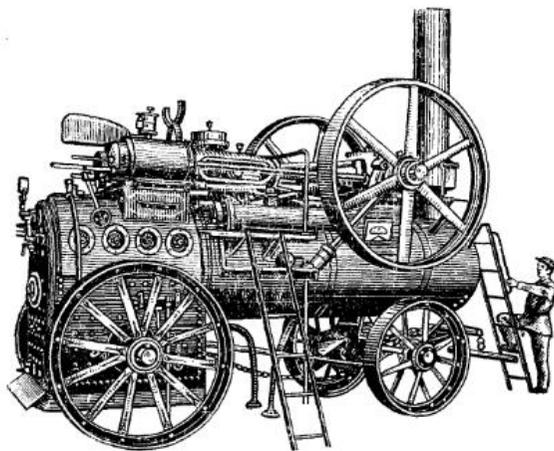


Рис. 11. Внешний вид локомобиля – передвижной паросиловой установки

3. «ВОЗДУШНЫЕ» ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Неэффективное использование теплоты пара в паровой машине служило причиной стремления заменить водяной пар другим рабочим телом. В частности, параллельно с разработкой паровых машин строились мало известные в наше время «*воздушные машины*», в которых в качестве рабочего тела использовался воздух. Это название распространялось и на машины, в которых рабочим телом служили продукты горения, причем, *горение топлива происходило вне рабочей полости двигателя*. Воздух или другой газ в качестве рабочего тела имеет перед водяным паром преимущество, заключающееся в том, что *отработавший газ не уносит тепло в виде скрытой теплоты парообразования* и для совершения полезной работы можно использовать большую, чем для пара, часть сообщенной теплоты.

В том случае, когда в воздушной машине рабочее тело получало тепло через стенки рабочей полости, воздушные машины называли машинами *наружного горения*, в отличие от *воздушных машин внутреннего горения*, в которых рабочим телом служили продукты сгорания, а горение происходило в отдельной топке, вне рабочей полости машины. Не следует путать *воздушные машины внутреннего горения с двигателями внутреннего сгорания*, у которых *горение топлива происходит внутри рабочей полости!*

Сущность действия воздушной машины с наружным горением заключается в том, что помещенный *во вспомогательную полость* газ нагревают, от чего повышается давление. Газ, расширяясь, перемещает поршень *в рабочей полости* (в цилиндре) и производит работу. Отработавший в цилиндре газ проталкивается обратно во вспомогательную полость, где происходит его нагревание, причем, по пути к нагревателю он предварительно охлаждается и сжимается, затем, нагревшись, вновь поступает под поршень рабочего цилиндра и т.д.

Наружным нагреванием нельзя, однако, поднять давление газа до высокой степени, так как давление повышается пропорционально абсолютной температуре. Так, если давление некоторого объема газа нужно увеличить в 2 раза, то необходимо нагреть его настолько, чтобы абсолютная температура стала в 2 раза больше. Если температура при атмосферном давлении составляет 15°C , то для увеличения давления в 2 раза необходимо нагреть газ в замкнутом объеме до температуры $(15 + 273) \cdot 2 = 576^{\circ}\text{K} - 273 = 303^{\circ}\text{C}$ а для повышения давления в 3 раза – до температуры $(15 + 273) \cdot 3 = 864^{\circ}\text{K} - 273 = 591^{\circ}\text{C}$.

Элементарные расчеты показывают, что для получения нагреванием даже средних давлений, температура воздуха должна быть повышена до такой высокой степени, что известные материалы оказываются непригодными для постройки машины. Кроме того, передача тепла через стенку ввиду недостаточной теплопроводности известных материалов требует непомерного увеличения размеров теплообменных аппаратов. Поэтому практическое значение воздушных машин в сравнении с паровыми машинами оказалось весьма незначительным.

К воздушным машинам с наружным горением относится воздушная машина Робинзона (рис. 12).

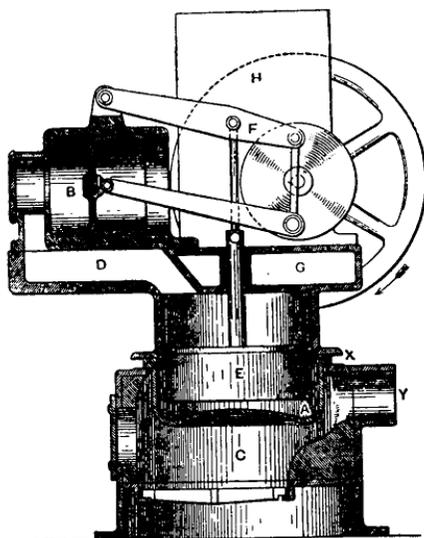


Рис. 12. Продольный разрез воздушной машины Робинзона

Машина имеет основной В и теплообменный А цилиндры с рабочим и вытеснительным поршнями, соответственно. Верхняя часть теплообменного цилиндра охлаждается водой, подаваемой из бака Н по каналам Г, нижняя его часть нагревается топочными газами при сжигании топлива в топке С. Вытеснительный поршень Е выполнен полым и заполнен медными сетками, через который воздух свободно проходит из горячей (нижней) части теплообменного цилиндра в холодную (верхнюю) его часть. Вытеснительный поршень перемещается внутри теплообменного цилиндра штоком, связанным посредством кривошипно-рычажного механизма F с валом двигателя. Поршень основного цилиндра соединен с валом двигателя посредством кривошипно-шатунного механизма.

Нагревание воздуха происходит в камере А. В процессе нагрева *вытеснительный поршень* Е поднимается, увеличивая объем нагретого воздуха, давление которого от нагрева увеличивается. Нагретый в камере А воздух расширяясь проходит *сквозь вытеснительный поршень*, через канал D входит в рабочий цилиндр В и выталкивает *рабочий поршень*, раскручивая вал двигателя с маховиком и выполняя, таким образом, работу.

Затем *вытеснительный поршень* опускается приводным механизмом, уменьшая объем горячей части и увеличивая объем холодной части воздуха. При проходе через сетки поршня Е горячий воздух отдает тепло сеткам и охлаждаясь, уменьшается в объеме. Давлением атмосферного воздуха *рабочий поршень* вталкивается в рабочий цилиндр В а отработавший воздух вытесня-

ется по каналу **Д** в холодную часть теплообменного цилиндра, охлаждаясь при этом от соприкосновения со стенками камеры **Г**.

Среднее давление рабочего воздуха в машине Робинзона равняется атмосферному, что ограничивает мощность и КПД машины, достигающий всего 1,5...2,5 %. В наше время аналогичный принцип работы имеет тепловая машина, известная под названием двигателя Стирлинга. Чтобы уменьшить размеры воздушных машин внешнего горения и повысить термический КПД, применяют специальное рабочее тело, находящееся под высоким давлением. Так, у современных двигателей Стирлинга в качестве рабочего тела применяется водородно-гелиевая смесь под давлением до 10 МПа, нагреваемая до температуры выше 1000°C, что позволяет получить термический КПД до 35%.



Роберт Стирлинг
(1790 – 1878)

В 1816 году, выдержав все положенные экзамены в университете, Роберт Стирлинг был назначен священником в Килмарнок (Шотландия). Молодой пастор отличался незаурядным инженерным талантом. Во время учебы Стирлинг работал над альтернативой паровой машине с целью уменьшить риск для рабочих: паровые машины часто взрывались из-за низкого качества деталей. Через неделю после назначения в Килмарнок Стирлинг подал заявку на получение патента на «Устройство для экономии тепла». Именно оно стало изобретением, прославившем имя изобретателя.

Использование в качестве рабочего тела продуктов горения топлива, температура которых мало зависит от давления и при этом не требуется применения громоздких теплообменных аппаратов, улучшает показатели воздушных машин. Благодаря увеличению верхнего предела температуры рабочего тела эффективность рабочего процесса машины повышается.

В 1837 г. был запатентован один из двигателей на горячем воздухе, получивший название «калорический двигатель». Его изобретатель Джордж Кейли создал его как аналог паровой машины. У этого двигателя вместо котла имелась топка, в которой нагревали сжатый воздух. При этом часть сжатого воздуха использовалась для горения топлива, затем обе части смешивали, поэтому, строго говоря, рабочим телом служил не чистый воздух, а его смесь с продуктами сгорания. Сжатый воздух получали в поршневом компрессоре. Между компрессором и котлом устанавливался управляемый золотник, при помощи которого осуществлялось распределение воздуха на два потока: в топку в качестве окислителя и на смешение. Котел, кроме того, был снабжен устройством для загрузки угля и для перекрытия клапанов на время загрузки. Испытания двухцилиндрового образца такого двигателя показали его работоспособность, но КПД составлял всего около 8%.

На рис. 13 изображена схема работы воздушной машины Бёкета, во многом повторяющей схему двигателя Кейли, в которой в качестве рабочего тела использовались продукты сгорания топлива.

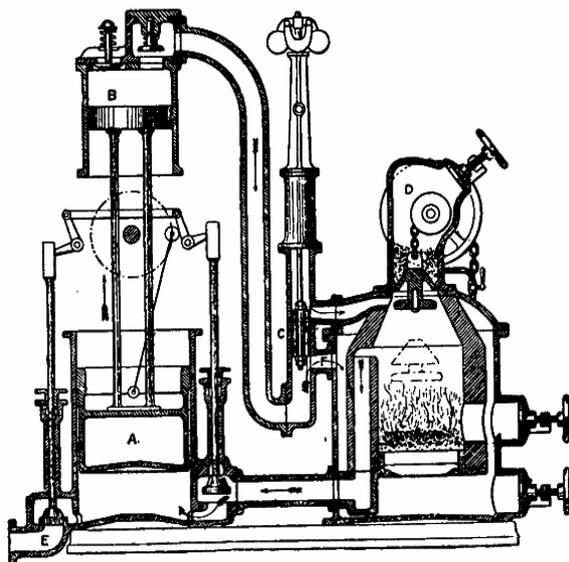


Рис. 13. Схема воздушной машины Бёкета:

А – рабочий поршень; В – сжимающий насос; С – золотник с центробежным регулятором, регулирующий подачу воздуха; D – герметичный ящик для топлива; E – выпускной клапан

Машина Бёкета работает следующим образом. Топливо горит на колосниковой решетке в герметично закрытой топке. Воздух в топку подается принудительно насосом В, приводящимся в действие от рабочего поршня А посредством штока. Образовавшиеся продукты сгорания при высокой температуре и давлении подаются через открытый впускной клапан в рабочий цилиндр и, расширяясь, перемещают поршень А, который посредством кривошипно-шатунного механизма соединяется с валом двигателя. В некоторой части хода поршня А впускной клапан закрывается специальным газораспределительным механизмом, и давление в рабочем цилиндре вследствие расширения рабочего тела снижается. В крайнем верхнем положении поршня А газораспределительный механизм открывает выпускной клапан Е, поршень движется в обратном направлении и вытесняет отработавшие газы в атмосферу – происходит очистка цилиндра. В крайнем нижнем положении поршня А выпускной клапан закрывается а впускной – открывается и процессы повторяются. Сжимающий насос В имеет самодействующие впускной и нагнетательный клапаны.

Термический КПД воздушных машин внутреннего горения зависит главным образом от организации расширения – адиабатического или почти адиабатического, которому подвергаются газы в рабочем цилиндре. Если степень расширения недостаточна, то эти машины утрачивают все преимущества перед паровой машиной. В виду того, что выпуск отработавших газов произ-

водится при атмосферном давлении, значительное расширение возможно лишь при образовании продуктов горения под сильным давлением, т.е. при сильном предварительном сжатии воздуха.

По мнению, высказанному в начале прошлого века, «воздушные машины внутреннего горения, в которых рабочим телом служат продукты сгорания топлива, практического значения пока не имеют: они представляют переход от воздушных машин к двигателям внутреннего сгорания, у которых горение топлива происходит в рабочей полости». В наше время известны работы по созданию воздушных машин, использующих специально подготовленные угли вместо жидких топлив нефтяного происхождения.

4. ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Двигатели внутреннего сгорания имеют не менее богатую, чем паровые машины, историю развития, которая начинается задолго до 1860 г., когда был создан первый пригодный для практического применения ДВС.



Нисефор Ньепс
(1765 – 1833)

Некоторые считают, что первым, кому удалось создать действующий двигатель внутреннего сгорания, был Нисефор Ньепс. Братья Клод и Нисефор Ньепсы родились в старинной французской дворянской семье, учились в колледже отцов-ораторианцев и, понятно, естественнонаучного образования не получили. В 1789 грянула революция, и братья Ньепсы стали офицерами революционной армии. Через три года они вышли в отставку, поселились в своем поместье и посвятили себя изобретательству. Французская республика крайне нуждалась в источниках сырья и энергии, правительство назначало крупные награды за решение важных для страны вопросов.

В 1794 г. братья начали поиски топлива, пригодного для машин, преобразующих энергию продуктов сгорания в работу. Братья писали так: «Занимаясь разыскиванием природной силы, которая могла сравниться с силой паровых машин и при этом не требовала таких громоздких приборов, а в особенности не поглощала столько топлива, мы предположили, что нашим требованиям мог бы удовлетворить расширяемый огнем атмосферный воздух. Но так как воздух даже при высокой температуре расширяется весьма слабо, то мы представили себе, что если он будет внезапно пронизан в замкнутом объеме пламенем чрезвычайно горячего вещества, измельченного в очень мелкий порошок и рассеянного по всему объему этого сосуда, то он разовьет гораздо большую энергию и произведет нечто вроде взрыва, соразмерного сопротивлению тех препятствий, которые он должен преодолеть». В качестве такого порошка братья на первых порах применили ликоподий – семена спорового растения плауна. Но урожай спор плауна очень ограничен. В 1806 году Ньепсы представили во французскую Академию наук доклад о новой машине, которая работала бы на угольной пыли. Сведения об устройстве этого

двигателя, который братья назвали «пирэолофор», крайне скудны. Изобретение вызвало большой интерес, и двум экспертам-академикам было поручено разобраться в изобретении. Одним из экспертов был Лазар Карно (отец Сади Карно), давший положительный отзыв, хотя у двигателя был ряд принципиальных недостатков.

Ньепсы построили двигатель и оснастили им в 1806 году трехметровую лодку, весом 450 кг, которая, *по неподтвержденным сведениям*, ходила вверх по реке со скоростью, вдвое больше скорости течения. Изобретатели искали возможности заручиться чьей-то финансовой поддержкой, и приняли решение добиваться аудиенции у Наполеона. Они готовили для демонстрации небольшое судно с двухцилиндровым двигателем. Но наступил 1811 год, Наполеон готовился к войне с Россией и не приехал в Лион, где должны были быть испытания. Вероятнее всего, двигатель тоже не был построен, так и оставшись проектом.

Позже Нисефор Ньепс из трудов химика Лавуазье узнал, что нефтяные «летучие масла» дают с воздухом взрывоопасные смеси, и сразу оценил этот факт. В 1817 году старший брат Клод едет в Англию, в надежде продать там патент на «пирэолофор» (двигатель). Расставшись с Нисефором, Клод продолжает работать над двигателем самостоятельно, но ведет свою изобретательскую мысль в какую-то другую сторону. В какую – Нисефору трудно понять: боясь разглашения секретов, брат ничего открыто не рассказывает в своих письмах, а только без конца просит денег и обещает, что вот-вот будет результат. И уже позже Нисефор догадывается, что Клод бьется над двигателем, «не потребляющим силы», т.е. над *вечным двигателем!* Нисефор Ньепс никому не сумел продать для коммерческого использования свои многочисленные изобретения. На родине, во Франции, ему поставлен памятник – как изобретателю фотографического процесса. Упоминания о двигателе Ньепсов содержатся в знаменитой работе Сади Карно «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу».



Никола Леонар
Сади Карно
(1796 – 1832)

С.Карно родился в Париже в семье известного политического деятеля и ученого. Учился в лицее Карла Великого, в 1814 году окончил Политехническую школу в Париже и был направлен в Инженерную школу в Метце. В 1816 получил назначение в инженерные войска и в течение нескольких лет выполнял обязанности военного инженера. Принял участие в конкурсе на замещение вакантной должности в штабе корпуса в Париже и, выиграв конкурс, переехал в столицу. Продолжал учиться, посещал лекции в Сорбонне, Коллеж де Франс. Главной заслугой стало обоснование необходимости перепада температур для создания действующей тепловой машины, выводы о том, что величина работы определяется только разностью температур нагревателя и холодильника и не зависит от природы рабочего тела. Пришел к понятию механического эквивалента теплоты и сформулировал в общем виде закон сохранения энергии.

В 1832 году разразилась эпидемия холеры, Сади заразился и умер. Тела умерших сжигали вместе с личными вещами. Таким образом, погибли все его записи, осталась лишь опубликованная небольшим тиражом брошюра «...о движущей силе огня...». Через четверть века английский физик Уильям Томсон (лорд Кельвин) и немецкий физик Рудольф Клаузиус возродят идеи Карно и сделают термодинамику наукой. Но о Ньепсах уже никто не вспоминает.

В 1798 году французский военный инженер Филипп Лебон открыл светильный газ. В 1799 году он получил патенты на способ получения светильного газа путем сухой перегонки древесины или угля, и на использование этого газа, прежде всего для освещения и отопления помещений. Очень скоро газовые рожки Лебона стали успешно конкурировать со свечами.

В 1801 году Лебон взял патент на конструкцию газового двигателя. Принцип действия этой машины основывался на свойстве смеси светильного газа с воздухом взрываться при воспламенении с выделением большого количества теплоты. Продукты горения, стремительно расширяясь, оказывали на окружающую среду сильное давление, которое, если создать соответствующие условия, можно использовать для производства полезной работы. В двигателе Лебона были предусмотрены два компрессора и камера смешения. Один компрессор должен был накачивать в камеру сжатый воздух, а другой – сжатый светильный газ из газогенератора. Газовоздушная смесь поступала в рабочий цилиндр, где воспламенялась. Двигатель был двойного действия, то есть попеременно действовавшие рабочие камеры находились по обе стороны поршня. По существу Лебон запатентовал двигатель внутреннего сгорания с предварительным сжатием смеси, однако в 1804 году он погиб, не успев воплотить в жизнь свое изобретение. В последующие полстолетия изобретатели из разных стран пытались создать работоспособный двигатель на светильном газе. Однако эти попытки не привели к появлению на рынке двигателей, которые могли бы успешно конкурировать с паровой машиной. Честь создания коммерчески успешного двигателя внутреннего сгорания (рис. 14) принадлежит бельгийскому изобретателю Этьену Ленуару.

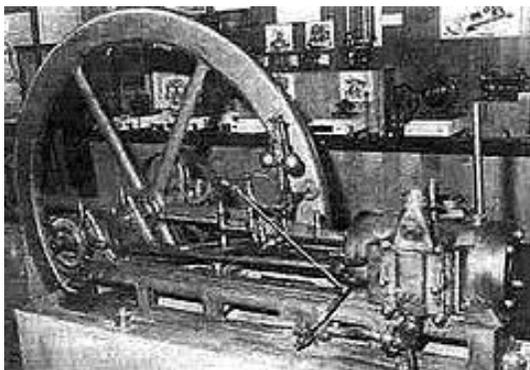


Рис. 14. Двигатель Ленуара – первый работоспособный ДВС



**Жан Жозеф
Этьен Лемуар
(1822 – 1900)**

Отец Этьена, бельгийский промышленник, умер, когда Этьену было восемь лет. Молодой Лемуар, собиравшийся поступить в парижский *Ecole Polytechnique*, знаменитый технический вуз Франции, вынужден был оставить свою мечту и в 1838 г. начал работать официантом в неприязнительном парижском ресторанчике. Завсегдатаями заведения были кустари и владельцы мелких мастерских, зачастую за едой обсуждавшие технические проблемы. Подавая закуски и разнося спиртное, пылкий молодой человек приобщался к проблемам механики. В 1848 г. Лемуар оставил место гарсона и поступил рабочим в одну из эмалировочных мастерских. Примерно через год, поспорившись с хозяином, Лемуар становится кустарем-одиночкой по ремонту домашней утвари. Поработав так какое-то время и, не добившись успеха, он поступил в литейную мастерскую итальянца Маринони, которая не без помощи Лемуара вскоре преобразилась в гальванопластическую мастерскую.

Здесь Лемуар получил возможности для экспериментального изобретательства. В то время он создал и запатентовал свой вариант маломощного электромотора, регулятора динамомашин, водомера. Продолжая опыты и используя опыт предшественников, Лемуар приблизился к схеме паровой машины двойного действия, которая могла бы работать на горючем газе с воспламенением топливно-воздушной смеси электрической искрой. В качестве прототипа своей машины он выбрал несколько уже запатентованных технических решений – двигатель Броуна (1832 г, Англия), двигатель Райта (1833 г, Англия), двигатель Вильяма Барнета (1838 г., Англия) и других.

К реализации своего замысла Лемуар привлек хозяина Маринони, который с доверием относился к инициативному изобретательному работнику. Изготовленный Лемуаром двигатель разительно напоминал паровую машину (рис. 15), только рабочим телом являлся не пар, а продукты сгорания смеси воздуха и светильного газа, вырабатываемого газогенератором. Двигатель был двойного действия с золотниковым распределителем. Один из золотников обеспечивал поочередную подачу смеси воздуха и газа в полости цилиндра, расположенные по разные стороны поршня. Второй золотник служил для выпуска отработавших газов.

Газ и воздух к золотнику подводились по отдельным каналам и до попадания в цилиндр не сжимались. Всасывание смеси в каждую полость происходило примерно до половины хода поршня. После этого золотник перекрывал впускное окно, и производилось воспламенение смеси электрической искрой. Давление сгоревшей смеси возрастало и действовало на поршень, производя работу расширения. После окончания расширения второй золотник сообщал цилиндр с выхлопной трубой, и поршень вытеснял отработавшие газы. Цикл замыкался.

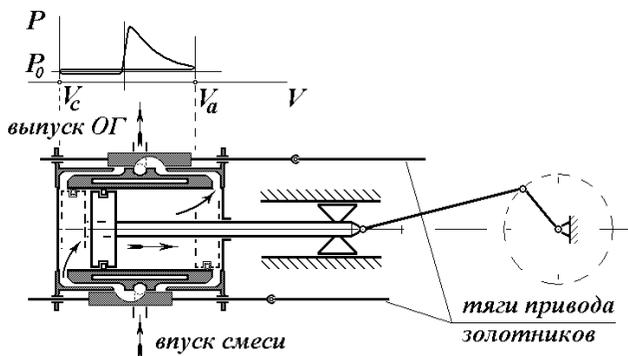
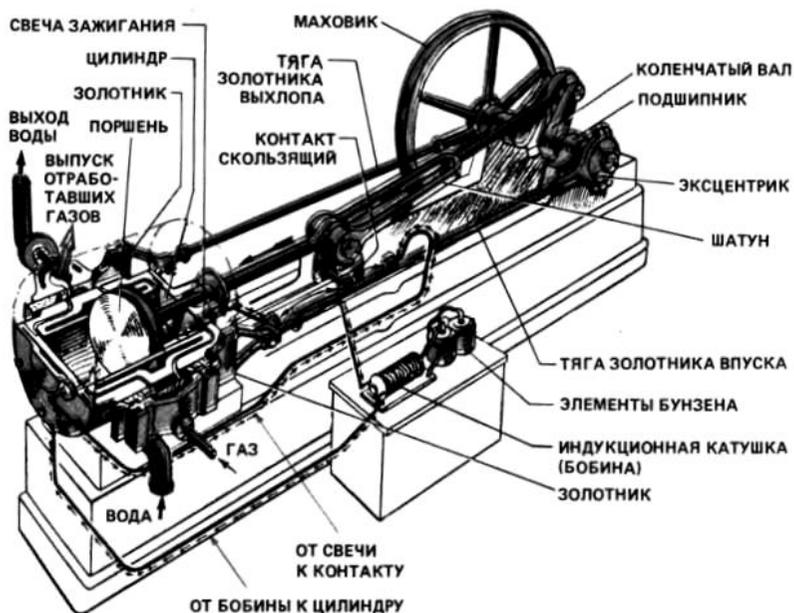


Рис. 15. Разрез и схема работы двигателя Ленуара

Первая машина была построена в 1860 году, через восемь месяцев после того, как на нее был получен патент. В патенте Ленуар заявлял: «Мое изобретение заключается в том, чтобы применять светильный газ в смеси с атмосферным воздухом, зажигая его электричеством, и получать, таким образом, движущую силу через нагревание и значительное расширение газовой смеси». В процессе первых пусков возник целый ряд неприятностей. После сборки двигателя начали вращать маховик и ждать вспышек. Через некоторое время маховик начал медленно вращаться. Машина работала почти бесшумно-

но. Но охлаждение не было предусмотрено, и поршень почти сразу же заклинило. Пришлось машину восстанавливать и усовершенствовать. При второй попытке покорило поршень. Опять не хватало охлаждения и смазки. И только с третьей попытки машина пошла. Во время опытов двигатель оставался из-за пропусков зажигания. Частота вращения колебалась в пределах от 100 до 140 об/мин. Мощность двигателя была чуть больше половины лошадиной силы при диаметре цилиндра 120 мм и ходе поршня 100 мм. Несмотря на недостатки, машина была разрекламирована, и вскоре было получено сразу три заказа, по которым изготовили три двигателя. Мощность первого из них составляла одну лошадиную силу, диаметр поршня – 75 мм и ход поршня – 140 мм, двигатель не имел водяной рубашки. Два следующих двигателя имели большие размеры и были снабжены водяным охлаждением. Слабым местом был выпускной золотник: никак не удавалось наладить его смазку. При высокой температуре выпускных газов, доходивших до 800 градусов, он заклинивал.

Газовый двигатель был менее громоздким и тяжёлым в сравнении с паровыми машинами, проще в управлении, при запуске не требовал длительной подготовки, а в стационарном режиме работал полностью автоматически, тогда как для работы паровой машины требовалось постоянное участие кочегара. По этим причинам газовый мотор привлекал к себе внимание потребителей, хотя и не вполне оправдывал их ожидания. Двигатель требовал огромного количества смазки, а его КПД оказался ниже, чем у паровых машин, и составил чуть более 3%. Но, несмотря на это, двигатели продолжали рекламировать и их покупали мелкие предприятия, располагавшие возможностью получать светильный газ, например типографии, ремонтные мастерские, для которых паровые машины были слишком громоздки и дороги. Очень скоро начала работу фирма по выпуску газовых двигателей «Ленуар и К^о». Мотор Ленуара, мощностью в 4 лошадиные силы, производили французские фирмы «Маринони», «Лефевр», «Готье» и немецкая фирма «Кун».

Появление двигателя Ленуара вызвало первые в истории ДВС патентные споры. Протестующие отмечали, что такие существенные признаки двигателя как поршень двойного действия, электрическое зажигание, были известны ранее. И это действительно так. Однако никто не может отнять у Ленуара *первенство внедрения* газовых ДВС.

На Парижской выставке 1864 г. машине Ленуара было присуждено первое место. К этому времени во Франции и в Англии было изготовлено около трехсот его двигателей, используемых и как стационарные, и для привода всяких повозок. Ленуар строит ботик со своим двигателем и после удачных испытаний на Сене продает это судно компании, поддерживающей сообщение между Парижем и Шарантоном. В декабре 1872 года газовый двигатель Ленуара был установлен на дирижабле, испытания прошли успешно.

Однако слава Ленуара была недолгой. Практически спрос на двигатель Ленуара начал падать в 1867 г. сразу после того, как на Парижской выставке этого года первого места был удостоен новый газовый двигатель, сконструированный и изготовленный Николаусом Отто и Евгением Лангеном. А уже в

1878 году немцы окончательно обошли Лемуара – шумная и громоздкая четырехтактная машина Отто работала с КПД, равным 16%, тогда как в двигателе Лемуара он достиг лишь 5%. Безусловно, рекорд был побит.



Николаус Август
Отто
(1832 – 1891)

Н.Отто родился в городе Хольцхаузен в Германии. Будущий изобретатель четырехтактного двигателя хорошо учился, но в шестнадцать лет после окончания реального училища в Лангеншвальбахе вынужден был поступить учеником в бакалейную лавку, после трех лет ученичества в которой получил свидетельство об «образовании» и поступил в один из магазинов Франкфурта-на-Майне. Занимая скромные должности продавца, конторщика, бухгалтера, молодой человек переходил из одного торгового дома в другой, пока не очутился в Кельне. Отто все время занимался самообразованием и поиском дела, которое могло бы улучшить его скромное положение коммерческого служащего. Ему уже было около тридцати, когда он прочитал рекламную статью о двигателях Лемуара, и идея построения газового двигателя всецело его захватила. Продолжая работу в торговле, он начал систематическое изучение газовых машин, имевшихся на различных производствах, а для опытов заказал в кустарной мастерской опытную машину, которая для упрощения и удешевления была снабжена клапанами вместо сложных золотников.

Наблюдая работу построенного газового двигателя, похожего на лемуаровский, Отто пришел к выводу, что сможет добиться его более производительной работы, если будет зажигать смесь не на середине хода поршня, а в его начале. Тогда давление газов при сгорании смеси действовало бы на поршень в течение всего его хода. Но как наполнить цилиндр смесью до начала хода? Отто предпринял следующее: вращая маховик вручную, он наполнил цилиндр, продолжал вращать маховик и включил зажигание лишь в тот момент, когда поршень вернулся в исходное положение. Маховик резко набрал обороты, а до этого сгорание смеси давало ему лишь слабый толчок.

Вначале Отто не придумал значения тому, что смесь была сжата перед зажиганием, он считал улучшение процесса исключительно результатом более продолжительного расширения смеси в процессе сгорания. Однако для осуществления такого «продолжительного» сгорания **необходимо было предварительно наполнить цилиндр и сжать смесь перед зажиганием**, для чего новый двигатель по устройству и схеме работы должен отличаться от прототипа – паровой машины. Кроме того, резкие толчки на коленчатый вал давали большую неравномерность хода машины. И Отто решил эту задачу установкой четырех цилиндров, работающих на один вал. По расчету Отто, когда в первом цилиндре будет всасывание смеси, во втором смесь подвергнется сжатию, в третьем произойдет взрыв и расширение, а в четвертом будут выбрасываться отработавшие газы.

Изготовить и даже начертить свой двигатель Отто не мог. Но на его счастье в Кельне нашелся превосходный механик Цонз, который понял замы-

сел заказчика и смог к концу 1862 года *изготовить первую в мире четырехцилиндровую четырехтактную* машину. Опыты с машиной полностью разочаровали Отто: из-за сложности зажигания и смесеобразования машина была неуправляемой, резкость взрывов приводила к большой неравномерности вращения. В конце концов, после многих неудачных опытов Отто отказался (на 10 лет) от идеи осуществления четырехтактного цикла, и заказал тому же Конзу новую оригинальную машину.



Евгений Ланген
(1833-1895)

В 1864 году Отто получил патент на собственную модель газового двигателя и в том же году для эксплуатации этого изобретения заключил договор с богатым инженером, владельцем сахарного завода, Евгением Лангеном. Вскоре была создана фирма «Отто и К^о».

На первый взгляд, новый двигатель Отто представлял собой шаг назад по сравнению с двигателем Лемуара. Цилиндр был вертикальным. Вращаемый вал помещался над цилиндром сбоку. Вдоль оси поршня была прикреплена рейка, связанная с валом. Двигатель работал следующим образом. Вращающийся вал поднимал поршень на 1/10 высоты цилиндра, в результате чего под поршнем образовывалось разреженное пространство и происходило всасывание смеси воздуха и газа. Затем смесь воспламенялась. Ни Отто, ни Ланген не владели достаточными знаниями в области электротехники и отказались от электрического зажигания. Воспламенение они осуществляли открытым пламенем через трубку. При взрыве давление под поршнем возрастало и, под действием этого давления, поршень поднимался, объем газа увеличивался и давление падало. При подъеме поршня специальный механизм отсоединял рейку от вала. Поршень поднимался до тех пор, пока под ним не создавалось разрежение. Таким образом, энергия сгоревшего топлива использовалась в двигателе с максимальной полнотой. В этом заключалась главная оригинальная находка Отто. Рабочий ход поршня вниз начинался под действием атмосферного давления, и после того, как давление в цилиндре достигало атмосферного, открывался выпускной клапан, и поршень своей массой вытеснял отработанные газы. Из-за более полного расширения продуктов сгорания КПД этого двигателя был значительно выше, чем КПД двигателя Лемуара и достигал 15%, то есть превосходил КПД самых лучших паровых машин того времени. Именно этот двигатель в 1867 году получил золотую медаль на парижской Всемирной выставке.

Поскольку двигатели Отто были в несколько раз экономичнее двигателей Лемуара, они сразу стали пользоваться большим спросом. В последующие годы их было выпущено около пяти тысяч штук. Отто упорно работал над совершенствованием их конструкции. Вскоре зубчатую рейку заменила кривошипно-шатунная передача. Но самое существенное из его изобретений было запатентовано в 1877 году, когда Отто взял патент на новый двигатель с *четырёхтактным циклом*, опробованным им еще в 1862 году и реализованным лишь через 15 лет при непосредственном участии выдающихся меха-

ников Готлиба Даймлера и Вильгельма Майбаха. Этот цикл по сей день лежит в основе работы большинства газовых и бензиновых двигателей. В следующем 1878 году новые четырехтактные двигатели уже были запущены в производство.

Четырехтактный цикл был самым большим техническим достижением Отто. Но вскоре обнаружилось, что среди множества известных патентов* нашелся патент французского инженера Альфонса Бо де Роша, в 1862 заявившего точно такой же принцип работы двигателя. Группа французских промышленников оспорила в суде патент Отто. Суд счел их доводы убедительными. Права Отто, вытекавшие из его патента, были значительно сокращены, в том числе было аннулировано его монопольное право на четырехтактный цикл. Лишь посмертно мировая техническая общественность признала заслуги Отто, и четырехтактный цикл назвали его именем.

Хотя конкуренты наладили выпуск четырехтактных двигателей, отработанная многолетним производством модель Отто все равно была лучшей, и спрос на нее не прекращался. К 1897 году было выпущено около 42 тысяч таких двигателей разной мощности, однако то обстоятельство, что в качестве топлива использовался светильный газ, сильно ограничивало область их применения. Количество газовых заводов было незначительно даже в западной Европе, а в России их вообще было только два – в Москве и Петербурге.

Поэтому не прекращались поиски нового горючего для двигателя внутреннего сгорания. Некоторые изобретатели пытались применить в качестве газа пары жидкого топлива. Еще в 1872 году американец Брайтон пытался использовать керосин. Однако керосин плохо испарялся, и Брайтон перешел к более легкому «газолину» (бензину). Но для того, чтобы двигатель на жидком топливе мог успешно конкурировать с газовым, необходимо было создать

* Известно множество нереализованных проектов ДВС. Например:

в 1823 г. С.Браун получил два патента в Англии и построил атмосферный двигатель внутреннего сгорания на светильном газе, разрежение в цилиндре достигалось после выпуска продуктов сгорания и охлаждения остатка газов;

в 1938 г. в Англии В.Барнету выдан патент, согласно которому газ и воздух предварительно сжимают в отдельных цилиндрах, а смесь перед воспламенением дожирают в рабочем цилиндре, воспламенение производится пламенем через золотник;

в 1841 г. англичанин Джеймс Джонстон получил патент на двигатель, работающий на смеси водорода с кислородом, в котором продукты сгорания, охлаждались, конденсировались, и поршень перемещался атмосферным воздухом;

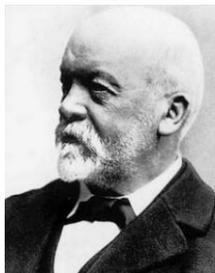
в 1842 г. Дрейк запатентовал и построил двигатель, в котором всасывание газовой смеси происходило на первой половине хода поршня, зажигание производилось от раскаленной чугунной трубки, сообщающейся с цилиндром в середине хода поршня, качественное регулирование осуществлялось центробежным регулятором;

в 1858 г. Дегеран получил французский патент на газовый двигатель со сжатием горючей смеси в рабочем цилиндре;

в 1864 году австрийский инженер Зигфрид Маркус создал первый в мире одноцилиндровый карбюраторный двигатель, работающий на сырой нефти и впоследствии установленный изобретателем на транспортное средство.

специальное устройство для испарения бензина и получения горючей смеси его с воздухом. Брайтон в том же 1872 году предложил один из первых так называемых «испарительных» карбюраторов, и хотя он действовал неудовлетворительно, все же позволил осуществить работу двигателя на жидком топливе.

Работоспособный бензиновый двигатель появился только десятью годами позже. Изобретателем его был немецкий инженер Готлиб Даймлер, много лет проработавший в фирме Отто и являвшийся членом ее правления.



Готлиб Даймлер
(1834 – 1900)

Г. Даймлер родился в селении Шорндорф, недалеко от Штутгарта, входившего тогда в состав крохотного Королевства Вюртембергского. Его семье принадлежала пекарня и винная лавка, но смолоду его привлекал мир техники. Он прошел ученичество у местного оружейника, затем закончил штутгартский политехникум, после чего работал на паровозном заводе. Имея желание учиться, но, не имея средств, Даймлер отправляется во Францию, затем в Англию, где, работая на всевозможных производствах и машиностроительных заводах, хорошо изучил передовую

для того времени технику и, к тому же, владея французским и английским языками, получил доступ к обширной специальной литературе. Вернувшись в 1863 году в Вюртемберг, он некоторое время состоял членом правления приюта для детей в Ройтлингене. Там произошла встреча, во многом определившая и его будущее, и будущее автомобиля и мотоцикла: одним из учеников школы был Вильгельм Майбах – как говорят, механик «от Бога». Приметив одаренного юношу, Даймлер взял его под свое покровительство, и впоследствии они работали и создавали новые машины вместе.



Аугуст Вильгельм
Майбах
(1846 – 1929)

В. Майбах родился в Хайльбронне. Когда мальчику было 8 лет, его семья переехала в Штутгарт, а через три года он осиротел и попал в «братский дом» – детский приют в Ройтлингене. В этом приюте Вильгельм получает профессию чертежника и конструктора. В пятнадцать он начал свое техническое образование на машиностроительном заводе в Ройтлингене, где и знакомится, и близко сходитя с Готлибом Даймлером, который на многие годы становится его наставником и добрым старшим товарищем.

В 1870 году Даймлер становится главным инженером «Maschinebau Gesellschaft» в Карлсруэ, крупной фирмы, выпускавшей локомотивы и стационарные двигатели. Майбах работает на этой же фирме конструктором. Через два года Даймлера перемашил к себе Евгений Ланген на должность технического директора завода Отто в Дойце. Вместе с Даймлером к Лангену переходит и Майбах, впоследствии принявший непосредственное участие в работе над четырехтактным двигателем Отто.

В 1881 году Даймлер, как представитель фирмы Отто, совершил продолжительную поездку в Россию, чтобы ознакомиться с новым видом топлива – нефтью. В России уже работал завод по перегонке нефти в керосин, было доказано, что перегонка нефти и прокачка ее остатков через раскаленные железные трубы дает различные продукты, в частности, «газолин» (бензин). В те времена нефть добывали для переработки в осветительный керосин и смазочные масла. Бензин же считался малоценным побочным продуктом, использовавшимся лишь в качестве чистящего средства, к тому же опасным в обращении из-за легко образующихся взрывоопасных паров. Но именно эта легкость испарения и привлекла Даймлера, решившего использовать бензин в качестве топлива для двигателя. Он предложил своему шефу проект компактного бензинового двигателя, который можно было бы использовать на транспорте. Отто отнесся к предложению Даймлера холодно. Тогда Даймлер вместе с Майбахом приняли смелое решение – в 1882 году они ушли из фирмы Отто, приобрели помещение, организовали небольшую мастерскую в пригороде Штутгарта и начали работать над собственным проектом.

Проблема, стоявшая перед Даймлером и Майбахом была не из легких: они решили создать двигатель, который не требовал бы газогенератора, был бы очень легким и компактным, но при этом достаточно мощным, *чтобы двигать экипаж*. Увеличение мощности Даймлер рассчитывал получить за счет увеличения частоты вращения вала, но для этого необходимо было обеспечить требуемую частоту воспламенения смеси. В 1883 году был создан первый бензиновый двигатель с зажиганием от раскаленной полой трубочки, открытой в цилиндр (калильное зажигание). Эта система зажигания позволила двигателю работать при 700–900 оборотах в минуту, тогда как высшая частота вращения моделей Отто составляла 180–200 оборотов в минуту.

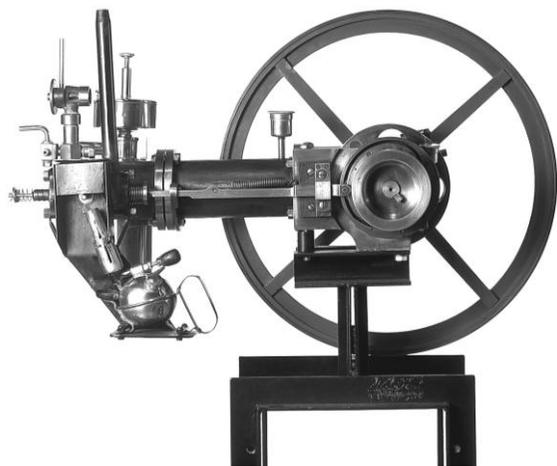


Рис. 16. Первый бензиновый двигатель Даймлера и Майбаха (реконструкция)

Первый двигатель Даймлера (рис. 16) работал и на газе, и на бензине, и годился как для транспортного, так и для стационарного применения. Все позднейшие конструкции Даймлера рассчитаны исключительно на жидкое топливо.

Большую частоту вращения вала двигателя, обеспечиваемую, в частности, интенсивным воспламенением смеси, Даймлер справедливо считал главным показателем работы двигателя

для транспортной машины. Применение жидкого топлива увеличивало теплоту сгорания смеси, что обеспечивало большую удельную мощность (на единицу рабочего объема, рис. 17). Соответственно уменьшалась масса.

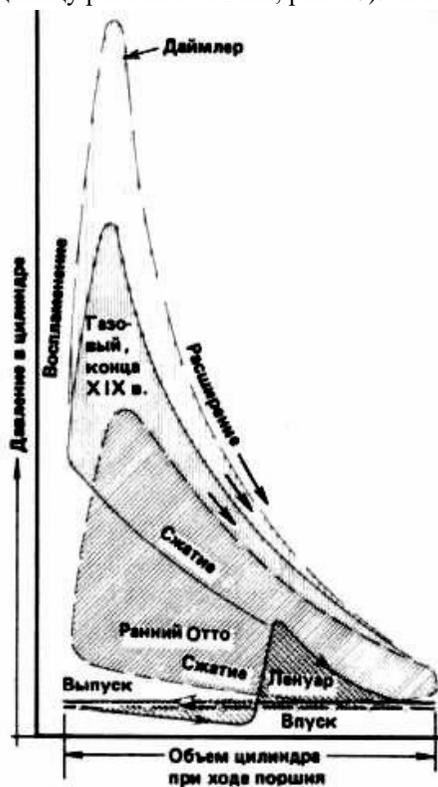


Рис. 17. Сравнение эффективности циклов различных двигателей

В 1889 году организуется фирма «Daimler Motoren Gesellschaft», с конвейера которой начали сходить серийные автомобили. В этом же году был усовершенствован четырехтактный двигатель, предложено V-образное расположение цилиндров и использование клапанов (рис. 19), намного увеличивших удельную мощность двигателя.

В гонке за первенство Даймлера обогнал Карл Бенц, изготовив свой первый автомобиль – трехколесный, но, несомненно, автомобиль – всего на несколько месяцев раньше. 29 января 1886 года Карл Бенц запатентовал конструкцию первого в мире трехколесного автомобиля с дифференциалом, газовым четырехтактным двигателем с электрическим зажиганием и водяным охлаждением (рис. 20). Энергия к колесам подводилась при помощи специального шкива и ремня, присоединенным к передаточному валу. Именно Бенц признан первым, кому удалось совместить воедино шасси и двигатель.

К этим штрихам «транспортной специфики» добавлялся закрытый картер (кожух) двигателя, наполненный смазочным маслом и защищавший подвижные части от пыли и грязи. Охлаждению воды в окружающей среде двигатель «рубашке» способствовал пластинчатый радиатор. Для пуска двигателя служила заводная рукоятка. Теперь имелось все необходимое для создания легкого самодвижущегося экипажа – автомобиля.

Даймлер и Майбах приложили большие усилия, чтобы изготовить легкий двигатель. В 1885 году они для экспериментов укрепили двигатель на велосипеде, сконструировав, таким образом, первый мотоцикл. «Reitwagen» – так назвали изобретатели первое двухколесное транспортное средство «для езды верхом» (рис. 18). В 1886 году двигатель был установлен на обыкновенную извозчищу пролетку с ременной передачей на колеса и миру предстал первый прототип четырехколесного автомобиля.

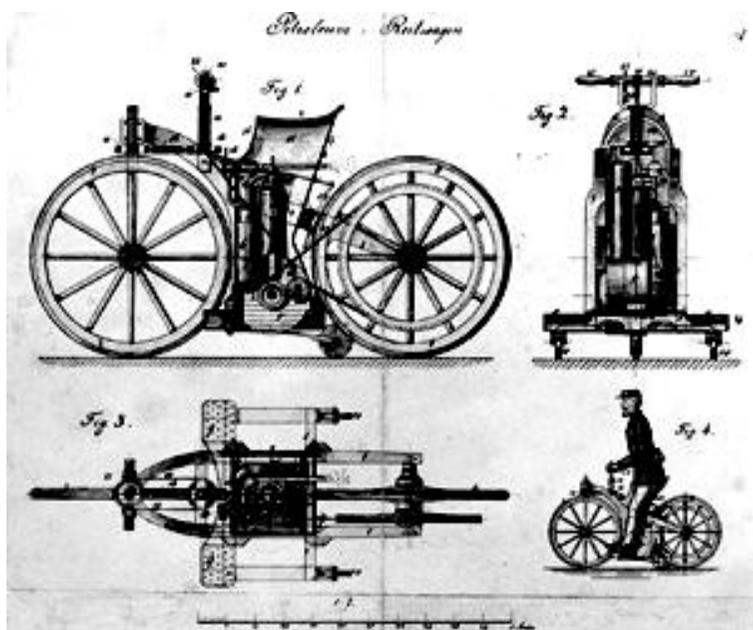


Рис. 18. Reitwagen – первый мотоцикл Даймлера

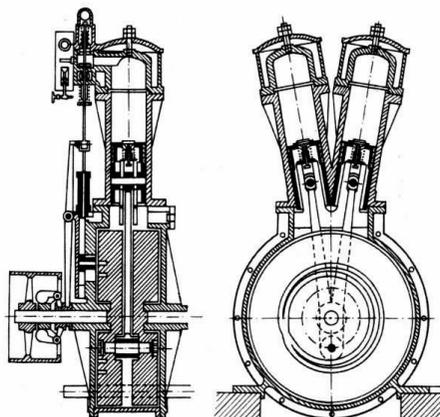


Рис. 19. Двухцилиндровый V-образный ДВС Даймлера



**Карл Фридрих Бенц
(1844 – 1929)**

Бенц родился в городке Баден Мельбурн (Германия) в семье машиниста локомотива. Окончил среднюю школу, затем Политехнический Университет Карлсруэ. В 1871 году с партнером организовал свою первую компанию, поставляющую строительные материалы. Изучение двигателей внутреннего сгорания, как считал Бенц, должно было принести ему дополнительный источник дохода, и в 1883 году он организовал компанию «Benz & Companу», которая производила двигатели промышленного назначения в городе Мангейм, Германия. Изначально компания выпускала двигатели по патенту Н.Отто, но в 1885 году Бенцом была разработана собственная конструкция ДВС.

В 1888 году Бенц выпустил несколько автомобилей улучшенной конструкции, два из которых были проданы во Франции. В 1889 году он выставил свое изобретение на всемирной ярмарке в Париже. В 1891 году был разработан и построен четырехколесный коммерческий автомобиль и уже в 1893 году автомобили Бенца становятся первыми в мире дешевыми транспортными средствами массового производства.

Необходимость в транспортных средствах заставляла многих изобретателей работать над созданием легких двигателей, пригодных для применения на транспорте. Американский изобретатель и промышленник Генри Форд в 1885 году в Детройте усовершенствовал имеющийся в его распоряжении двигатель Отто. С целью уменьшения веса для последующего применения на транспортных машинах, Форд выбросил большое маховое колесо, а для обеспечения равномерности хода установил два цилиндра. В 1893 году Форд пустил в ход свою первую «газолиновую тележку».

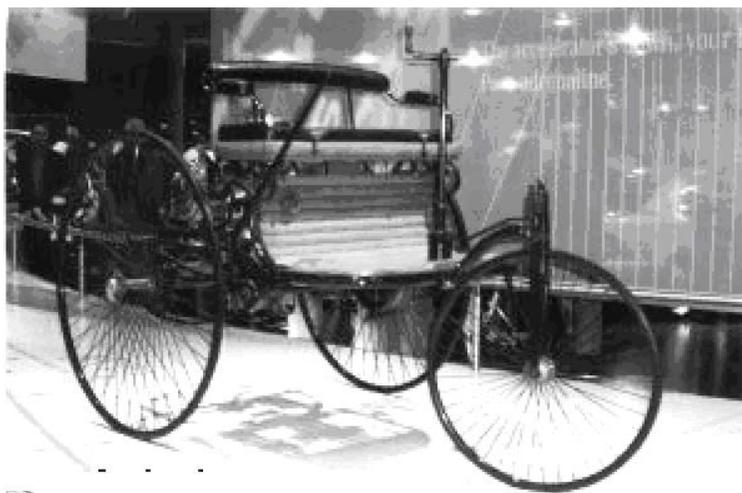


Рис. 20. Motorwagen – первый автомобиль Бенца (экспонат музея в Мюнхене)

Двигатель внутреннего сгорания и автомобиль были изобретениями исключительной важности. Главную заслугу в этих изобретениях нужно разделить между несколькими людьми: Лемуаном, Отто, Даймлером, Бенцем и Фордом. Из всех этих людей Отто сделал самый значительный вклад.

Процесс испарения жидкого топлива в первых бензиновых двигателях был существенной проблемой. Изобретение карбюратора венгерским инженером Донатом Бианки произвело настоящую революцию в двигателестроении. В 1893 году он взял патент на карбюратор с жиклером – прообраз всех современных карбюраторов. В отличие от своих предшественников Бианки предлагал не испарять бензин, а мелко распылять его в воздухе при всасывании. Это обеспечивало его равномерное распределение по объему воздуха, а основное испарение происходило уже в цилиндре при сжатии. Всасывание бензина производилось потоком воздуха через дозирующий жиклер, выполненный в виде одного или нескольких отверстий в трубке, расположенной перпендикулярно потоку воздуха. Стабильность расхода топлива достигалась за счет поддержания постоянного уровня бензина в поплавковой камере карбюратора. Количество всасываемого бензина было пропорционально количеству поступающего воздуха, чем автоматически поддерживалось постоянство состава смеси при изменении режима работы.

В 1903 году фирма «Benz & Company» слилась с фирмой «Daimler Motoren Gesellschaft» образовав «Daimler-Benz», которая позже была преобразована в «Mercedes-Benz». 12 ноября 1909 г. зарегистрирована всемирно известная марка Mercedes.

Во многих учебниках можно найти утверждения о приоритете русских изобретателей в деле создания бензинового двигателя. В частности, первым в мире бензиновым двигателем называют двигатель Костовича (рис. 21).

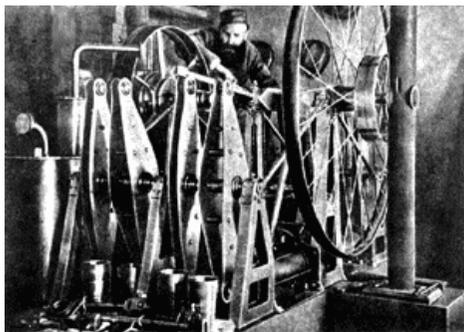
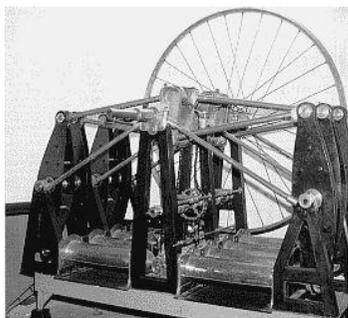


Рис. 21. Двигатель Костовича: музейный экспонат и изобретатель за работой



**Огнеслав Стефанович
Костович
(1851-1916)**

О. Костович родился в Австро-Венгрии, в семье сербского судовладельца, в юности жил в г. Пешт (Венгрия), обучался в Высшем техническом училище и закончил школу судовождения в Белграде. Во время русско-турецкой войны 1877-1878 гг. Костович командовал кораблем, перевозившим русский десант на Дунае, был ранен, получил звание капитана русского флота и переселился в Россию. В октябре 1878 г. Костович подал прошение императору Александру II о получении российского гражданства и об использовании своих изобретений в России. С благоволения императора проект «рыбы-лодки» Костовича рассмотрели на заседании Ученого отделения Морского технического комитета уже 10 ноября 1878 г.

Субмарина Костовича имела один гребной винт, приводимый в движение двумя матросами. В носовой части располагалась «метательная труба», прообраз торпедного аппарата, для поочередного пуска 12 торпед с помощью сжатого воздуха, используемого и для дыхания команды. Проект содержал много недостатков и подвергся критике. Так, вице-адмирал Стеценко заметил: «Неужели вы, господин Костович, серьезно надеетесь, что два даже самых дюжих матроса силой своих мускулов сообщат вашей лодке под водой скорость хода 15 узлов?» Капитан Корпуса инженер-механик флота Селезнев добавил: «Да, тут вам, господин Костович, без мощного двигателя никак не обойтись!» Выслушав замечания, изобретатель взял проект на доработку и серьезно занялся изучением существовавших в те годы двигателей. Он посещал библиотеки, как публичные, так и Академии наук, встречался с передовыми учеными. Однажды ему довелось прослушать доклад Д.И. Менделеева о проектах стратостата с герметической кабиной и дирижабля, содержавшего баллоны со сжатым воздухом.

В 1880 г. Костовичем был предложен проект строительства дирижабля. В январе 1881 г. в отечественной печати появились сообщения о том, что

Костович спроектировал воздушный корабль, которому дал название «Россия», и мощный двигатель к нему. Следует отметить, что двигатели того времени были недостаточно надежны для их применения на дирижаблях.

Замысел Костовича вызвал интерес. Проект сочли реалистичным, и «Общество воздухоплателей», полагая, что нельзя допустить, «чтобы нас предупредила другая нация», обратилось с воззванием оказать материальную поддержку изобретателю. Первым под этим документом подписался адмирал Н.М. Соковкин. В 1882 г. при поддержке Д.И. Менделеева и будущего академика вице-адмирала М.А. Рыкачева было организовано «Товарищество по постройке воздухоплавательного корабля «Россия». Для товарищества собрали паевые взносы в сумме 200 тыс. руб., выхлопотали финансирование от Военного министерства – 35 тыс. руб., и 8 августа того же года на Охтинской судоверфи Санкт-Петербурга была начата постройка дирижабля *и его двигателя*. Костович решительно отказался от предложений выполнять эту работу за границей и объявил в печати, что воздушный корабль будет строить из отечественных материалов и руками только русских рабочих.

Дирижабль «Россия» военные решили засекретить, хотя слухи о нем будоражили общество. И вот тогда, по-видимому, родилась идея дезинформации. Художник, чье имя осталось неизвестным, изобразил странный летательный аппарат с нелепыми машущими крыльями. Этот рисунок неоднократно публиковали во многих газетах и журналах. Неудивительно, что вид столь бестолковой конструкции постепенно охладил интерес публики.



По неподтвержденным данным уже в 1880 г. Костович своими руками изготовил уменьшенную *модель* двигателя с двумя цилиндрами. Его успешные испытания дали изобретателю уверенность в том, что можно создать более мощный мотор и для дирижабля, и для подводной лодки, проект которой он вторично представил Морскому

ведомству в том же году, а в начале следующего установил этот двигатель на катер собственной конструкции.

Как утверждают многие патриотически-настроенные авторы, к 1884 г. первый в России двигатель внутреннего сгорания, работающий на бензине, был построен. Это был, *вроде бы, четырехтактный* восьмицилиндровый двигатель, мощностью, *вроде бы, 80 л.с.* при частоте вращения коленчатого вала 400 об/мин. Двигатель весил 240 кг, имел *электрическое зажигание и систему водяного охлаждения*. Испытания и доводка продолжались до 1885 года. На созданный двигатель О.С.Костович подал заявку и в 1888 году получил «Привилегию» (патент).

Деревянный каркас дирижабля предполагалось обтянуть шелковой тканью, в центре установить вертикальную шахту, в которой размещались бы каюта, баллоны со сжатым воздухом и двигатель, а в хвосте – толкающий пропеллер. Снизу к шахте подвешивалась открытая гондола. Все жесткие

элементы конструкции следовало изготовить из «арборита», изобретенного Костовичем и представлявшего собой пропитанную особой смолой фанеру.

К началу 1889 г., помимо двигателя, изготовили все детали дирижабля и сложили их в специально арендованном ангаре. Для сборки требовалось 55 тыс. рублей, которых не было. Поэтому Костович вновь обратился в Военное министерство, где ему в дальнейшем финансировании отказали.

А дальше события следовали в таком порядке. Сначала во время бури, по неустановленной причине, загорелся ангар, и пожар повредил значительную часть заготовленных деталей. К счастью, двигатель не пострадал. Затем арендаторы потребовали освободить ангар. Вслед за ними надели кредиторы и акционеры, требовавшие выплатить вложенные пай. Чтобы как-то расплатиться с долгами, Костович на своем небольшом заводе «Арборит» строил корпуса лодок и катеров, а также изготавливал элементы различных конструкций. Однако заработанных денег все равно не хватало. И тогда он решил на последнее средство: предложил Военно-инженерному ведомству выкупить у него дирижабль со всеми правами. В 1890 г. комиссия Главного инженерного управления сочла связанные с этим расходы (410 тыс. рублей) несвоевременными и высказалась против, мотивируя свой отказ тем, что «гигантский управляемый аэростат... представляет собой весьма гадательное военное значение».

Сопоставление фактов приводит к пониманию, что вся затея с постройкой дирижабля была хорошо продуманной аферой, отнюдь не Костовича. И двигатель, и весь дирижабль, существовал лишь как неосуществленный проект в воображении не совсем адекватного (как все увлеченные люди) изобретателя, мнение и веру которого специально поддерживали, чтобы пользоваться им в качестве прикрытия. У приверженцев двигателя Костовича имеется возможность практической проверки работоспособности двигателя – ведь он достаточно хорошо сохранился...

Несостоятельность двигателя Костовича косвенно подтверждается также тем, что в тот же период времени А.Ф. Можайским разрабатывается проект первого самолета – воздухоплавательного аппарата «тяжелее воздуха», для которого нужен был легкий двигатель. Зная о работах Костовича и имея свой проект ДВС*, Можайский все же останавливает свой выбор на паровом двигателе.

* В рапорте помощника главного инженер-механика флота приведено описание двигателя, разработанного А.Ф. Можайским:

«14 мая 1879 г. № 405. Управляющему морским министерством.

Вследствие приказанья Вашего Превосходительства узнать систему газовой машины для воздухолетательного аппарата, изобретенного капитаном I ранга Можайским, имею честь доложить, что газовая машина эта состоит из двух цилиндров: одного рабочего и одного воздушного, действующих на общий коленчатый вал винта. Работа этой машины, как это видно из приложенного при сем рисунка, происходит следующим образом: помощью воздушного насоса воздух гонится в рабочий цилиндр,

Стремительный рост числа двигателей внутреннего сгорания в последнем десятилетии XIX века стимулировал развитие нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности в странах, имеющих нефтяные месторождения, и делал зависимыми страны, у которых не имелось собственной нефти. К числу нефтезависимых стран относилась и Германия, имевшая значительные запасы угля и не имевшая нефтяных месторождений. Поэтому поощрялась разработка двигателей, позволявших использовать уголь в качестве основного топлива, и военное ведомство Германии согласно было финансировать такие разработки. В 1893 году появился проект двигателя на угольной пыли Рудольфа Дизеля.



Рудольф Дизель
(1858 - 1913)

Р.Дизель родился в Париже в немецкой семье перелётчика книг, эмигрировавшей во Францию из Германии. В 1870 г. началась франко-прусская война, и семье Дизель пришлось перебраться в Англию. Позже родители отправляют Рудольфа к родственникам в город Аугсбург (Германия), где в 1873 году он успешно оканчивает начальную школу и поступает в местное политехническое училище. В 1875 году Дизель, успешно пройдя собеседование, был принят в Высшую Политехническую школу в Мюнхене. Её он оканчивает с отличием и в 1878 году, приняв предложение возглавить завод акционерного общества «Le refrigerateur» (холодильник) в Париже, перебирается во Францию.

Во время работы директором завода холодильных машин у Дизеля появляется множество идей и проектов различных двигателей, работающих на аммиаке. Но ему никак не удавалось сообразить, как устроить эффективный двигатель с максимальным КПД, обоснованным Карно. Еще во время учебы, на лекциях профессора Линде, творца холодильников, его очаровал термодинамический цикл Сади Карно, позволяющий обратить в работу до 70 % тепла сжигаемого топлива. На полях студенческой тетради Дизеля бала запись:

при этом встречается с нефтью, вгоняемой в трубу же около крышки рабочего цилиндра и пропитывающей войлок, лежащий на решетке и сетке в гнезде.

Нефть вгоняется из систерны помощью помпы, действующей посредством эксцентрика, насаженного на коленчатом вале. Воздух, проходя в рабочий цилиндр через пропитанный нефтью войлок, образует чрез размельчение нефти газ, который воспламеняется от искры электрического прибора Румкорфа, проволоки которого проведены в верхнюю часть цилиндра. При воспламенении газа поршень толкается вниз, для движения же поршня вверх в нижней части цилиндра сделано подобное же устройство. Это попеременное движение поршня дает вращение вала, на котором насажен винт, двигающий воздухолетательный аппарат. Часовой расход нефти на индикаторную силу машины около 2/3 фунта. Машины подобного устройства, по мнению капитана I ранга Можайского, могут быть с большою выгодною употреблены для электрического освещения или для мелких судов, и это мнение мною вполне разделяется».

«Изучить возможность применения изотермы на практике». Эта фраза оказалась программой для его последующих научных поисков.

Удача улыбнулась неожиданно. В 1888 году Дизель случайно попал в музей Аугсбурга, где его внимание привлекла изготовленная неизвестным мастером зажигалка в виде стеклянного цилиндра с поршнем, в котором при резком сжатии создавалась температура, достаточная для воспламенения топлива. Этот принцип действия поразил Дизеля, и он погрузился в работу над чертежами нового двигателя.

В 1890 году, проработав в Парижском отделении фирмы холодильных машин 12 лет, будучи уже членом правления Акционерного общества холодильных машин, Дизель переезжает в Берлин.

В Берлине Дизель занялся доработкой проекта двигателя, основанного на принципе самовоспламенения топлива в результате сильного сжатия. Как он сам писал «...Нужно вместо аммиака взять сжатый горячий воздух, впрыснуть в него распыленное топливо и одновременно со сгоранием расширить его так, чтобы возможно больше тепла использовать для полезной работы». В начале 1892 года Дизель получает патент «Рабочий процесс и способ выполнения одноцилиндрового и многоцилиндрового двигателей» и публикует описание двигателя. В своей брошюре он описывает машину-мечту: давление при сжатии в цилиндре достигнет 250 атмосфер, водяное охлаждение становится ненужным, а топливом является угольная пыль. Именно такой двигатель ждала Германия. Забегая вперед, стоит сказать, что *ни один из этих пунктов не был выполнен*.

Никогда еще теоретические построения не вызывали такого огромного интереса среди специалистов. Большинство оценивало идею как практически неосуществимую. Но были и другие отзывы. «Я прочел вашу работу с большим интересом: так радикально и смело еще никто из всех тех, кто предрекал закат паровому двигателю, не выступал. А такой смелости будет принадлежать и победа!» – писал профессор М. Шратгер.

Дизель верил в свою машину. «Моя идея, – писал он, – настолько опережает все созданное в данной области до сих пор, что можно смело сказать – я первый в этом новом и наиважнейшем разделе техники. Я иду впереди лучших умов человечества по обе стороны океана!»

Для практической реализации идеи нужны были деньги. Машиностроительные фирмы, в которые обращался Дизель, не желали рисковать и отвечали отказом. В конце концов, удалось договориться с дирекцией машиностроительной фабрики в Аугсбурге, при условии, что Дизель найдет компаньона, готового финансировать работу. Таким компаньоном стал один из династии «пушечных королей» Германии Фридрих Альфред Крупп (1854–1902) и в феврале 1893 года был заключен договор, по которому Дизель получал финансирование для постройки своего двигателя взамен прав на патент в пользу соучредителей.

По замыслу изобретателя двигатель, построенный в 1893 году (рис. 22), должен был использовать в качестве топлива угольную пыль и работать без водяного охлаждения цилиндра. Не достигнув положительного результата на

угольной пыли и после неудачной попытки использовать светильный газ, Дизель окончательно остановил свой выбор на жидком топливе. Попытка использования бензина привела к взрыву и разрушению машины. И хотя видимых результатов при испытаниях добиться и не удалось, были получены опыт и предпосылки для разработки следующего опытного образца.

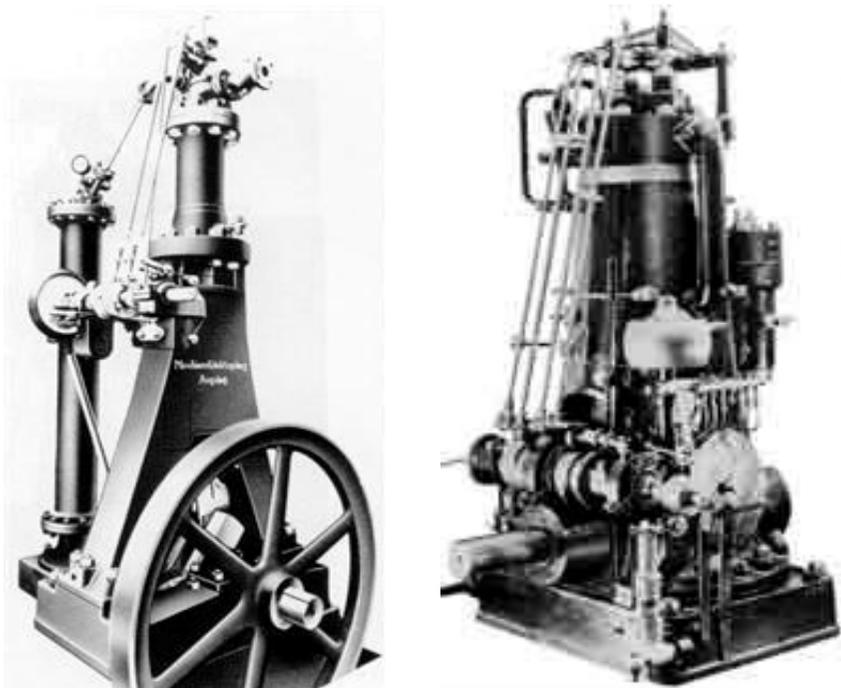


Рис. 22. Первые двигатели Дизеля

В феврале 1894 года были начаты испытания второго опытного двигателя на керосине, с воспламенением от сжатия, который уже устойчиво работал без нагрузки, развил мощность около 13 л. с. при 88 об/мин, но проработал всего минуту: из-за сильного перегрева прогорели поршень и клапанные пружины.

В 1895 г. закончилась сборка третьего образца, содержащего уже все основные элементы будущего дизель-мотора. Он оказался работоспособен, но при его создании Дизелю пришлось отказаться от многих первоначальных замыслов. Например, положительные результаты появились лишь после того, как двигатель оборудовали водяным охлаждением, а подачу жидкого топлива в цилиндр и его распыливание стали выполнять при помощи сжатого воздуха. Позже по поводу введения водяного охлаждения Дизель скажет: «... На основании большого опыта, приобретенного при испытаниях, для меня стало со-

вершено ясно, что точка зрения, будто водяная рубашка в двигателях внутреннего сгорания является главным препятствием для достижения высокой отдачи – неправильна». Третий двигатель проработал непрерывно около 30 минут.

В конце 1896 г. был построен окончательный, четвертый вариант опытного двигателя мощностью 20 л.с. (около 15 кВт) при 172 об/мин. Этот двигатель высотой в три метра и весом 5 тонн, имел диаметр цилиндра 250 мм, ход поршня 400 мм. Давление в цилиндрах достигало 35 атм, а температура воздуха при его сжатии была порядка 600...800 °С. При официальных испытаниях в феврале 1897 г., двигатель непрерывно проработал около 17 суток, расходовал 0,24 кг керосина на 1 л.с. в час, эффективный КПД его составил 0,26, а термический – 0,29. Таких показателей не имел ни один из существовавших до того времени двигателей.

Работа двигателя осуществлялась за четыре такта. За первый ход поршня в цилиндр всасывался воздух, за второй он сжимался приблизительно до 3,5...4 МПа, нагреваясь при этом примерно до 600 °С. В конце второго хода поршня в среду сжатого и разогретого сжатием воздуха, через форсунку начинало впрыскиваться жидкое топливо (керосин). Для впрыска топлива использовалась форсунка с воздушным распыливанием – сжатым воздухом под давлением 5...6 МПа. Попадая в среду разогретого воздуха, топливо самовоспламенялось и горело по мере подачи его в цилиндр при почти постоянном давлении (но не при постоянной температуре, как ожидал Дизель). Подача топлива продолжалась примерно на 1/5 части третьего хода поршня, на остальной части хода происходило расширение продуктов сгорания. За четвертый ход поршня осуществлялся выпуск отработавших продуктов сгорания в атмосферу. Рабочий цикл созданного двигателя сильно отличался от запатентованного.

Двигатель получил признание и когда он был представлен на выставке паровых машин 1898 года в Мюнхене, лицензии на его производство раскупались нарасхват. Контракт с Дизелем подписал и Эммануил Нобель, племянник знаменитого изобретателя динамита и глава самой могущественной в России нефтяной компании «Бранобель». Таким образом, Дизель быстро разбогател. Надо отметить, что при этом *ни один двигатель ещё не работал в производственных условиях.*

После такого финансового успеха Дизель ударяется в коммерцию – покупает и продает различные фирмы, основывает предприятие по созданию электропоездов и совсем не занимается исследованиями. А мотор, как любое другое изделие, требовал доработки в тесном сотрудничестве между изобретателем и заводскими конструкторами. Эйфория заканчивается, когда по лицензиям начинают изготавливаться первые двигатели, которые оказываются неработоспособными из-за множества недоделок. Производство дизеля требовало высокой точности изготовления деталей и использования новых жаропрочных материалов, чего многие предприятия не могли себе позволить. В Германии поднимается волна жёсткой критики в адрес Дизеля и его изобретения. Некоторые изготовители начинают утверждать, что дизель не может

изготавливаться серийно. Крупп приостановил лицензионные выплаты. Он был недоволен изобретателем. Мало того, что Дизель не создал обещанного двигателя на угольной пыли, он еще и керосиновый не довел до ума... По примеру Круппа выплаты прекратили и другие промышленники.

Вдобавок Дизеля затаскали по судам, обвиняя в плагиате. В век технических новаций суды были завалены подобными исками, поскольку многие инженеры независимо друг от друга приходили к схожим результатам. За ходом процессов внимательно следили крупные фирмы. Они были кровно заинтересованы в аннулировании патентов на изобретение, потому что в этом случае получали возможность выпускать продукцию и не платить их изобретателю. У Дизеля стали случаться нервные срывы, врачи поставили диагноз – невроз.

Тучи над изобретателем рассеялись в 1899 году, когда ему вручили Гран-при Всемирной парижской выставки. Успех вернулся. Крупнейшие заводы доработали двигатель и возобновили лицензионные выплаты. Деньги снова потекли рекой. Это было время триумфа Дизеля.

Доля России в мировой добыче нефти в конце века составляла 53 %. Эммануилу Нобелю нужен был двигатель, работающий на сырой нефти. Он был уверен: русские инженеры, отталкиваясь от идей Дизеля, способны изготовить новый мощный и экономичный мотор. Такой двигатель был нужен русскому правительству, мечтавшему об экономическом рывке, в нем была кровно заинтересована и Германия, которая стремилась переориентироваться на русскую нефть и выйти из-под влияния американского картеля Моргана.

Дизель снисходительно относился к возможностям российской науки и промышленности. Как и многие западноевропейцы, он не верил, что русские смогут создать свой двигатель, даже основываясь на его идеях, и считал, что рано или поздно они обратятся за помощью к Западу. Однако, приехав в 1910 году в Россию, Дизель поразился успехам российских конструкторов, которые смогли сделать то, что не удалось ему: был создан бескомпрессорный двигатель с воспламенением от сжатия, работавший на сырой нефти. Фактически эта машина уже не была двигателем Дизеля, в ней был реализован российский патент Тринклера.



**Густав Васильевич
Тринклер
(1876-1957)**

В 1894 году Тринклер поступил в Петербургский технологический институт, а в 1898-м, будучи студентом, разработал бескомпрессорный двигатель внутреннего сгорания высокого сжатия с самовоспламенением. В том же 1898 году он подал патентную заявку на разработанный двигатель (патент № 8766 выдан только в 1904 г.). Летом 1898 г. при переходе на V курс института Тринклер завершил работу над проектом и был принят на Путиловский завод, где начал строить первый в мире бескомпрессорный нефтяной двигатель высокого давления, который он назвал «Тринклер-мотором». В течение 1899 г. двигатель был построен, и в 1900 г. начались

его испытания. Результаты испытания «Тринклер-мотора», спроектированного и построенного молодым русским инженером, вызвали восхищение специалистов блестящим результатом (КПД равен 29%).

Запущенный в серийное производство «Тринклер-мотор» мог бы составить серьезную конкуренцию «Дизель-моторам», а в их разработку фирмами «Братья Зульцер» и «МАН» были сделаны очень большие финансовые вложения. Появление русского конкурента на рынке двигателей неизбежно уменьшили бы прибыли немецких фирм.

При сопоставлении двигателей «Дизель-мотора» и «Тринклер-мотора», русская конструкция, появившаяся на два года позже немецкой, была совершеннее, проще и надежнее немецкой. «Тринклер-моторы» не имели воздушного компрессора, а подвод тепла в них был более равномерным. Тем не менее, широкая рекламная компания развернутая немецкими промышленниками по продаже патентов «Дизель-моторов» для производства в различных странах, в том числе и в России, делала свое дело.

Весной 1902 г. директор Путиловского завода С.И.Смирнов потребовал прекращения работ по новому двигателю. Сделано это было под нажимом Эммануила Нобеля, который купил патент на двигатель Дизеля и после целого комплекса работ по усовершенствованию конструкции наладил их серийное производство на принадлежавшем ему механическом заводе «Людвиг Нобель» (впоследствии – «Русский дизель») в Санкт-Петербурге. Без преувеличения следует заметить, что если бы за постройку двигателей Дизеля не взялся завод «Людвиг Нобель», то весьма вероятно, что внедрение в промышленность этого двигателя задержалось бы на много лет.

Нобель видел в двигателе Тринклера сильного конкурента своему двигателю и начал вытеснять молодого инженера с Путиловского завода. Нобель письменно обратился к Тринклеру с требованием прекратить занятия новым нефтяным двигателем, поскольку он является единственным владельцем патентов Дизеля в России, за которые, он заплатил полмиллиона рублей золотом. Вследствие активных действий Нобеля весной 1902 г. Путиловский завод не продлевает контракт на дальнейшее освоение «Тринклер-мотора», а Г.В. Тринклер уезжает строить свои двигатели на завод «Братья Кертинг» в Ганновере (Германия), где работает главным конструктором. Бесспорные преимущества «Тринклер-мотора», освоенного за рубежом, привлекли, наконец, внимание отечественных промышленников. В 1907 г. Г.В.Тринклер возвращается на родину и работает начальником отдела тепловых двигателей на Сормовском машиностроительном заводе.

Следует отметить основные отличия бескомпрессорного двигателя Тринклера от «рационального двигателя» Дизеля.

1. В двигателе Дизеля рабочий процесс должен был осуществляться по циклу Карно без теплоотвода в стенки цилиндра. При этом топливо подавалось после процесса сжатия, а процесс сгорания должен был осуществляться по изотерме на такте расширения, хотя был реализован по изобаре. В двигателе Тринклера впрыск топлива осуществляется в конце процесса сжатия, и

начало сгорания проходит по изохоре. Далее сгорание продолжается по изобаре, т.е. реализуется смешанный подвод тепла.

2. В двигателе Дизеля, топливо подводилось в цилиндр вместе со сжатым воздухом от специального компрессора, приводимого от двигателя. В двигателе Тринклера жидкое топливо подавалось в цилиндр специальным поршневым насосом, не требовавшим компрессора, поэтому механический КПД оказался выше.

В 1910 г. Тринклер на съезде двигателестроителей сделал доклад «Проблема Дизеля и различные способы её разрешения». На этом съезде присутствовал Дизель и также сделал доклад. Тринклер в присутствии Дизеля заметил: «Если сравнивать положения, которые были выставлены Дизелем и охраняемы его русским патентом, выданным в 1897 г., то двигатель, который мы называем дизелем, не осуществляет этих положений. Под принципом Дизеля нужно, по моему мнению, подразумевать распыление топлива в сильно сжатом воздухе внутри цилиндра, с целью самовозгорания и постепенного сгорания без повышения давления. Мы создали аналогичный двигатель, в котором чистый воздух сжимается до весьма высокого давления, после чего в сжатом воздухе распыливается чистая нефтяная пыль. Таким образом, Дизеля нужно прославлять не за создание новой идеи, теории и тезисов, а за ту энергию, с которой он провел свои опыты до конца».

Слова Тринклера подчеркивают его мнение о том, что честь создания двигателя, *работающего на нефти*, несомненно, принадлежит России. Но вместе с тем видно, что Тринклер признавал приоритет Дизеля в создании двигателя с самовоспламенением и его заслуги в двигателестроении.

Вопрос о приоритете русской конструкции двигателя с воспламенением от сжатия решили почти через полвека. В 1947 г. состоялось расширенное заседание Парижской академии наук, где постановили:

1. Закрепить за Россией приоритет в создании бескомпрессорного двигателя с воспламенением от сжатия (цикл Тринклера).

2. Сохранить для всех двигателей, работающих с воспламенением от сжатия название «Дизель-мотор», чтобы отметить научный и технический вклад Рудольфа Дизеля в энергетическое машиностроение.



**Василий Игнатьевич
Гриневецкий
(1871 – 1919)**

Следующий важный шаг в деле создания школы двигателестроителей и разработке основ теории ДВС был сделан русским ученым В.И.Гриневецким, впервые предложившем метод инженерного расчета рабочего процесса ДВС. Им созданы поршневые двигатели с продолженным расширением в дополнительной расширительной машине, например, поршневого типа или в турбине, что увеличивает эффективность и общий КПД рабочего процесса.

В.И. Гриневецкий родился в Киеве, в семье железнодорожного служащего, статского советника. В 1889 г. Гриневецкий окончил Казанское реальное

училище и поступил в Императорское московское техническое училище (ИМТУ), в последствии – МВТУ им. Баумана, с которым связана вся его последующая жизнь. В 1896 г. Гриневецкий заканчивает ИМТУ, и его оставляют работать в училище преподавателем деталей машин и проектирования на механическом отделении. В 1900 г. он командировается с учебной целью на два месяца на Всемирную выставку в Париж. В 1902 году Гриневецкий стал профессором на кафедре прикладной механики и машиностроения. В 1905 году его назначают заместителем директора ИМТУ. В 1914 году В.И. Гриневецкий был избран директором ИМТУ.

Гриневецкий одним из первых в России понял перспективность ДВС и начал серьезно заниматься их изучением. В 1906 г. опубликована статья «Тепловой расчет рабочего процесса». В 1907 г. вышло первое издание капитального труда Г. Гюльднера «Газовые, нефтяные и прочие двигатели» на русском языке. Эпиграфом к немецкому изданию книги Г. Гюльднера была фраза: «Поменьше теоретизируйте, побольше конструируйте!». И как бы выражая свое несогласие с эпиграфом Гюльднера, Гриневецкий в качестве приложения к переводу книги поместил свой труд «Тепловой расчет рабочего процесса», опередив на два десятка лет аналогичные работы в ведущих промышленных странах.

В 1908 г. на Путиловском заводе в Петербурге изготовили двигатель Гриневецкого, запатентованный им в 1906 году. Это был двигатель внутреннего сгорания, работающий по циклу Дизеля с наддувом от поршневого компрессора и двойным расширением. Он состоял из трех цилиндров. Атмосферный воздух засасывался в первый – компрессорный цилиндр, сжимался до 6...7 бар и поступал во второй, где происходило сжатие до 30...60 бар. В конце сжатия впрыскивалось топливо, начиналось горение и расширение. Горячая смесь совершала механическую работу и, продолжая гореть, поступала в третий цилиндр, где производилось дополнительное расширение и совершалась основная часть механической работы. Из-за начавшейся войны дальнейшие работы по доводке нового двигателя пришлось прекратить. Его разобрали, уложили в ящики и вынесли из мастерской. А потом, когда после гражданской войны хотели возобновить испытания, ящиков не нашли. Ученик Гриневецкого инженер Б.Ошурков снял на первых испытаниях нового двигателя индикаторные диаграммы, пользуясь которыми он в 1916 г. спроектировал пассажирский тепловоз мощностью 1500 л.с.

Весной 1918 года Гриневецкий уехал на юг России, где сумел в Харькове издать свою последнюю книгу «Послевоенные проблемы русской промышленности». Осенью 1918 года он уехал в Краснодар на экономическое совещание, заразился сыпным тифом и в марте 1919 г. скончался в Екатеринодаре.