

# Паровая машина

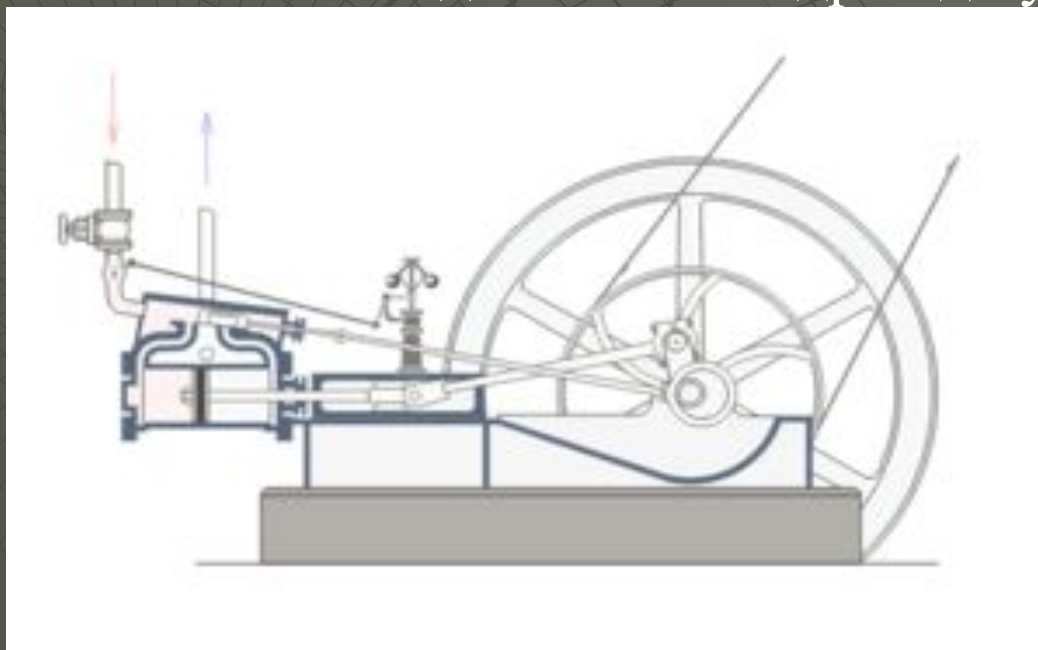


# Оглавление

- ◆ Принцип действия.
- ◆ Изобретение и развитие.
- ◆ Парораспределение.
- ◆ Значение паровых машин.
- ◆ Применение.
- ◆ Картинки.

# Принцип действия.

Для привода паровой машины необходим паровой котёл. Расширяющийся пар давит на поршень или на лопатки паровой турбины, движение которых передаётся другим механическим частям. Одно из преимуществ двигателей внешнего сгорания в том, что из-за отделения котла от паровой машины можно использовать практически любой вид топлива от дров до урана.





# Изобретение и развитие.

- ◆ Первое известное устройство, приводимое в движение паром, было описано Героном Александрийским в первом столетии. Пар, выходящий по касательной из дюз, закреплённых на шаре, заставлял последний вращаться. Реальная паровая турбина была изобретена намного позже, в средневековом Египте, арабским философом, астрономом и инженером XVI века Таги-аль-Диноме. Он предложил метод вращения вертела посредством потока пара, направляемого на лопасти, закреплённые по ободу колеса. Подобную машину предложил в 1629 г. итальянский инженер Джованни Бранка для вращения цилиндрического анкерного устройства, которое поочерёдно поднимало и отпускало пару пестов в ступах. Паровой поток в этих ранних паровых турбинах был не концентрированным, и большая часть его энергии рассеивалась во всех направлениях, что приводило к значительным потерям энергии.

- ◆ Однако дальнейшее развитие парового двигателя требовало экономических условий, в которых разработчики двигателей могли бы воспользоваться их результатами. Таких условий не было ни в античную эпоху, ни в средневековье, ни в эпоху Возрождения. Только в конце 17-го столетия паровые двигатели были созданы как единичные курьёзы. Первая машина была создана испанским изобретателем Иеронимо Аянсом де Бомонт, изобретения которого повлияли на патент Т.Сейвери (см. ниже). Принцип действия и применение паровых машин было описано также в 1655 г. англичанином Эдвардом Сомерсетом. В 1663 г. он опубликовал проект и установил приводимое в движение паром устройство для подъёма воды на стену Большой башни в замке Реглан (углубления в стене, где двигатель был установлен, были ещё заметны в 19-ом столетии). Однако никто не был готов рисковать деньгами для этой новой революционной концепции, и паровая машина осталась неразработанной. Одним из опытов французского физика и изобретателя Дени Папена было создание вакуума в закрытом цилиндре. В середине 1670-ых в Париже он в сотрудничестве с голландским физиком Гюйгенсом работал над машиной, которая вытесняла воздух из цилиндра путём взрыва пороха в нём. Видя неполноту вакуума, создаваемого при этом, Папен после приезда в Англию в 1680 г. создал вариант такого же цилиндра, в котором получил более полный вакуум с помощью кипящей воды, которая конденсировалась в цилиндре. Таким образом, он смог поднять груз, присоединённый к поршню верёвкой, перекинутой через шкив. Система работала, как демонстрационная модель, но для повторения процесса весь аппарат должен был быть демонтирован и повторно собран. Папен быстро понял, что для автоматизации цикла пар должен быть произведён отдельно в котле. Поэтому Папен считается изобретателем парового котла, проложив таким образом путь к паровому двигателю Ньюкомена. Однако конструкцию действующей паровой машины он не предложил. Папен также проектировал лодку, приводимую в движение колесом с реактивной силой в комбинации концепций Таги-аль-Дина и Сейвери; ему также приписывают изобретение множества важных устройств, например, предохранительного клапана.

◆ Ни одно из описанных устройств фактически не было применено как средство решения полезных задач. Первым применённым на производстве паровым двигателем была «пожарная установка», сконструированная английским военным инженером Томасом Сейвери в 1698 году. На своё устройство Сейвери в 1698 году получил патент. Это был поршневой паровой насос, и, очевидно, не слишком эффективный, так как тепло пара каждый раз терялось во время охлаждения контейнера, и довольно опасный в эксплуатации, так как вследствие высокого давления пара ёмкости и трубопроводы двигателя иногда взрывались. Так как это устройство можно было использовать как для вращения колёс водяной мельницы, так и для откачки воды из шахт изобретатель назвал его «другом рудокопа».

◆ Затем английский кузнец Томас Ньюкомен в 1712 году продемонстрировал свой «атмосферный двигатель». Это был усовершенствованный паровой двигатель Сейвери, в котором Ньюкомен существенно снизил рабочее давление пара. Первым применением двигателя Ньюкомена была откачка воды из глубокой шахты. В шахтном насосе коромысло было связано с тягой, которая спускалась в шахту к камере насоса. Возвратно-поступательные движения тяги передавались поршню насоса, который подавал воду вверх. Именно двигатель Ньюкомена стал первым паровым двигателем, получившим широкое практическое применение, с которым принято связывать начало промышленной революции в Англии. Первая в России двухцилиндровая вакуумная паровая машина была спроектирована механиком И. И. Ползуновым в 1763 году и построена в 1764 году для приведения в действие воздуходушных мехов на Барнаульских Колывано-Воскресенских заводах. Дальнейшим повышением эффективности было применение пара высокого давления (американец Оливер Эванс и англичанин Ричард Тревитик). Р.Тревитик успешно построил промышленные однократные двигатели высокого давления, известные как «корнуэльские двигатели». Они работали с давлением 50 фунтов на квадратный дюйм, или 345 кПа (3,405 атмосферы). Однако с увеличением давления возникала и большая опасность взрывов в машинах и котлах, что приводило вначале к многочисленным авариям. С этой точки зрения наиболее важным элементом машины высокого давления был предохранительный клапан, который выпускал лишнее давление. Надёжная и безопасная эксплуатация началась только с накоплением опыта и стандартизацией процедур сооружения, эксплуатации и обслуживания оборудования. Французский изобретатель Николас-Иозеф Куньо в 1769 году продемонстрировал первое действующее самоходное паровое транспортное средство: «fardier à vapeur» (паровую телегу). Возможно, его изобретение можно считать первым автомобилем. Самоходный паровой трактор оказался очень полезным в качестве мобильного источника механической энергии, приводившего в движение другие сельскохозяйственные машины: молотилки, прессы и др. В 1788 году пароход, построенный Джоном Фитчем, уже осуществлял регулярное сообщение по реке Делавер между Филадельфией (штат Пенсильвания) и Берлингтоном (штат Нью-Йорк). Он поднимал на борт 30 пассажиров и шёл со скоростью 7—8 миль в час. 21 февраля 1804 года на металлургическом заводе Пенидаррен в Мертир-Тидвиле в Южном Уэльсе демонстрировался первый самоходный железнодорожный паровой локомотив, построенный Ричардом Тревитиком.



# Парораспределение

В большинстве возвратно-поступательных паровых машин пар изменяет направление движения в каждом такте рабочего цикла, поступая в цилиндр и выходя из него через один и тот же коллектор. Полный цикл двигателя занимает один полный оборот кривошипа и состоит из четырёх фаз - впуска, расширения (рабочая фаза), выпуска и сжатия. Эти фазы контролируются клапанами в «паровой коробке», смежной с цилиндром. Клапаны управляют потоком пара, последовательно соединяя коллекторы каждой стороны рабочего цилиндра с впускным и выпускным коллектором паровой машины. Клапаны приводятся в движение клапанным механизмом какого-либо типа. Простейший клапанный механизм дает фиксированную продолжительность рабочих фаз и обычно не имеет возможности изменять направление вращения вала машины. Большинство клапанных механизмов более совершенны, имеют механизм реверса, а также позволяют регулировать мощность и крутящий момент машины путём изменения «отсечки пара», то есть изменяя соотношение фаз впуска и расширения. Так как обычно один и тот же скользящий клапан управляет и входным и выходным потоком пара, изменение этих фаз также симметрично влияет на соотношения фаз выпуска и сжатия. И здесь существует проблема, поскольку соотношение этих фаз в идеале не должно меняться: если фаза выпуска станет слишком короткой, то большая часть отработанного пара не успеет покинуть цилиндр, и создаст существенное противодействие на фазе сжатия. В 1840-х и 1850-х годах было совершено множество попыток обойти это ограничение, в основном путём создания схем с дополнительным клапаном отсечки, установленном на основном распределительном клапане, но такие механизмы не показывали удовлетворительной работы, к тому же получались слишком дорогими и сложными. С тех пор обычным компромиссным решением стало удлинение скользящих поверхностей золотниковых клапанов с тем, чтобы впускное окно было перекрыто дольше, чем выпускное. Позже были разработаны схемы с отдельными впускными и выпускными клапанами, которые могли обеспечить практически идеальный цикл работы, но эти схемы редко применялись на практике, особенно на транспорте, из-за своей сложности и возникающих эксплуатационных проблем.

# Виды парораспределения:

- **Сжатие**

Выпускное окно цилиндра паровой машины перекрывается несколько раньше, чем поршень доходит до своего крайнего положения, что оставляет в цилиндре некоторое количество отработанного пара. Это означает, что в цикле работы присутствует фаза сжатия, формирующая так называемую «паровую подушку», замедляющую движение поршня в его крайних положениях. Кроме того, это устраняет резкий перепад давления в самом начале фазы впуска, когда в цилиндр поступает свежий пар.

- **Опережение**

Описанный эффект «паровой подушки» усиливается также тем, что впуск свежего пара в цилиндр начинается несколько раньше, чем поршень достигнет крайнего положения, то есть присутствует некоторое опережение впуска. Это опережение необходимо для того, чтобы перед тем, как поршень начнёт свой рабочий ход под действием свежего пара, пар успел бы заполнить то мёртвое пространство, которое возникло в результате предыдущей фазы, то есть каналы впуска-выпуска и неиспользуемый для движения поршня объём цилиндра.

- **Простое расширение**

Простое расширение предполагает, что пар работает только при расширении его в цилиндре, а отработанный пар выпускается напрямую в атмосферу или поступает в специальный конденсатор. Остаточное тепло пара при этом может быть использовано, например, для обогрева помещения или транспортного средства, а также для предварительного подогрева воды, поступающей в котёл.

- **Компаунд**

В процессе расширения в цилиндре машины высокого давления температура пара падает пропорционально его расширению. Поскольку теплового обмена при этом не происходит (адиабатический процесс), получается, что пар поступает в цилиндр с большей температурой, чем выходит из него. Подобные перепады температуры в цилиндре приводят к снижению эффективности процесса.



Один из методов борьбы с этим перепадом температур был предложен в 1804 году английским инженером Артуром Вульфом, который запатентовал *Компаундную паровую машину высокого давления Вульфа*. В этой машине высокотемпературный пар из парового котла поступал в цилиндр высокого давления, а после этого отработанный в нем пар с более низкой температурой и давлением поступал в цилиндр (или цилиндры) низкого давления. Это уменьшало перепад температуры в каждом цилиндре, что в целом снижало температурные потери и улучшало общий коэффициент полезного действия паровой машины. Пар низкого давления имел больший объём, и поэтому требовал большего объёма цилиндра. Поэтому в компаундных машинах цилиндры низкого давления имели больший диаметр (а иногда и большую длину) чем цилиндры высокого давления.

Такая схема также известна под названием «двойное расширение», поскольку расширение пара происходит в две стадии. Иногда один цилиндр высокого давления был связан с двумя цилиндрами низкого давления, что давало три приблизительно одинаковых по размеру цилиндра. Такую схему было легче сбалансировать.

Двухцилиндровые компаундные машины могут быть классифицированы как:

- *Перекрестный компаунд* - Цилиндры расположены рядом, их паропроводящие каналы перекрещены.
- *Тандемный компаунд* - Цилиндры располагаются последовательно, и используют один шток.
- *Угловой компаунд* - Цилиндры расположены под углом друг к другу, обычно 90 градусов, и работают на один кривошип.

После 1880-х годов компаундные паровые машины получили широкое распространение на производстве и транспорте и стали практически единственным типом, используемым на пароходах. Использование их на паровозах не получило такого широкого распространения, поскольку они оказались слишком сложными, частично из-за того, что сложными были условия работы паровых машин на железнодорожном транспорте. Несмотря на то, что компаундные паровозы так и не стали массовым явлением (особенно в Великобритании, где они были очень мало распространены и вообще не использовались после 1930-х годов), они получили определённую популярность в нескольких странах.



## • Множественное расширение

Логичным развитием схемы компаунда стало добавление в неё дополнительных стадий расширения, что увеличивало эффективность работы. Результатом стала схема множественного расширения, известная как машины тройного или даже четырёхкратного расширения. Такие паровые машины использовали серии цилиндров двойного действия, объем которых увеличивался с каждой стадией. Иногда вместо увеличения объёма цилиндров низкого давления использовалось увеличение их количества, так же, как и на некоторых компаундных машинах.

Появление этого типа паровых машин стало особенно актуальным для флота, поскольку требования к размеру и весу для судовых машин были не очень жёсткими, а главное, такая схема позволяла легко использовать конденсатор, возвращающий отработанный пар в виде пресной воды обратно в котёл (использовать солёную морскую воду для питания котлов было невозможно). Наземные паровые машины обычно не испытывали проблем с питанием водой и потому могли выбрасывать отработанный пар в атмосферу. Поэтому такая схема для них была менее актуальной, особенно с учётом её сложности, размера и веса. Доминирование паровых машин множественного расширения закончилось только с появлением и широким распространением паровых турбин. Однако в современных паровых турбинах используется тот же принцип разделения потока на цилиндры высокого, среднего и низкого давления.

## • Прямоточные паровые машины

Прямоточные паровые машины возникли в результате попытки преодолеть один недостаток, свойственный паровым машинам с традиционным парораспределением. Дело в том, что пар в обычной паровой машине постоянно меняет направление своего движения, поскольку и для впуска и для выпуска пара применяется одно и то же окно с каждой стороны цилиндра. Когда отработанный пар покидает цилиндр, он охлаждает его стенки и парораспределительные каналы. Свежий пар, соответственно, тратит определённую часть энергии на их нагревание, что приводит к падению эффективности. Прямоточные паровые машины имеют дополнительное окно, которое открывается поршнем в конце каждой фазы, и через которое пар покидает цилиндр. Это повышает эффективность машины, поскольку пар движется в одном направлении, и температурный градиент стенок цилиндра остается более или менее постоянным. Прямоточные машины одиночного расширения показывают примерно такую же эффективность, как компаундные машины с обычным парораспределением. Кроме того, они могут работать на более высоких оборотах, и потому до появления паровых турбин часто применялись для привода электрогенераторов, требующих высокой скорости вращения.

Прямоточные паровые машины бывают как одиночного, так и двойного действия.

# Значение паровых машин

Паровые машины использовались как приводной двигатель в насосных станциях, локомотивах, на паровых судах, тягачах, паровых автомобилях и других транспортных средствах. Паровые машины способствовали широкому распространению коммерческого использования машин на предприятиях и явились энергетической основой промышленной революции XVIII века. Позднее паровые машины были вытеснены двигателями внутреннего сгорания, паровыми турбинами и электромоторами, КПД которых выше.



# Применение

Паровые машины могут быть классифицированы по их применению следующим образом:

- **Стационарные машины**

Стационарные паровые машины могут быть разделены на два типа по режиму использования:

Машины с переменным режимом, к которым относятся машины металлопрокатных станков, паровые лебёдки и подобные устройства, которые должны часто останавливаться и менять направление вращения.

Силовые машины, которые редко останавливаются и не должны менять направление вращения. Они включают энергетические двигатели на электростанциях, а также промышленные двигатели, использовавшиеся на заводах, фабриках и на кабельных железных дорогах до широкого распространения электрической тяги. Двигатели малой мощности используются на судовых моделях и в специальных устройствах.

Паровая лебёдка в сущности является стационарным двигателем, но установлена на опорной раме, чтобы её можно было перемещать. Она может быть закреплена тросом за якорь и передвинута собственной тягой на новое место.

- **Транспортные машины**

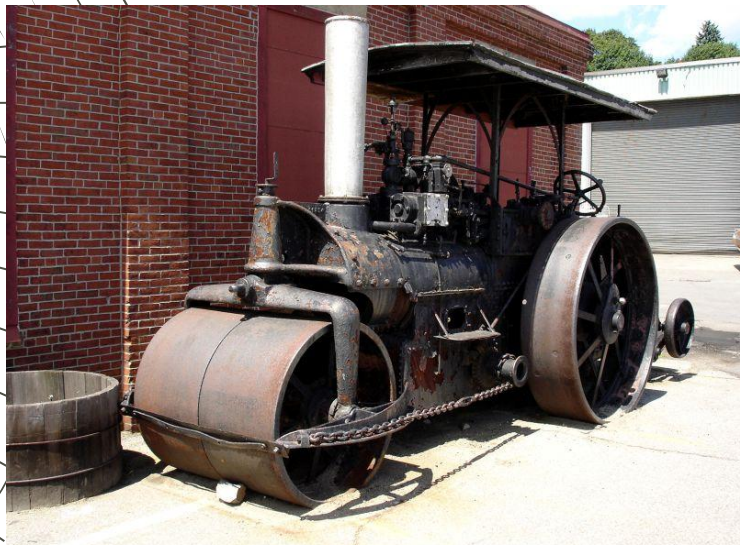
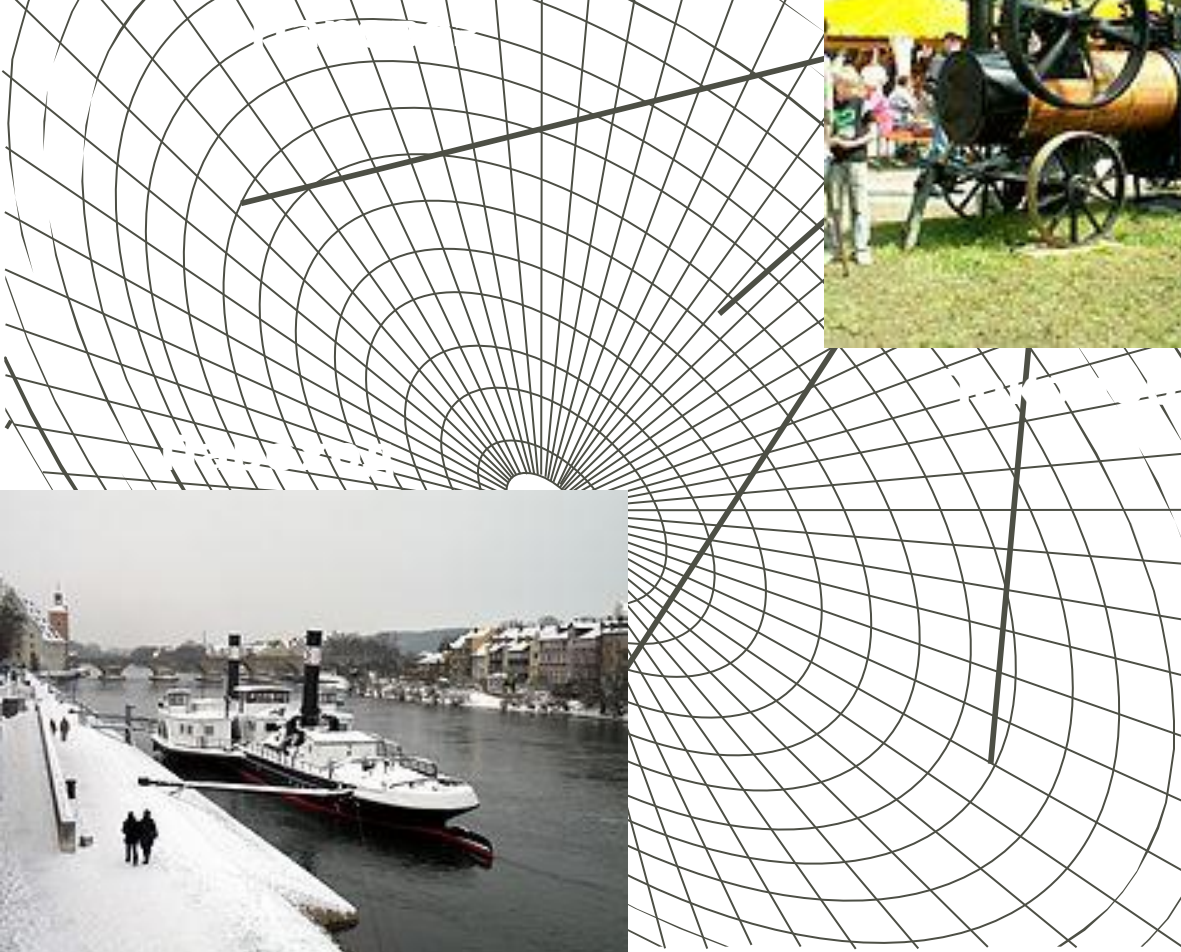
Паровые машины использовались для привода различных типов транспортных средств, среди них:

Пароход

- Сухопутные транспортные средства:

- Паровой автомобиль
- Паровоз
- Локомотив
- Паровой трактор
- Паровой экскаватор, и даже Паровой самолёт.

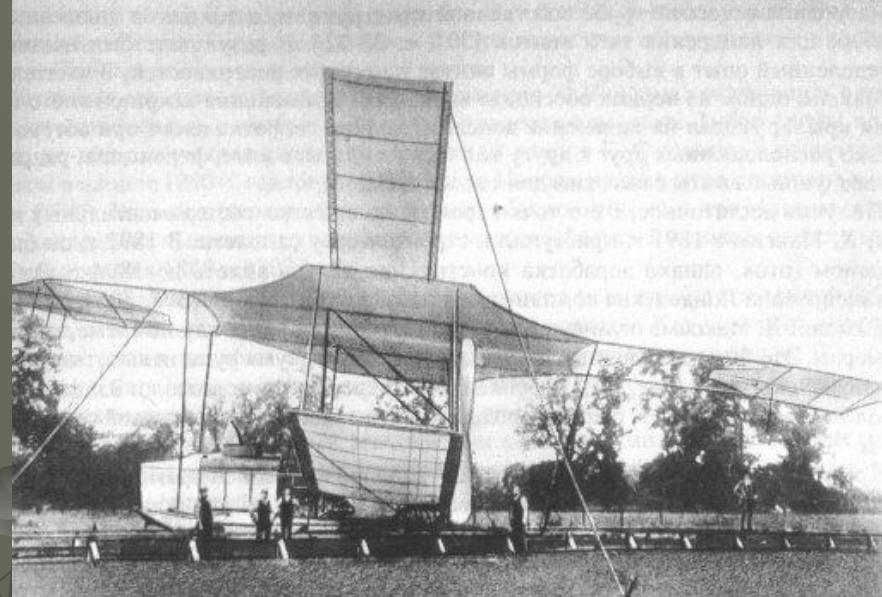
В России первый действующий паровоз был построен Е. А. и М. Е. Черепановыми на Нижне-Тагильском заводе в 1834 году для перевозки руды. Он развивал скорость 13 вёрст в час и перевозил более 200 пудов (3,2 тонны) груза. Длина первой железной дороги составляла 850 м.





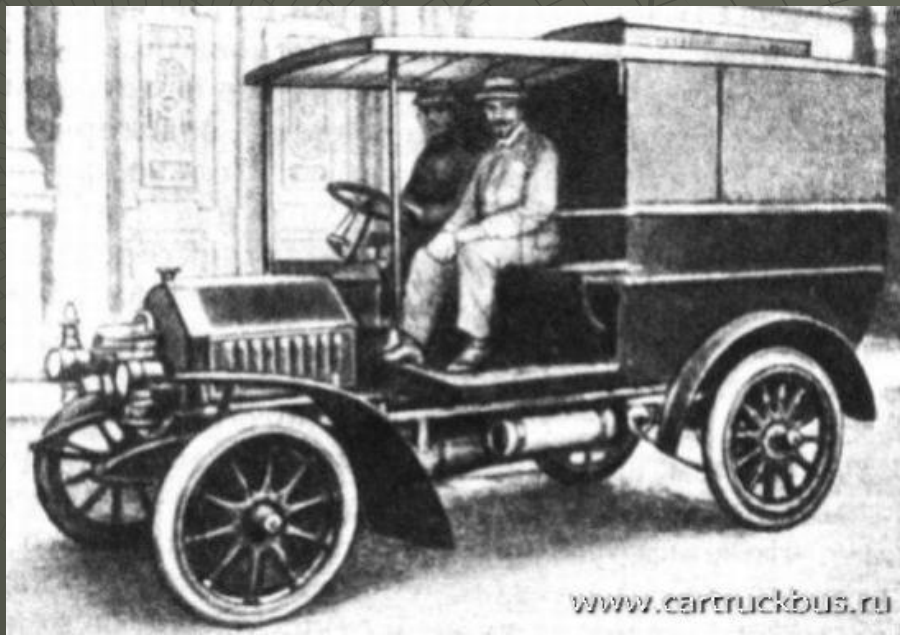


Паровой экскаватор



Паровой самолёт

Паровой автомобиль



[www.cartruckbus.ru](http://www.cartruckbus.ru)

