

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Сетевая научно-образовательная подготовка молодых исследователей
в инновационной среде университета

Белова О.В.

ВВЕДЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие

Москва, 2014

УДК 001

ББК 72

Б 43

Автор:

О.В. Белова —

доцент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана,

кандидат технических наук

Печатается по оригинальным авторским материалам

Б 43

Белова О.В. Введение в энергетические системы: Учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 53 с.

Развитие энергетики всегда определяет уровень развития промышленности любой страны, поскольку ни одна машина или механизм не работают без источника энергии. Чтобы проектировать новые энергетические системы, необходимо знать историю развития энергетической отрасли, а история ее развития очень интересна и уходит корнями далеко в века зарождения наук — математики и физики. Вся история развития естествознания чрезвычайно познавательна и интересна для понимания законов развития техники.

Учебное пособие будет полезно всем, кто стремится в будущем связать свою жизнь с профессией инженера, а может быть и станет ученым в области техники.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	4
2. ТЕРМОДИНАМИКА	6
3. ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ	15
4. ВЕЛИКИЙ ИНЖЕНЕР В.Г. ШУХОВ И ЕГО ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ	26
5. ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА	28
6. ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА	33
7. ПРОБЛЕМЫ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В XXI ВЕКЕ	44
8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
9. ЛИТЕРАТУРА	52

ВВЕДЕНИЕ

Для того чтобы начать разговор об энергетике как отрасли, давайте поговорим о том, что такое энергия и как научное сообщество разделяет ее на несколько видов.

Энергия. Энергия является мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мера перехода движения материи из одних форм в другие. Единицы измерения энергии – Калория или Джоуль. Калория – устаревшая система измерения, она стала внесистемной после введения системы СИ. «Калорийностью» называлась теплота сгорания топлива. Однако до сих пор традиционно энергетическая ценность пищевых продуктов измеряется в калориях. Калория равна количеству теплоты, необходимому для нагрева 1 грамма воды на 1 градус Кельвина при стандартном атмосферном давлении 101325 Па. Часто используют так называемую удельную энергию, то есть отнесенную к единице объема (Дж/м³) или к единице массы (Дж/кг). Например, теплота сгорания различных видов органического топлива: бензин $4,6 \cdot 10^7$ Дж/кг, сырая нефть $4,3 \cdot 10^7$ Дж/кг, природный газ $3,7 \cdot 10^7$ Дж/м³, газовый конденсат $3,5 \cdot 10^7$ Дж/кг, уголь $(3,0-5,5) \cdot 10^7$ Дж/кг.

Чтобы сравнивать тепловую ценность различных топлив, было введено понятие условного топлива. При измерении количества теплоты в килокалориях теплота сгорания условного топлива принималась равной 7000 ккал/кг. Таким образом, теплота сгорания условного топлива $Q_{у.т.} = 29302$ кДж/кг.

Как использовать энергию Земли. При виде пустыни у нас возникает впечатление, что кругом много энергии. Горячий воздух, горячий песок – кругом сплошная энергия! Однако если вы попытаетесь использовать жар пустыни, у вас ничего не получится. Причина в том, что жарко везде.

К счастью, мир вокруг нас богат и разнообразен, энергия существует вокруг нас в различном виде – в виде потенциальной энергии водопада, теплоты вулкана или гейзера, энергии волн, энергии приливов и отливов, энергии ветра... Энергетические ресурсы – это энергия и вещество, состояние которых отличается от состояния окружающей среды. Состояние и состав окружающей среды определяет наличие ресурсов энергии. Первичными энергетическими ресурсами на Земле являются уголь, уран, нефть, природный газ, ветер, солнечный свет.

Они используются в 4-х видах: для выработки теплоты, для получения работы, для выработки электроэнергии, как сырье для дальнейшей переработки.

Энергия продается в виде жидкого топлива, электроэнергии и в виде теплоты (например, водяного пара) или холода (например, охлажденной воды).

Виды энергии. Относительная разница температуры, давления, а также химического состава окружающей среды: воздуха: N₂, O₂, H₂O, Ar, CO₂, Ne, He... , океана: H₂O, Cl⁻,

Na⁺, SO₄²⁻, Mg²⁺... , земной коры: SiO₂, Fe₃O₄, Al₂O₃, Cu₂S... определяет наличие различных видов энергии. Всего существуют 7 видов энергии: механическая, электрическая, молекулярная, химическая, ядерная, теплота (энергия в переходе), работа (энергия в переходе). Все виды энергии могут превращаться одна в другую, за исключением ядерной энергии, в которую переход невозможен.

По способу перехода из одного вида в другой все виды энергии делятся на две группы:

I группа	II группа
1 – механическая энергия	3 – молекулярная энергия
2 – электрическая энергия	4 – химическая энергия
5 – ядерная энергия	6 – теплота (энергия в переходе)
7 – работа (энергия в переходе)	

Виды энергии I группы – виды энергии, которые можно без потерь преобразовать в любые другие виды энергии.

Виды энергии II группы – те виды энергии, которые нельзя полностью преобразовать в любой другой вид энергии (эти виды энергии также называют энтропийными¹).

Энергия I группы может быть полностью преобразована в любой другой вид энергии независимо от параметров окружающей среды. Преобразование видов энергии II группы зависит от параметров окружающей среды. При равенстве параметров рабочего тела в системе и параметров окружающей среды преобразование энергии II группы становится невозможным.

Чаще всего в технике теплота превращается в работу с помощью прямого цикла. Понятие цикл, или круговой процесс, было введено французским ученым Сади Карно. В 1824 году вышла первая и единственная работа Сади Карно – «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу». Эта работа считается основополагающей в *термодинамике* – науке о свойствах материи и энергии. В ней был произведен анализ существующих в то время паровых машин, и были выведены условия, при которых КПД достигает максимального значения (в паровых машинах того времени КПД не превышал 2%). Обратные циклы позволяют передавать теплоту с низшего температурного уровня на высший. Если в прямом цикле работа является результатом использования цикла, то в обратном цикле работа затрачивается для получения полезного количества холода или теплоты.

¹Энтропия в технике – мера беспорядка системы.

ТЕРМОДИНАМИКА

Зарождение термодинамики

В отличие от ньютоновской механики, которая засти две тысячи лет спустя после того, как Герон Александрийский заставил сферический сосуд вращаться вокруг оси под действием силы пара. Еще в 18 веке люди использовали силу воды, ветра и мышечную силу животных, а почему огонь порождает движение оставалось загадкой. Изобретение профессором университета Глазго Джеймсом Уаттом парового двигателя, позволившего превратить теплоту в механическое движение, и породило новую науку – термодинамику, которая затем стала теорией, описывающей в общем виде преобразования состояния вещества.



Джеймс Уатт

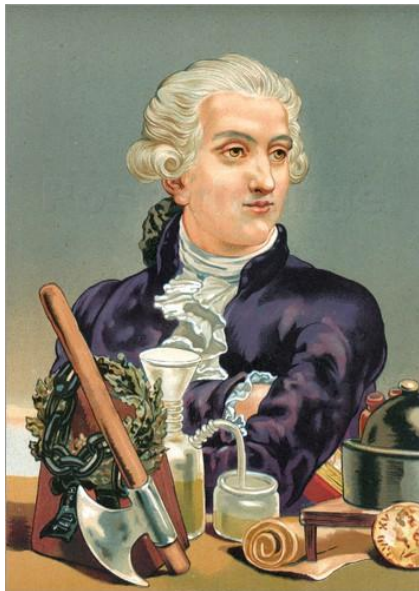


Джозеф Блэк

Именно в 17 и 18 веке в представлениях человека о природе произошли революционные изменения. Примером может служить интереснейшее открытие профессора медицины и химии того университета Глазго Джозефа Блэка, который с помощью обычного термометра доказал, что в состоянии теплового равновесия температуры всех веществ одинаковы. Он открыл удельную теплоемкость веществ, а также удельную теплоту плавления и парообразования, и в последнем открытии ему помог его ученик – Джейм Уатт! До Блэка люди не могли объяснить, почему лежащие рядом брусок металла и дерева на ощупь кажутся один холоднее, а другой теплее.

Таким образом, Джозеф Блэк провел четкое различие между количеством теплоты и температурой.

Однако вплоть до 19 века шли дебаты о том, что теплота – это неразрушимая субстанция, или калорическая жидкость.



Антуан Лавуазье



Жан Фурье

Считалось, что именно переход этой калорической жидкости от одного тела к другому и вызывает изменение температуры. Этой теории придерживались и Антуан Лоран Лавуазье, и Жан Батист Жозеф Фурье, и Пьер Симон де Лаплас, и Симеон Дени Пуассон. Даже Сади Карно, гению которого мы обязаны открытием второго начала термодинамики, первоначально использовал понятие калорической жидкости.



Пьер Симон де Лаплас



Симеон Дени Пуассон

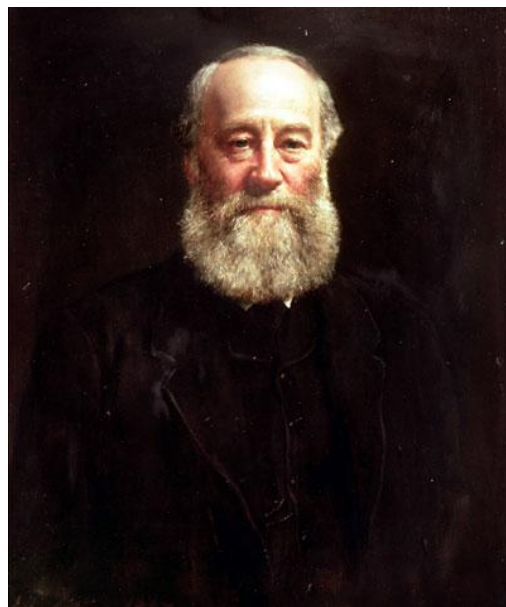
И только в 19 веке было доказано, что теплота – форма передачи энергии. Природа теплоты как формы энергии устанавливалась в пылу споров и экспериментов. Например, американец Бенджамин Томпсон, который стал позднее графом фон Румфордом, погружал

металлические болванки артиллерийских стволов в воду, высверливал в них отверстия, и тепло от механического трения доводило воду до кипения! Эксперименты Джеймса Прескотта Джоуля доказали, что теплота может преобразовываться в энергию, и наоборот.

Поэтому сейчас мы измеряем количество теплоты в джоулях (Дж), хотя применимо и употребление старой величины – калории. Калория – количество теплоты, которое необходимо для того, чтобы нагреть 1 г воды от 14,5 до 15,5 градусов Цельсия, $1 \text{ кал} = 4,184 \text{ Дж}$.



Бенджамин Томпсон



Джеймс Джоуль

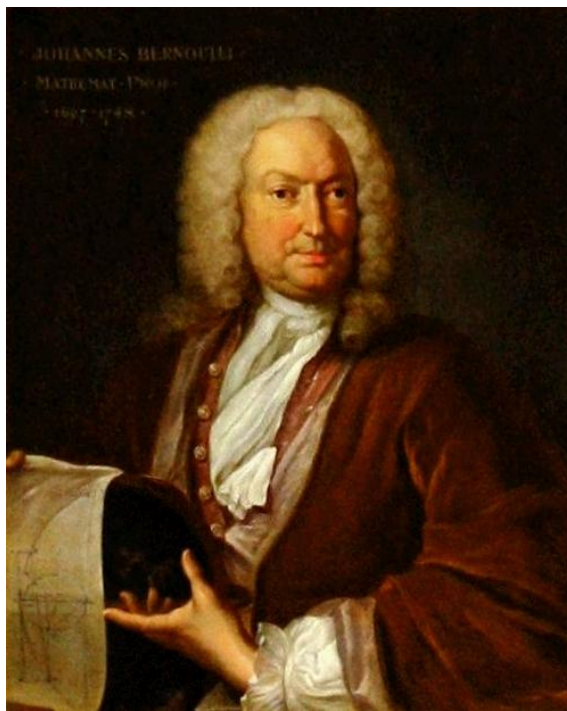
ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ: СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ

Еще со времен великих сэра Исаака Ньютона и Готфрида Вильгельма Лейбница было известно, что механическая энергия подчиняется закону сохранения (кинетическая энергия переходит в потенциальную, и наоборот). После того как Джоуль установил механический эквивалент теплоты и ее стали считать формой энергии, встал вопрос – а подчиняется эта энергия закону сохранения?

Над данным вопросом работали многие ученые. Русский химик Герман Иванович Гесс сформулировал закон сохранения энергии в химических реакциях. Работали над этим вопросом и Лейбниц, и Михаил Ломоносов, и Джоуль, и Иоганн Бернулли, и Гюйгенс.



Герман Гесс



Иоганн Бернулли

Основоположниками же считаются: Сади Карно, изложивший основы закона сохранения энергии в небольшом трактате «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу», Герман фон Гельмгольц в работе «О сохранении силы» и Юлиус Роберт фон Майер, написавший трактат «Замечания относительно сил неживой природы».

Первое начало гласит:

Когда система претерпевает превращение, алгебраическая сумма различных изменений энергии – теплообмена, совершаемой работы и т.д. – не зависит от способа превращения. Она зависит только от начального и конечного состояний.

Первым правильно поставил и решил задачу определения теплового эквивалента работы французский военный инженер Николай Леонар Сади Карно, сын инженера и ученого Лазара Карно. Но поскольку его работа «Размышления о движущей силе огня...» не привлекла внимания ученых при жизни автора, как основоположник закона сохранения энергии в историю вошел Роберт Майер.



Роберт Майер



Герман Гельмгольц



Лазар Карно



Сади Карно

Роберт Майер – революционер науки

Майер сформулировал закон, будучи судовым врачом. Во время далекого морского путешествия на остров Ява ему пришлось делать операции не только морякам, но и жителям острова. Он обратил внимание на то, что венозная кровь у аборигенов была светлее, чем у европейцев: «кровь, выпускаемая из ручной вены, отличалась такой необыкновенной краснотой, что, судя по цвету, я мог бы думать, что я попал на артерию»). В этот момент он предположил, что «температурная разница между собственным теплом организма и теплом окружающей среды должна находиться в количественном соотношении с разницей в цвете обоих видов крови, то есть артериальной и венозной... Эта разница в цвете является выражением размера потребления кислорода или силы процесса сгорания, происходящего в орга-

низме». Майер пришел к объяснению, что в жарком климате организм отдает, а, следовательно, и вырабатывает меньше тепла, чем на севере. Соответственно артериальная кровь, переходя в венозную, должна отдавать меньше кислорода, и, следовательно, меньше темнеть!

Развивая эту мысль, Майер связал процесс окисления пищи не только с выделением тепла организмом, но и работой, которую он производит. Следовательно, и тепло, и работа возникают из одного и того же источника – пищи. При одном и том же количестве окисленной пищи сумма сил неизменна: сколько убавится работы, столько же прибавится теплоты, и наоборот.

Все мысли Майера, публиковавшиеся им в журналах, воспринимались как крамольные, поскольку в умах ученых еще господствовала теория теплорода. Майера окружала враждебная атмосфера, его статьи перестали печатать, поскольку его идеи были слишком революционными для научной мысли того времени. В такой трудной обстановке зарождался первый основной закон термодинамики.

Вечный двигатель

Первый и второй законы термодинамики появились благодаря спорам о возможности существования вечного двигателя.

Идея об устройстве, которое могло бы приводить в движение машины, не используя ни мускульную силу людей и животных, ни силу ветра и падающей воды, возникла в Индии еще в 12 веке. Практический же интерес возник позднее, в 13 веке в Европе, когда развивались ремесленные производства. По примеру вечного движения солнца, луны и планет – «*perpetuummobilenaturae*» люди были уверены, что можно создать искусственное вечное вечное движение – «*perpetuummobileartificae*».

Сади Карно – основоположник термодинамики

Сади Карно был блестящим военным инженером, выпускником лучшей инженерной школы Франции - *École Polytechnique*. Размышляя над принципами, лежащими в основе действия парового двигателя, Карно рассмотрел основной процесс, который при этом происходит, т.е. получение «движущей силы», или как бы мы сказали на современном языке - «работы». Карно проанализировал работу, совершаемую тепловым двигателем, т.е. механическую работу за счет потока теплоты, и пришел к заключению о существовании принципиального предела работы, которую можно получить от потока данного количества теплоты. Великим открытием Карно стало осознание того, что здесь отсутствует зависимость от двигателя и

способа, которым совершается работа, а есть зависимость только от температур, вызывающих поток теплоты.

В честь Карно назвали и теорему, которая определяет коэффициент полезного действия (КПД) идеального обратимого теплового двигателя как функцию от температур горячего резервуара, откуда поглощается теплота, и холодного резервуара, куда оставшаяся после совершения двигателем работы теплота передается.

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Научная работа «Размышления о движущей силе огня...» была опубликована Сади Карно в 1824 г. за свой счет в количестве всего 600 экземпляров. Через восемь лет после опубликования он умер от холеры, и только через год после его смерти книга попала в руки Бенуа Поль Эмилю Клапейрону, который понял фундаментальное значение содержащихся там выводов и сделал содержащиеся там выводы достоянием научного сообщества. Позднее статью прочитали лорд Кельвин (Уильям Томсон) и другие ученые, которые на основе идей Карно сформулировали второе начало термодинамики.

Абсолютная шкала температур

Рассуждения Карно привели к определению абсолютной температуры, которая не зависит от свойств вещества (материи), используемого для измерения температуры.

Лорд Кельвин, следуя работе Карно, ввел понятие абсолютной шкалы температур, которая носит теперь его имя.

Абсолютный нуль шкалы Кельвина определяет КПД цикла Карно, равный 1.

Из теоремы Карно следует, что для идеального обратимого теплового двигателя выполняется равенство

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2},$$

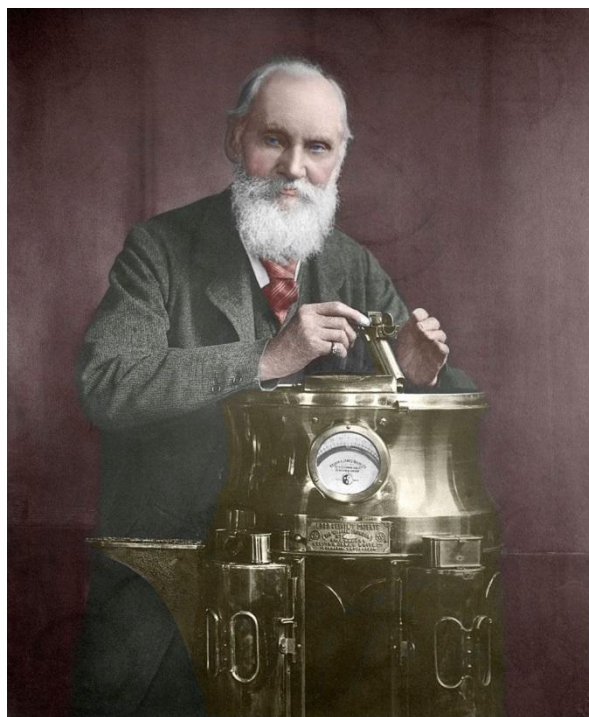
а для реального двигателя, где все процессы необратимые, можно получить неравенство:

$$\frac{Q_1}{T_1} < \frac{Q_2}{T_2},$$

которое в дальнейшем сыграло фундаментальную роль в термодинамике.



Эмиль Клапейрон



Лорд Кельвин

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Все понятия, берущие начало из «Размышлений» Карно, были до конца познаны Рудольфом Клаузиусом. Клаузиус придал величине Q/T самостоятельное значение и ввел в науку, назвав ее энтропией. Эта новая физическая величина столь же фундаментальна и универсальна, как и энергия. Клаузиус использовал греческое слово «превращение». Энтропия однако не просто подводится к телу при подводе к нему теплоты, но и накапливается в нем, в отличие от теплоты, которая переходит во внутреннюю энергию. Таким образом, энтропия может как содержаться в телах, так и посредством теплоты передаваться от одного тела к другому.

Таким образом, второе начало (или второй закон) термодинамики выводится из двух положений: существования и постоянства энтропии в обратимых процессах (Карно) и возрастания энтропии в необратимых процессах (Клаузиус).



Рудольф Клаузиус

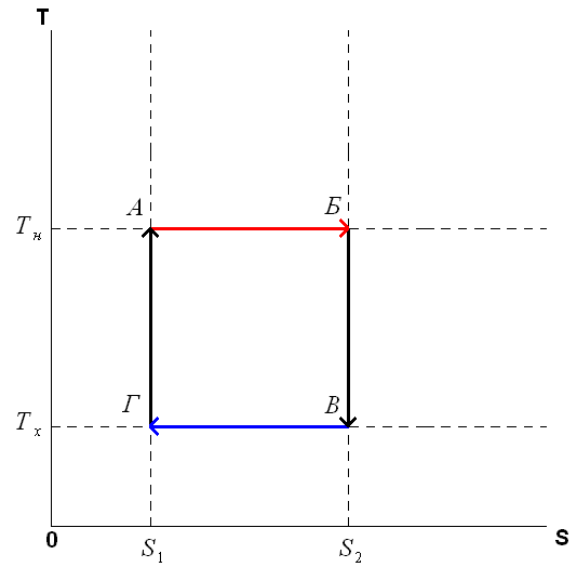


Диаграмма S-T прямого цикла Карно

Его можно сформулировать как эквивалент теореме Карно:

Невозможно построить двигатель, который работал бы по полному циклу и превращал всю теплоту, поглощаемую из резервуара, в механическую работу.

Второй вариант сформулировал Клаузиус:

Теплота не может самопроизвольно переходить от более холодного тела к более нагретому.

Рассматривая первый и второй законы термодинамики в применении к Вселенной, Клаузиус сформулировал их как космологические принципы:

Энергия Вселенной постоянна.

Энтропия Вселенной стремиться к максимуму.

Цикл Карно

Клапейрон, изучая труд Карно, впервые предложил изображать термодинамические циклы графически.

Прямой идеальный обратимый цикл Карно для тепловой машины, состоящий из двух изотерм (линий постоянной температуры) и двух изоэнтроп (линий постоянной энтропии). Подвод и отвод теплоты происходит при постоянной температуре рабочего тела, а переход между ними – при постоянной энтропии.

По диаграмме очень легко увидеть, как зависит эффективность цикла двигателя от изменения температур, поскольку площадь внутри цикла – это полученная работа, площадь под процессом АБ – количество теплоты, полученное от нагревателя (при сгорании топлива

в двигателе), а площадь под процессом ВГ – количество теплоты, отданное холодильнику (в систему охлаждения двигателя).

В качестве примера рассмотрим тепловой двигатель, который работает по циклу Карно в интервале значений температуры от $T_x = 300\text{K}$ до $T_n = 2400\text{K}$. В этом случае, КПД $\eta = 0,875$. Если температура T_x уменьшится на 20K , то КПД увеличится на $0,00833$, а при повышении температуры T_n также на 20K КПД увеличивается на $0,00103$, т.е. в 8 раз меньше! Можем сделать вывод, что для повышения КПД идеального цикла необходимо уменьшать температуру холодильника, однако в реальном двигателе эта температура определяется температурой окружающей среды, и поэтому для повышения КПД повышают температуру в камере сгорания топлива, и вот почему КПД двигателя больше зимой.

ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Двигатель Отто

Приоритет создания прообраза современного поршневого двигателя принадлежит немецкому инженеру Николаусу Августу Отто. Однако двигатель с внешним смесеобразованием и принудительным зажиганием был создан раньше – это был газовый двигатель внутреннего сгорания французского механика Жана Жозефа Этьена Лемуара. Он работал на так называемом светильном газе (смесь водорода, метана и угарного газа).



Филипп Лебон

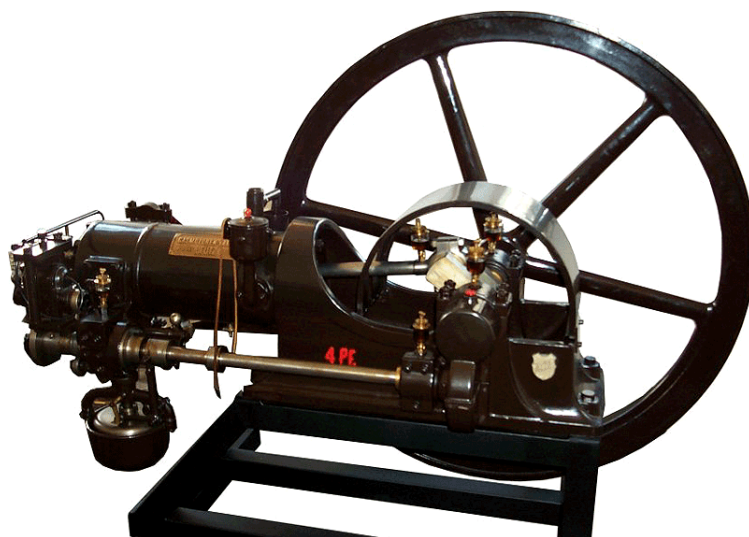


Исаак де Риваз

Лемуар использовал идеи французского механика Филиппа Лебона, который построил двигатель двойного действия, работающий на светильном газе, и швейцарского изобретателя Франсуа Исаака де Риваза, который для зажигания газа в камере сгорания использовал электрическую искру.



Николаус Отто

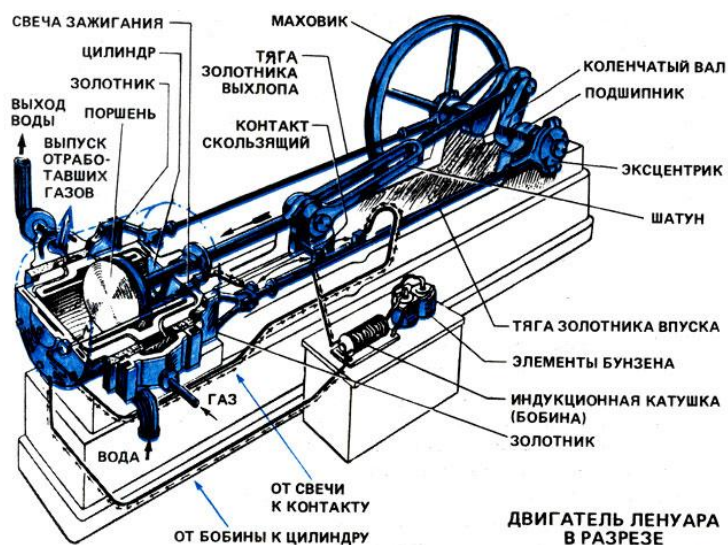


Двигатель Отто

Таким образом, первый самодвижущийся экипаж с двигателем внутреннего сгорания появился в 1862 году и назывался «Гиппомобиль» (фр. hippomobile – «коноходка»). «Лошадиная» тяга (всего 1,5 л.с.) определяла небольшую скорость первого самоходного экипажа с двигателем внутреннего сгорания. Массивная трёхколёсная повозка, рассчитанная на 8 человек, и двигатель массой около 300 кг, да и тяжёлый котёл-газогенератор, вырабатывавший из угля светильный газ – вот что представлял собой первый автомобиль на газу.



Этьен Лемуар

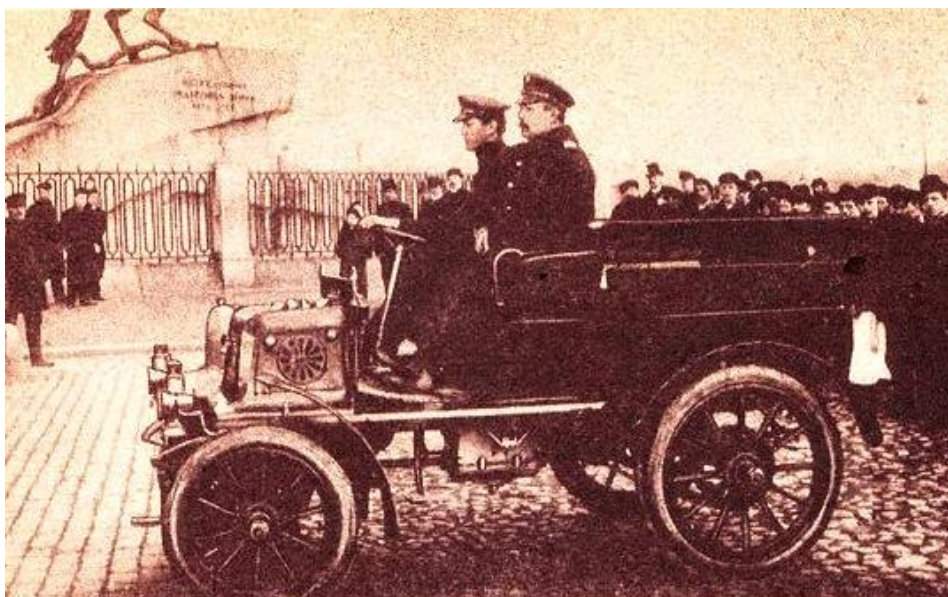


Двигатель Лемуара

Лемуар заинтересовал своим изобретением солидные фирмы, они приобрели лицензию и стали выпускать двигатель. К сожалению, Этьен Лемуар думал больше о деньгах, чем о прогрессе и долгосрочных перспективах, поэтому совершенствовать свой двигатель и, тем более, самоходный экипаж изобретатель не стал.

Однако двигатель Ленуара побудил других изобретателей и инженеров к его усовершенствованию. Молодой купец и изобретатель из Кельна Отто обнаружил, что если смесь газов до подачи электрической искры предварительно сжать, то сгорание осуществляется с такой интенсивностью, что поршень не успевает переместиться, т.е. процесс происходит при постоянном объеме. Так Отто пришла идея создания рабочего цикла, по которому работают все современные бензиновые двигатели.

Двигатель Ленуара имел горизонтальное расположение цилиндра, а вот двигатель с вертикально расположенным цилиндром появился в 1888 г. На выставке в Мюнхене, и автором его был русский инженер Борис Григорьевич Луцкий. Конструкцию этого двигателя отличала простота и дешевизна.



Автомобиль Луцкого, 1903 г.

Первые поршневые двигатели работали в основном на газе, однако, двигатели на жидком топливе появились даже раньше двигателя Лебона. Попытки приспособить свой двигатель к работе на жидких углеводородных топливах предпринимал и Ленуар. Аналогичным путем шел и Отто, который в сотрудничестве с немецким инженером Карлом Ойгеном Лангеном создал двигатель, работающий как на газе, так и на бензине. Нужно отметить, что все первые двигатели на жидком топливе работали без предварительного сжатия горючей смеси, как и газовые двигатели.

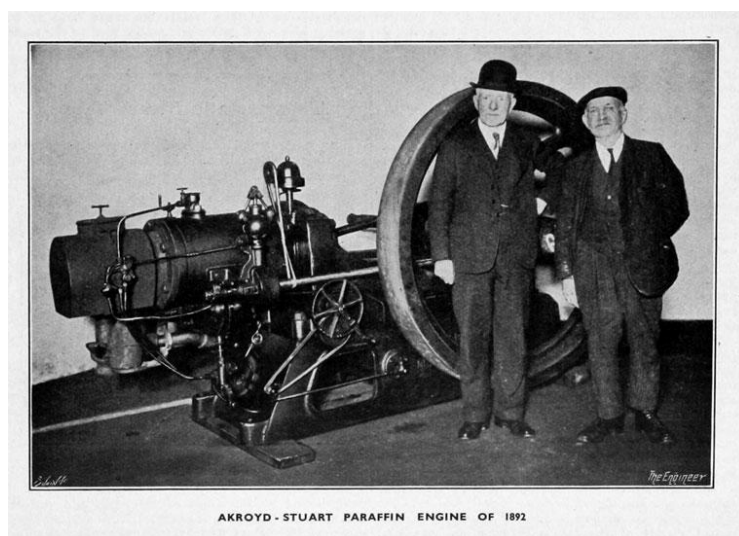
Наибольших успехов в создании двигателей на жидком топливе добились немецкий инженер Готлиб Вильгельм Даймлер и Аугуст Вильгельм Майбах.

Двигатель Дизеля

На первом этапе с развитием дизелей связано два крупных имени – английского изобретателя инженера Герберта Аккرويد–Стюарта и немецкого инженера Рудольфа Дизеля. Герберт Аккرويد–Стюарт в течение 1885 – 1890 годов получил ряд патентов на усовершенствование двигателя внутреннего сгорания. В мае 1890 года ему было выдано еще несколько патентов на изобретения, которые многими считаются прототипами позже заявленных патентов Рудольфа Дизеля. Основной целью этих запатентованных изобретений было устранение некоторых трудностей, связанных с появлением преждевременных вспышек горючей смеси, имевших место в бензиновых двигателях при повышении степени сжатия.



Герберт Аккرويد–Стюарт



Двигатель Аккرويد–Стюарта

Все двигатели Аккرويد–Стюарта были снабжены отдельной камерой сгорания, сообщаемой с главным пространством сжатия через узкий канал или отверстие. При пуске эта обособленная камера нагревалась снаружи при помощи нагревательной лампы – способ калоризаторного воспламенения топлива. В цилиндр засасывался воздух, который затем при сжатии проталкивался в камеру сгорания.

В конце хода сжатия впрыскиваемое в камеру топливо воспламенялось, причем воспламенение топлива происходило за счет высокой температуры стенок камеры, т.е. сама камера служила в качестве запального устройства.



Рудольф Дизель, Генрих фон Буц – владелец Аугсбургского завода, профессор Мо-
риц Шретер (слева направо) на съезде ассо-
циации германских инженеров в Касселе.
1897 год.



Патент Дизеля на двигатель

Двигатель Рудольфа Кристиана Карла Дизеля осуществлялось постепенное сгорание, аналогично тому, как в первом газовом двигателе американского инженера Джорджа Брайтона (в честь Брайтона назван термодинамический цикл, состоящий из двух изобар и двух изоэнтроп, реализуемый в газотурбинных, турбореактивных и прямоточных воздушно-реактивных двигателях). Рудольф Дизель, еще будучи учеником великого немецкого инженера и ученого Карла фон Линде, поставил перед собой цель создать двигатель, максимально приближенный по эффективности к циклу Карно.

Дизель проводил много термодинамических расчетов, сформулировал «три основных условия совершенного сгорания», прежде чем воплотить двигатель в конструкции, он издал брошюру, с которой ездил по машиностроительным заводам, уговаривая владельцев взяться за производство инновационного двигателя. И только талант и глубокие теоретические знания Дизеля помогли ему превратить его идею в жизнь. За производством двигателя взялся Аугсбургский машиностроительный завод (ныне концерн MAN, или Maschinenfabrik-Augsburg-Nürnberg AG, Augsburg (M.A.N.)).

В 1893 году Рудольф Дизель получил патент на сжатие заряда воздуха до температуры выше температуры воспламенения смеси «топливо – воздух». Этим предложением Ру-

дольф Дизель ввел упрощение в конструкцию двигателя Аккرويد–Стюарта, устранив специальные запальные устройства в виде электрического зажигания и нагрева стенок камеры сгорания. Дизель предполагал использование в качестве топлива каменноугольной пыли, однако при проведении испытаний сам чуть было не погиб.

Первый рабочий двигатель, где в качестве топлива использовалось арахисовое масло, был построен в 1894 году, а к 1895 году был создан первый двигатель, работавший на керосине. Его КПД составил 28%, что было почти в два раза больше, чем у конкурентов. Однако его создание не сильно впечатлило современников, сенсацию уж точно не вызвало.

При этом двигатель был в два раза эффективней судовых и паровых машин, и в пять раз эффективней паровоза. Но цель Дизеля была создать еще более эффективный двигатель, с КПД 70%. К сожалению, этот замысел реализовать не удалось ни самому изобретателю, ни его последователям. Самый мощный современный дизельный двигатель дает лишь около 50% КПД. Конкурентом Дизеля на тот момент были бензиновые двигатели Отто.

Глава самой могущественной в России нефтяной компании Эммануил Нобель, сын Рудольфа Нобеля, сумел разглядеть в двигателе Дизеля нечто новое и перспективное. По заданию Нобеля переговоры с Дизелем о покупке его патента вел Георгий Филиппович Депп. В феврале 1898 года был подписан договор об исключительном праве пользования патентом Дизеля на территории России. Нобель заплатил, не торгуясь, полмиллиона рублей золотом. Эммануил Нобель грезил о двигателе, работающем на сырой нефти. Он был уверен: русские инженеры, отталкиваясь от идей Дизеля, способны изготовить новый мощный и экономичный двигатель, который был нужен русскому правительству, мечтавшему об экономическом рывке. Доля России в мировой добыче нефти составляла тогда 53 процента. Компания «Бранобель» добывала 18 процентов нефти внутри империи и контролировала большую часть ее экспорта. Но в нем была кровно заинтересована и Германия, стремившаяся переориентироваться на русскую нефть и выйти из-под влияния американского картеля. Впоследствии, кстати, это стало тайной темой встречи Нобеля с кайзером Вильгельмом II.

Под руководством Деппа были созданы первые русские дизели, способные работать на сырой нефти. По результатам этих работ в 1901 г. вышел труд Деппа «Опыты с двигателями Дизеля». Первые дизели использовались в качестве привода электрогенераторов на предприятиях и электростанциях. Идею о возможности использования дизелей на судах впервые в 1898 г. высказал инженер Константин Петрович Боклевский. Он же в 1903 г. предложил один из первых проектов дизельного судна и дальновидно утверждал, что «с таким двигателем каждое судно могло бы пойти из любого порта нашей страны во Владивосток, не заходя в иностранные гавани за топливом».

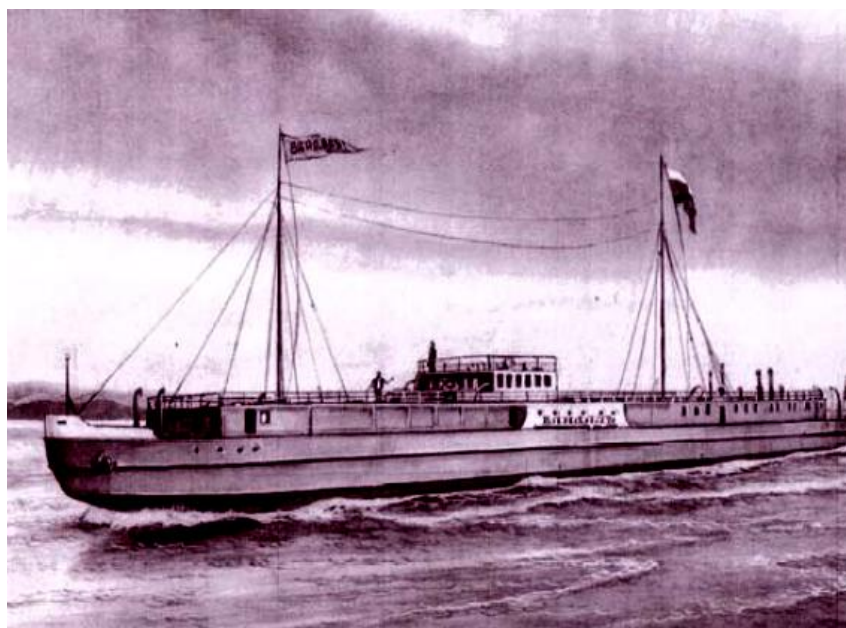


MAN – выходец из Аугсбургского завода



Реклама «русского дизеля»

Новый двигатель стали производить в Петербурге (на Выборгской стороне), на заводе «Людвиг Нобель». Первым достаточно крупным дизельным судном стала трехвинтовая нефтеналивная баржа "Вандал", построенная в России в 1903 г.



Дизельная нефтеналивная баржа «Вандал», 1903 г.

В 1900 г на Всемирной выставке в Париже двигатель Дизеля получил Гран-при, чему способствовало известие, что завод Нобиля в Петербурге наладил выпуск двигателей, работающих на сырой нефти. Этот двигатель получил в Европе название "русский дизель". После того как деловые люди узнали о новом чудо-моторе, заказы на поставку «дизелей» посыла-

лись на завод как из рога изобилия. Дизельных денег хватило не только на то, чтобы вновь поднять чуть было не рухнувшее товарищество на должную высоту, но и на то, чтобы развить его дальше.

Наводнив рынок перспективными моторами, Нобель хочет поднять спрос на нефть. Львиную долю выручки нефтяных компаний долгое время составляет керосин, его создание - процесс дорогостоящий. Нобель пытается перевести двигатели на сырую нефть – опять не выгодно, расход слишком большой. В результате проб и подборов нашли фракцию, которая и выделяется при перегонке нефти, и возгорается при сжатию – солярка, и дешево и экономично. Теперь солярку так и называют – дизтопливо.

Потребляя в 4 раза меньше топлива, чем корабельные паровые машины, дизельные двигатели быстро завоевывают рынок. До начала первой мировой войны Россия производит столько дизелей, что в мире их называют - русскими двигателями. В 1908 году дизель уходит под воду. На заводе были изготовлены два двигателя для подводной лодки "Минога" - она была построена на Балтийском судостроительном заводе по проекту конструктора Ивана Бубнова и стала первой в мире дизельной подводной лодкой.

К 1910 году «Товарищество Бранобель» владело сетью нефтепроводов общей протяженностью более полутора тысяч километров, тринадцатью заводами, из которых шесть являлись нефтеперегонными, а семь – вспомогательными. Имелось более 10 тысяч цистерн, 65 танкеров, 110 стальных барж и 124 других судна. На предприятиях компании трудились более 30 тысяч человек. Добыча нефти русскими Нобелями достигла 100 млн. пудов в год. Именно благодаря патенту Дизеля русский нефтяной бизнес с начала прошлого века, идет в гору, за пять лет цены на нефть утраиваются. К 1907 году капиталы русских Нобелей превышают 60 млн. рублей. Но в историю успеха «дизельного магната» вмешивается революция.

Рудольф Дизель умер предположительно 29 сентября 1913 г. при невыясненных обстоятельствах: отправившись из Антверпена в Лондон на борту парома «Дрезден», по дороге он загадочно исчез.

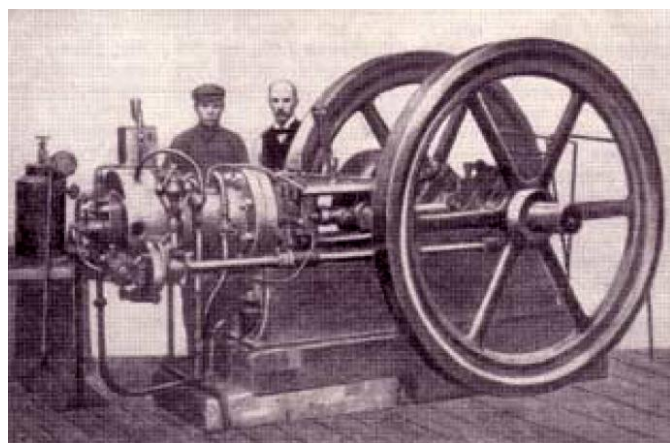
Цикл Тринклера

Хотя датой рождения дизельного двигателя Рудольфа Дизеля считается 1897 год, именно с 1908 года начинается история современного двигателя, получившего в дальнейшем название «дизельный двигатель». В 1899 году инженером из России Густавом Васильевичем Тринклером была подана заявка на устройство распыливающего аппарата для двигателя, работающего от сжатия. Однако рассмотрение заявки затянулось на пять лет и русский патент

на конструкцию «Тринклер-мотора» с рабочим циклом по смешанному подводу теплоты был получен лишь в 1904 году.



Г.В. Тринклер



Общий вид двигателя Тринклера (справа за двигателем – Г.В. Тринклер)

Тринклер был принят на Путиловский завод, где очень быстро начал строить первый в мире «бескомпрессорный нефтяной двигатель высокого давления», который он называл «Тринклер-мотором». Однако весной 1902 года новый директор Путиловского завода С.И. Смирнов категорически потребовал прекращения работ по новому двигателю. Сделано это было под нажимом Эммануила Нобеля, который к тому времени уже купил патент на двигатель Рудольфа Дизеля и после целого комплекса работ по усовершенствованию конструкции наладил их серийное производство. И Тринклер уезжает строить свои двигатели на завод «Братьев Кёртинг» в Ганновере (Германия), где и работает до середины 1907 года главным конструктором.

В 1905 году были выпущены на рынок двигатели системы Тринклера, которые в полной мере реализовали цикл смешанного сгорания двигателя с воспламенением от сжатия. Через несколько лет Тринклеру был выдан еще один, дополнительный, русский патент, окончательно закрепивший приоритет в создании современного дизельного двигателя за Россией — на бескомпрессорный двигатель, работающий от сжатия по смешанному циклу подвода теплоты.

Бесспорные преимущества «Тринклер-мотора», опробованного и освоенного за рубежом, привлекли, наконец, внимание отечественных промышленников. Уже с июня 1907 года Тринклер работает начальником отдела тепловых двигателей на Сормовском машиностроительном заводе, куда он был приглашен в качестве одного из ведущих специалистов по тепловым двигателям мирового энергомашиностроения.

Было выпущено немало публикаций, посвященных проблеме приоритета одного двигателя перед другим, и велась полемика – что же считать дизельным двигателем: «Дизель-мотор»

или «Тринклер-мотор», и что считать рабочим циклом этого двигателя, пока на конференции Парижской академии наук в 1947 году не постановили, что существующий двигатель с воспламенением от сжатия работает по процессу «Тринклер-мотора». Но, принимая во внимание большие заслуги создателя «Дизель-мотора» Рудольфа Дизеля по внедрению и распространению двигателя с воспламенением от сжатия, тогда же было принято решение назвать созданный двигатель именем Дизеля, а приоритет создания его рабочего цикла оставить за Россией и его создателем Густавом Васильевичем Тринклером.

Школа двигателей внутреннего сгорания в МГТУ им. Н.Э. Баумана

Формирование научной школы двигателей внутреннего сгорания в МГТУ им. Н.Э. Баумана тесно связано с именем выдающегося русского теплотехника, профессора Василия Игнатьевича Гриневецкого.

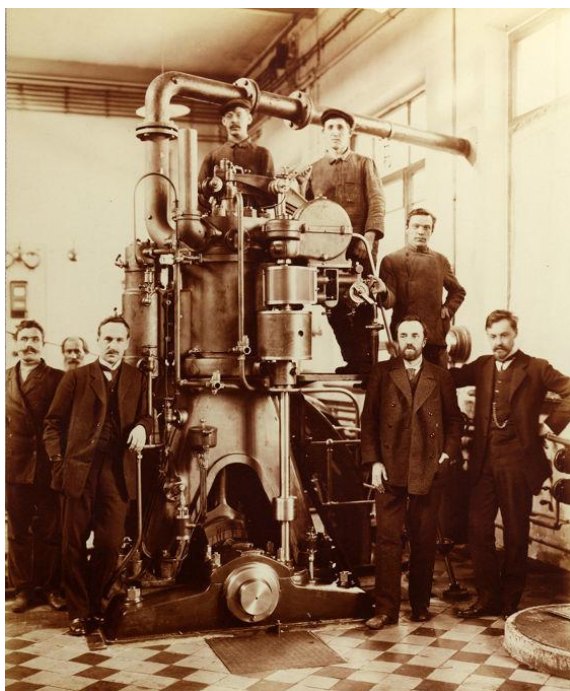
В 1896 г. Гриневецкий получил диплом Императорского Московского технического училища (ИМТУ), а затем преподавал в стенах *almamater* на механическом отделении. Часто выезжал в зарубежные университеты для обмена опытом с иностранными коллегами. В 1902 году ему присвоили профессорское звание. Вехами его биографии стала не только плодотворная работа на кафедре прикладной механики и машиностроения, но и успешные изыскания в области теплотехники и тепловозостроения.

Ученый пользовался заслуженным уважением своих коллег, среди которых были Н.Е. Жуковский и В.Г. Шухов. В 1914 г., незадолго до начала войны, Василий Игнатьевич был избран руководителем ИМТУ.

Василий Игнатьевич стал основателем школы двигателей внутреннего сгорания в России. По его инициативе в 1906 г. была создана первая в мире кафедра «Двигатели внутреннего сгорания». В 1907 г. под редакцией В.И. Гриневецкого был издан перевод книги немецкого инженера Гуго Гюльднера «Газовые, нефтяные и прочие двигатели внутреннего сгорания: Их конструкция и работа, их проектирование». Эпиграфом к немецкому изданию книги Г. Гюльднера была фраза: «Поменьше теоретизируйте, побольше конструируйте!». И как бы выражая свое несогласие с эпиграфом Гюльднера, в приложение к книге Гриневецкий выпустил научный труд «Тепловой расчет рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания», основные положения которого актуальный по сей день.

Как человек практики, человек дела Гриневецкий понимал, что производственные навыки, накопленный опыт, технология, инфраструктура промышленности – национальное богатство. Но для того чтобы активизировать это богатство, нужен план возрождения русской промышленности. На разработку этого плана ушел 1918 год — последний год жизни профессора Гриневецкого, его он изложил в работе «Послевоенные перспективы русской про-

мышленности». Ничего подобного в русской экономической литературе до тех пор не существовало. Из нее коммунисты лишь впервые узнали, какие конкретные технико-экономические задачи должны быть поставлены в порядок дня. Она послужила основой для написания плана «Электрификации России» - знаменитого плана ГОЭРЛО.



В.И. Гриневецкий с сотрудниками
лаборатории ДВС



Русское издание Гуго Гюльднера

Парадокс состоял в том, что, с презрением относясь к большевистским вождям и их действиям, Гриневецкий среди них, по словам Троцкого, «сделался вроде пророка, учителя планирования». Главная идея его работы, нашедшая отражение в плане ГОЭЛРО, состоит в том, что основным направлением энергетики ближайшего будущего станет развитие районных станций, работающих на малоценном, зато дешевом топливе. Затем дороговизна топлива сделает рентабельной постройку гидроэлектростанций: на реках Свирь, Мета, Волхов, Днепровских порогах, реках Кавказа. Гриневецкий дает расчет мощности таких станций на 6–10 лет, который поразительным образом совпадает с тем, что было заложено, потом в плане ГОЭЛРО и реализовано.

ВЕЛИКИЙ ИНЖЕНЕР В.Г. ШУХОВ И ЕГО ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ

Владимир Григорьевич Шухов окончил императорское московское техническое училище в 1875 году. Будучи студентом, он изобрел форсунку для сжигания мазута, с помощью которой топливо поступает в камеру сгорания двигателя в мелкодисперсном состоянии и под

большим давлением. В.Г. Шухов внес большой вклад в развитие инженерной мысли и промышленности России.

В энергетической отрасли основные его изобретения - это крекинг-процесс перегонки нефти и изобретение нового типа пароводяных котлов. Разработки в этих направлениях намного опередили время, они были существенно эффективнее и надежнее.

Крекинг представляет собой перегонку нефти под воздействием высокой температуры и высокого давления. При этом нефть разлагается на фракции - бензин, лигроин, керосин, дизельное топливо и мазут. До 1891 г. в мире не существовало промышленной установки для перегонки нефти. Работы Шухова по разработке крекинг-процесса опередили аналогичные разработки в США более чем на 20 лет. В первую очередь эти установки были предназначены для получения дополнительных запасов керосина, который тогда был основным продуктом, получаемым из сырой нефти. В Баку из 1 т добываемой нефти получали около 330 л керосина, остальные две трети составляли так называемые мазуты, которые практически не использовались и сливались в отходы. Установки В.Г. Шухова позволяли извлекать из мазутов более легкий керосин. Крекинг-процесс, появившийся благодаря созданию приборов перегонки нефти, по сути, опередил свое время. Крекинг-установка промышленных размеров не была построена. В начале 1890-х гг. двигатели внутреннего сгорания, работавшие на бензине, были редкостью, поскольку бензин считался побочным продуктом. Автомобиль Даймлера-Бенца был еще не опробованным новшеством, а до изобретения самолета братьями Райт оставалось целых десять лет... Словом, об идее крекинга и возможности создания промышленной установки по способу В.Г. Шухова надолго забыли.

Между тем автомобили, во множестве появившиеся в начале XX в., требовали огромного количества бензина. В 1912 г. американский инженер Уильям Мериам Бартон зарегистрировал патент на крекинг-процесс. Его идея была аналогична изобретению В.Г. Шухова, запатентованному на 20 лет раньше. Первенство Бартон начали оспаривать другие изобретатели. Принадлежавшая Джону Дэвисону Рокфеллеру «StandardOil» монополизировала право на производство бензина по патенту У. Бартон и запретила другим (более мелким) компаниям использовать крекинг-процесс.

В 1923 г. комиссия из инженеров-химиков составила делегацию, которая посетила Москву, чтобы познакомиться с В.Г. Шуховым и оценить его изобретение. Американцы убедились в том, что проект У. Бартон представляет собой всего лишь несколько измененный вариант промышленной установки В.Г. Шухова для крекинга нефти. После серии судебных процессов, состоявшихся в США, было подтверждено первенство русского инженера в изобретении крекинг-установки.



Первый выборный Ректор МГТУ им. Н.Э.
Баумана - профессор А.П. Гавриленко



В.Г. Шухов

«Синклер Ойл» предлагала В.Г. Шухову немалые деньги за предоставление права пользоваться его установкой, но он отказался, заявив, что все права на изобретение принадлежат его родине. Такой оборот дела не устроил американских бизнесменов, поскольку вплоть до 1934 г. правительство США не признавало СССР как государство. Объединившись, компании Синклера и Рокфеллера вступили в так называемый патентный клуб по использованию крекинг-установки В.Г. Шухова. В Америке началось замалчивание его изобретения.

В 1932 г. в Баку был пущен в эксплуатацию завод «Советский крекинг». В.Г. Шухову было к тому времени уже 79 лет. Тем не менее, он прибыл на торжественное открытие завода, поскольку не мог оставаться в стороне от реализации своего раннего изобретения. В первый месяц работы «Советского крекинга» Шухов внимательно следил за ходом производства. Сегодня крекинг является одной из стадий глубокой переработки нефти, и начало этой сложной цепочки было положено В.Г. Шуховым.

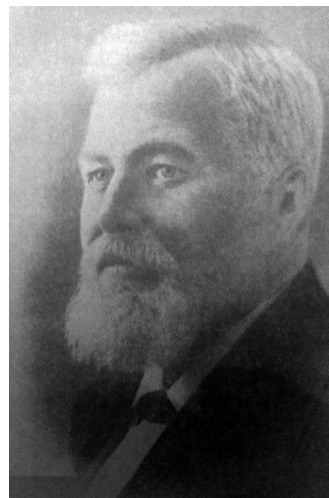
Исключительно велик вклад Шухова в развитие котлостроения. Котлы, построенные по его проектам, быстро получили распространение по всей стране благодаря эффективности, надежности и удобству эксплуатации.

Успехи Шухова в котлостроении основаны на теплотехнической школе ИМТУ. Труды преподавателей Г.Ф. Делпа, имя которого упоминалось в связи с именем Рудольфа Дизеля; Александром Павловичем Гавриленко, который руководил кафедрой «Технологии металлов», а затем стал первым избранным директором МГТУ им. Н.Э.Баумана (тогда МТУ); Карла Васильевича Кирша, который известен как основатель и главный руководитель Московской школы теплотехников; Петра Кондратьевича Худякова, одного из корифеев ИМТУ, «короля сопромата», автора первого «Атласа конструктивных чертежей деталей машин», по

которому учились многие поколения студентов; уже известного вам В.И. Гриневецкого, создали русскую школу в области котельной техники, отличительной особенностью которой является глубокое изучение протекающих в ней процессов.



К.В. Кириш – студент ИМТУ



П.К. Худяков

ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА, ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

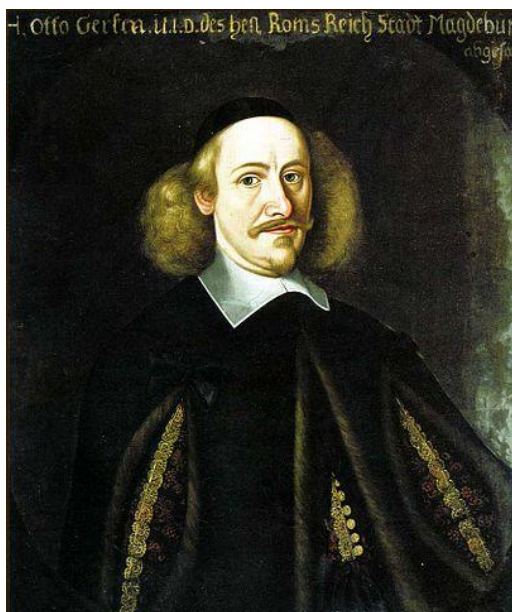
Вакуумная техника имеет дело с физическими и химическими процессами в газах при давлениях ниже атмосферного. Истории понятия о вакууме (лат. «пустота») более 2200 тысяч лет. Отцом вакуумной техники и пневматики считается греческий изобретатель Ктезибий, живший в Александрии. Древнегреческий философ Демокрит одним из «начал мира» выбрал пустоту. Позднее Аристотель вводит понятие эфира - неосязаемой среды, способной передавать давление. В этот период знания о свойствах разреженного газа еще отсутствовали, но вакуум уже широко использовался в водоподъемных и пневматических устройствах. В 1211 году Уставом Парижского Собора заниматься «пустотой» (священным понятием) было разрешено только теологам. Одним из главных постулатов теологии был: «Природа боится Пустоты».

В 1640 году Галилео Галилей, занятый проектированием колодцев во Флоренции определил «Силу боязни Пустоты», показав, что она составляет 10 метров водяного столба или 1 кг на см².

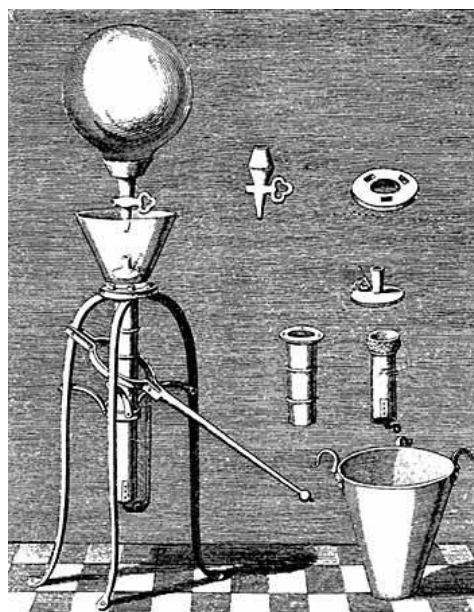
В 1643 году Эвангелисто Торичелли, ученик Галилея измерил эту силу, показав, что она уравнивается столбом ртути высотой 760 мм. Пространство под поверхностью ртути было названо «Торичеллевой пустотой», т.к. его считали абсолютно пустым. Сейчас мы знаем, что это пространство заполнено парами ртути с давлением около 1 мм.рт.ст. Позже единица давления в 1 мм.рт.ст была названа тором в честь Торичелли.

В 1648 году Блез Паскаль предположил, что “Сила боязни Пустоты” была, атмосферным давлением. Он попросил своего свояка Флорена Перье повторить эксперимент с трубкой сначала у подножья горы Пюи де Дом, а затем на вершине, который в 1648 г. в присутствии горожан г. Клермона и показал разницу уровней столба ртути 82,5 мм для высоты 1,5 км. Паскаль был первым, кто доказал, что атмосферные газы создают давление. В честь этого открытия современная единица давления названа Паскалем ($1 \text{ Па} = 0,0076 \text{ тор}$).

В 1650 году Отто фон Герике, мэр города Магдебурга, сконструировавший воздушный насос с водяным уплотнением, осуществил свои знаменитые эксперименты с “Магдебургскими полушариями”.



Отто фон Герике



Усовершенствованный насос Герике

В 1825 г. французский химик Жан Батист Дюма, получил низкое давление путем конденсации паров воды в закрытом объеме.

В 1835 г. немецкий химик Роберт Бунзен, получил вакуум с использованием струи жидкости.

Изобретение в 1873 г. Александром Николаевичем Лодыгиным электрической лампы накаливания явилось первым толчком для использования и развития вакуумной техники.

В 1883 г. Томас Эдисон изобрел первую приемно-усилительную лампу, использующая принцип термоэмиссии. В 1887 г. Русский ученый Александр Григорьевич Столетов и немецкий физик Генрих Рудольф Герц открыли явление фотоэлектронной эмиссии. Эти три выдающиеся технические открытия заложили техническую и экономическую основу для бурного развития вакуумных технологий.

В 1884 году итальянец Артуро Малиньяни впервые использовал сорбент (фосфор) для улучшения вакуума в электрической лампе.

В 1904 году шотландец Джеймс Дюар впервые использовал активированный уголь, охлажденный жидким азотом для сорбции (откачки) газов.

В 1906 году немецкий физик Вольфганг Геде изобрел вращательный ртутный, а затем вращательный масляный насосы. Пять лет позже он изобрел молекулярный насос.



Джеймс Дюар



Ирвинг Ленгмюр

В 1914 – 1916 гг. диффузионный (парортутный) насос был одновременно изобретен в трех странах, разделенных границами Первой Мировой войны: в России, в Германии (Геде) и в США (Ирвинг Ленгмюр). В 1928 году Чарли Берч изобрел паромасляный диффузионный насос, в котором ртуть была заменена маслом.

Фундаментальные основы вакуумной техники созданы в начале XX века работами Сола Дэшмана (Россия-США), Ленгмюра (США), Кэмпбелла (Англия), Мартина Ганса Христиана Кнудсена (Дания), а также русскими учеными – академиком Абрамом Федоровичем Иоффе и профессором МГУ Сергеем Анатольевичем Богуславским.

В 1913 г. Акционерное общество «Я.М. Айваз» в Санкт-Петербурге приобрело патент немецкого инженера Вильгельма Эдуарда Вебера на изготовление электрических ламп накаливания с прочной вольфрамовой нитью и начало строительство нового корпуса для их выпуска, и в 1914 г. была выпущена первая электрическая лампочка. На лампе отмаркирован товарный знак «Светлана» (СВЕТовые Лампы НАкаливания). К началу первой мировой вой-

ны завод «Айваз» - одно из крупнейших предприятий Петербурга с численностью 6000 человек.

В 1914 г. в радиолaborатории Нижнего Новгорода Михаилом Александровичем Бонч-Бруевичем основано производство вакуумных электронных ламп.

С 1921 года начал работать Электrolамповый завод в Москве.

В 1928 г. Завод «Светлана» и Ленинградский электровакуумный завод объединены под общим названием «Электровакуумный завод «Светлана». Разработка новых изделий поручена заводской исследовательской лаборатории, возглавляемой Сергеем Аркадьевичем Векшинским.

Вакуумные технологии в электротехнике

Области науки и техники, которые относятся к электротехнике, кроме электротехнической промышленности непосредственно, связаны с химической и металлургической промышленностью, электроникой и радиоэлектроникой, электротехническими установками, использующими электромагнитные явления, относящимися к установкам для электронной промышленности и к научному оборудованию. С другой стороны, получение, передача и использование электрической энергии непосредственно связано с энергетикой.

Вакуумная техника используется преимущественно в таких разделах электротехники, как электрические аппараты высокого напряжения, электротехническое оборудование специального назначения (термоядерные установки, ускорители), электротехнология: электрооборудование транспорта, светотехника и инфракрасная техника. В электротехнологию включают вакуумную металлургию, вакуумное напыление, вакуумные электропечи, электросварочное оборудование, вакуумную пайку. В аппаратах высокого напряжения используются вакуумные выключатели, вакуумные дугогасительные камеры, вакуумные коммутационные устройства. В электротехнической промышленности вакуумная техника находит применение в сушильных и пропиточных установках для производства трансформаторов, конденсаторов, кабелей.

Вакуумные системы электрофизических установок

К электрофизическим установкам относятся электронные и ионные ускорители, ускорительно-накопительные комплексы, столкновители, термоядерные реакторы и другие системы, предназначенные для фундаментальных и прикладных исследований строения материи, физико-технических основ энергетики, физики плазмы и пр. Так, например, ускорители используются для исследования свойств элементарных частиц в лучевой терапии, дефектоскопии, термоядерные реакторы – для исследований возможности получения управляемой

термоядерной реакции. При создании электрофизических установок определяющим фактором являются вакуумные условия. Так, фоновое давление в термоядерных реакторах с магнитным удержанием плазмы не должно превышать 10^{-8} – 10^{-6} Па при объеме камер 300–800 м³ и площади стенок до 1000 м². Быстрота действия сверхвысоковакуумных откачных систем превосходит 104 м³/с. Требуемое остаточное давление в накопителях и столкновителях составляет 10^{-9} – 10^{-7} Па при очень малой, около 50–80 мм, апертуре вакуумных камер, их протяженности в сотни и тысячи метров и интенсивном газовыделении со стенок. Жесткие ограничения накладываются на парциальный состав газовой среды. Она не должна содержать углеводородов и компонент с большим атомным номером.

Вакуумные установки для имитации условий космического пространства

Космический вакуум – разреженная космическая газообразная материя - оказывает разнообразные воздействия на материалы, узлы и блоки бортовых научных приборов, находящихся вне гермоотсеков космических летательных аппаратов. Так как эти приборы представляют собой очень сложные оптико-механические, электрические и электронные устройства, даже знание детальных вакуумных характеристик составных частей не позволяет на современном этапе заранее предсказать те или иные особенности их поведения в космическом полете. Поэтому единственным приемлемым на сегодняшний день способом их подготовки к полетам являются тщательные предполетные исследования и испытания в специальных наземных установках, моделирующих воздействия космического вакуума.

Вакуумные технологии в металлургии

Развитие практически всех отраслей металлургической промышленности связано с интенсивным использованием вакуумной техники. В металлургии – печей и средств внепечной обработки в технологических процессах, обеспечивающих выплавку высокочистых металлов и сплавов. В порошковой металлургии вакуумная технология находит применение для спекания твердых сплавов, постоянных магнитов и пр. Вакуумные процессы электроннолучевой и термодиффузионной сварки позволяют получать неразъемные соединения приборов, деталей конструкций машин и сооружений в ядерной, автомобильной, электронной и других отраслях промышленности.

Вакуумные технологии в химии, нефтехимии и химическом машиностроении

В химической промышленности применение вакуумных технологий позволяет осуществлять дегазацию изоляционных масел и синтетических материалов; дистилляцию фармацевтических продуктов и консервирующих веществ для пищевых продуктов; адсорбцион-

ную очистку нефтепродуктов; сублимационную сушку пищевых продуктов, медицинских препаратов и прочих.

Вакуумные технологии также широко применяются в энергетике, для авиационной техники, для работы с радиоактивными материалами, в приборостроении, в угледобывающей и горнорудной промышленности и т. д.

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ХОЛОДА

Уже к 400 году до нашей эры персидские инженеры освоили круглогодичную технику хранения льда и продовольствия в пустынных регионах. Якчал, что переводится с персидского как ледяная яма, по сути представляли собой самый первый холодильник человечества. Как правило, такие сооружения имели наземную куполовидную часть и подземные складские помещения. Общий объем Якчала мог достигать 5000 м³. Стены были сделаны из песка, глины, яиц, козлиной шерсти, извести и золы. Лед для Якчалов заготавливался и свозился зимой с окрестных гор. Данную технологическую новинку с удовольствием переняли и другие народы.



Якчал



Бадгир

Нередко для транспортировки льда персы использовали свои традиционные подземные гидротехнические системы, именуемые *кяриз* (или *канат*).

Кяриз были также частью первых систем вентиляции и кондиционирования воздуха Персии, и этот архитектурный элемент называется *Бадгир* (фарси — ветролов). Бадгир представляет собой массивную башню, поднимающуюся от самых нижних помещений здания высоко над его крышей. На арабском языке такое сооружение звучит как *Malqaf*, их использовали и в Древнем Египте, самое древнее изображение Бадгира датировано 1600 годом до нашей эры (эпоха Нового Царства). Бадгир разделен, как правило, на четыре вертикальных воздушных канала, выходящих на все четыре стороны света. Эти каналы соответственно погоде и направлениям ветров могут по необходимости открываться и закрываться, регули-

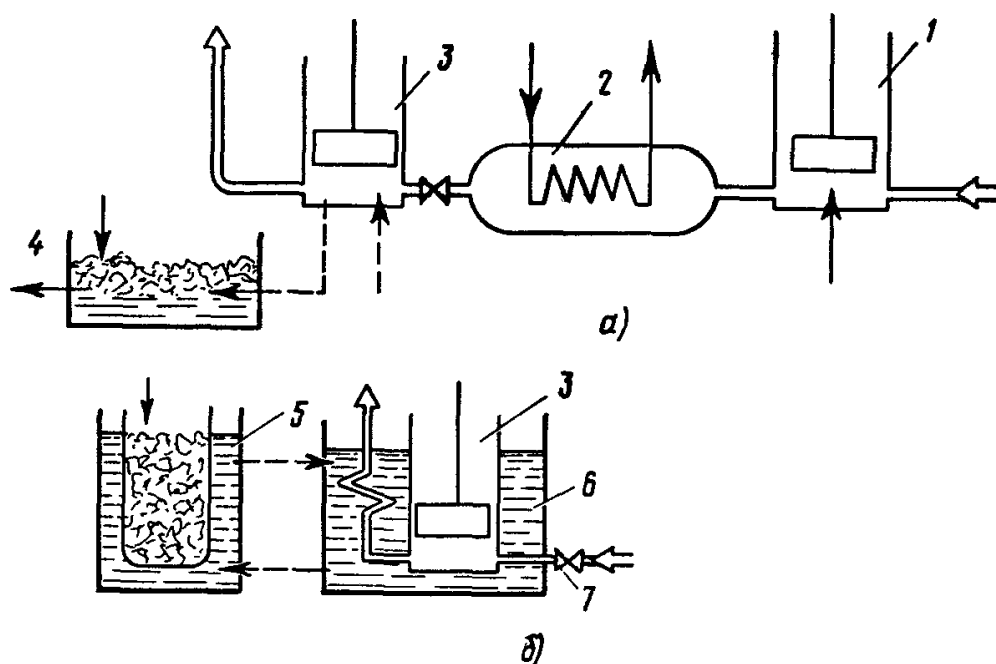
руя, воздушные потоки внутри здания. Бадгиры также сооружаются над холодильными помещениями и подземными водохранилищами. Благодаря технологиям испарения и охлаждения, комбинациям давления внутри каналов башни, они способны даже в летние месяцы поддерживать низкие температуры, близкие к точке замерзания воды. Во многих странах Бадгир используется в архитектуре по сей день.

История развития холодильной техники в различных отраслях промышленности

Само название «рефрижератор» (от лат. охлаждаю) предложено в 1800 г. Томасом Муром. Первую действующую абсорбционную холодильную машину сконструировал профессор математики и физики из Эдинбурга сэр Джон Лэсли в 1810 г. Аппарат состоял из двух соединенных трубкой стеклянных сосудов — один с серной кислотой, другой — с водой. Воздух из первого сосуда предварительно откачивался ручным вакуумным насосом. Открывая вентиль соединительной трубки, получали резкое поглощение кислотой паров воды и замерзание воды. Производительность составляла 6 фунтов льда в час.

Первую компрессионную холодильную машину сконструировал в 1834 г. американский изобретатель и ученый Якоб Перкинс, получивший патент на «Аппарат для производства холода и охлаждения жидкостей». Машина в качестве холодильного агента использовала этиловый эфир. Идея машины принадлежала Оливеру Эвансу, и существовала еще с 1805 года Перкинс, имея опыт проектирования паровых машин, разработал проект парокомпрессионной холодильной машины, которую уже после его смерти Александр Твининг создал в металле. В 1850 г. Твининг получил патент на такую машину и установил ледоделку в Кливленде.

В 1844 г. американский врач шотландского происхождения Джон Горри, используя патент Перкинса, построил первую холодильную машину для охлаждения воздуха для больных. Горри вначале лишь продувал воздух надестественным льдом, но он не захотел быть привязанным к поставкам льда. Ему удалось изобрести машину компрессорного типа и 6 мая 1851 года он получает патент на изобретение «Улучшенный процесс для производства искусственного льда» (JohnGorrie. Improved process for the artificial production of ice. US8080A. May 6, 1851). Сбор средств для производства холодильных машин шел плохо из-за антирекламы поставщиков натурального природного льда. Горри заболел и вскоре умер в забвении в 1855 году, так и не начав производство своей машины.



⇒ –воздух; → –вода; – – → –рассол

Принципиальная схема «льдоделательной машины Дж. Горри:

а – первый вариант; б – второй вариант холодной части; 1 – компрессор; 2 – охладитель сжатого воздуха; 3 – детандер; 4 – ванна для непосредственного намораживания льда рассолом; 5 – ванна для замораживания воды в сосуде; 6- ванна с рассолом, охлаждаемая погруженным в нее детандером; 7 – вентиль

В 1874 г. Рауль Пикте создает холодильную машину на сернистом ангидриде, затем основывает компанию и выставляет на всемирной выставке в 1878 г. свой аппарат. Машины Пикте широко использовались в пивоварнях. Аналогичные машины строили Quiri&Co в Страсбурге и A.Borsig в Берлине. Первую углекислотную холодильную машину, производящую лед, применявшуюся для охлаждения мяса крупного рогатого скота доставлявшегося из Техаса в Нью-Йорк (британский патент № 952), создал в 1866 г. Тадеуш Лав в США. Линде создает углекислотную машину в 1881 г. для предприятия Круппа в Эссене.

Фердинанд Карре 27 июня 1857 г. взял во Франции патент на компрессионную холодильную машину на Карре устанавливает в 1857 г. Машину в южной Франции на заводе по производству соли, где она использовалась для получения сернокислого натрия (глауберовой соли) из морской воды. На пивоваренном предприятии в 1859 г. Также Эдмон Карре разрабатывал абсорбционные машины и устанавливал их в парижских кафе для производства льда и мороженого.

В 1864 г. Чарльз Теллер показал на выставке в Париже холодильную машину на метиловом эфире и производил на своей фабрике в Атойле под Парижем достаточно совершенные машины с принудительной смазкой. Теллер в труде «Аммиак в промышленности», изданной в 1867 г., указал на необходимость применения аммиака в качестве холодильного

агента. Теллером была сконструирована и первая линия для охлаждения пива, установленная в 1869 г. на пивоварнях в Новом Орлеане.

Наибольший вклад в практическое применение холодильной техники внес уже известный вам по истории дизельного двигателя Карл фон Линде. Благодаря блестящему образованию, выдающимся многочисленным исследованиям и трудам, которые не остались только теоретическими, Линде стал одним из самых коммерчески успешных изобретателей XIX века. Линде создал большое число как холодильных машин, так и исследований по криогенным аппаратам и ожижению газов, заложив основы современной криогенной техники. Многочисленные исследования и продажи холодильных машин позволяют считать Карла фон Линде, скончавшегося 16 ноября 1934 г. в возрасте 92 лет, самым лучшим холодильщиком в мире. К 1913 г. компания Линде продала 8 400 холодильных машин для 5020 предприятий по всему миру!

История развития холодильной техники на транспорте

Транспортировка в вагонах с ледяным охлаждением в США как эксперимент началась в 1842 г. на Западной железной дороге Массачусетса. Северная железная дорога Нью-Йорка в 1851 г. испытала первый вагон-ледник, в 1857 г. начались организованные доставки говядины из Чикаго. В 1868 г. Вильям Дэвидс разрабатывает и патентует вагон с ледосоляным охлаждением. С 1885 г. перевозки ягод из Норфолка (Вирджиния) в Нью-Йорк стали регулярными. В 1887 Parker Earle совместно с F.A. Thomas открыл первую компанию по рефрижераторной перевозке. К 1888 г. компания имела 60 вагонов, а к 1891 г. уже 600. В 1888 г. Armour&Co. поставяет говядину из Чикаго во Флориду и фрукты назад в вагонах, охлаждаемых холодильной машиной, работающей на этилхлориде (рис. 4). Российские вагоны с ледосоляным охлаждением появились в 1860 году. В Японии первые перевозки вагонами-рефрижераторами с ледяными танками начались в 1908 г.

Большое значение в США придавали производству льда, в том числе для вагонов-холодильников: уже в 1868 г. в Сан-Франциско Джоном Битом построена фабрика льда. В 1869 г. были созданы фабрики по производству искусственного льда в Луизиане, Техасе и Теннесси, их число к 1889 г. достигло 222, к 1919 г. – 2687, а к 1926 г. уже 6300 с производством 56 млн тонн льда. Первая фабрика льда в Европе была открыта Линде в 1880 г.

Джеймс Харрисон, шотландский журналист с техническим образованием, переехал в Сидней и заинтересовался новым в то время бизнесом – поставками мяса из Австралии в Великобританию, которая в связи с увеличившимся количеством населения вынуждена была ввозить все большее количество продовольствия из колоний. Для перевозки мясо должно быть замороженным. Для получения прибыли за один переход надо было перевозить много

мяса, но чтобы его перевезти, надо было иметь на корабле очень много льда, сколько ни один корабль тогда перевезти не мог. А вот если генерировать лед прямо на корабле по мере необходимости тогда это стало бы реальным. Уже в 1851 г. начинается эксплуатация первой машины. Первую коммерческую машину установили в 1854 г. Машина проработала 30 лет и сохранилась до нашего времени. Харрисон совместно с Евгением Домиником Николе, конструировавший компрессоры, и предпринимателем Томасом Сатклифом Муром, построил в Сиднее первый холодильник в мире для замораживания мяса в 1861 г. После шестимесячного эксперимента по заморозке мяса, Харрисон, вместо того, чтобы поместить установку на корабль, принимает решение загрузить корабль замороженным мясом, соорудив на корабле ледник с запасами льда. По прибытию в Лондон мясо испортилось из-за того, что лед стал расходоваться слишком быстро и его не хватило. В 1876 г. французским инженером-изобретателем Шарлем Телье впервые успешно был применен «машинный» холод на пароходе «Фригори-фик» для перевозки охлажденного мяса из Буэнос-Айреса в Руан. В 1877 г. пароход «Парагвай», оборудованный абсорбционной холодильной установкой, доставил замороженное мясо из Южной Америки в Гавр, причем мясо было заморожено на этом же судне в специальных камерах.

Удачная попытка перевозки мяса ягненка и баранины из Австралии произошла позднее, в 1880 году, когда корабль Мурта с холодильной установкой на борту добрался до Англии, и 34 тонны мяса прибыли из Сиднея в замороженном виде. Ножку ягненка преподнесли самой королеве Виктории. С тех пор мясо в Великобритании стало доступным даже для самых бедных слоев городского населения.

Первое рефрижераторное судно в России – несамоходная баржа с воздушной холодильной машиной – была построена в 1888 г. и – предназначалась для перевозки 170 т рыбы из Астрахани вверх по Волге. К 1930 г. мировой морской рефрижераторный флот состоял уже из 1100 судов общей грузоподъемностью 1,5 млн. условных тонн.

В 1852 году Джеймс Прескотт Джоуль совместно с Уильямом Томсоном обнаруживает эффект изменения температуры газа при адиабатическом дросселировании, известный как *эффект Джоуля – Томсона*, ставший впоследствии одним из основных методов получения сверхнизких температур, тем самым поспособствовав появлению физики низких температур как отрасли.

Первую судовую машину, работающую на углекислом газе, установила компания J.&E. Hall в 1890 г. на пароходе Highland Chief. В 1892 г. Линде оснастил углекислотной холодильной машиной пивоварню Гиннеса в Дублине.

История развития холодильной техники в быту

К середине XIX в. многие семьи США каждое утро получали свежий лед для своих «холодильников». Само название «холодильник» (англ. «refrigerator») было впервые предложено в 1800 г. инженером Томасом Муром. Корпус его «холодильника» был из кедра, обшитый внутри свинцом или оловом и имевший два изолированных с помощью опилок или сушеных водорослей отсека: один — для охлаждаемых продуктов, другой — для льда, заменяемого по мере необходимости. В XIX в. такие устройства называли «айс-боксами» (ледяными ящиками). Устройство было снабжено сборником талой воды, который необходимо было каждый день опорожнять.

Холодильник, предназначенный для домашнего использования, впервые появился в 1910 г. в Форт Уэйн, США. Это был еще не полноценный холодильник, а механическая приставка к «айс-боксу», монтировавшаяся на его верхней части. Стоил он более 1000 \$, в два раза дороже автомобиля.

Только в 1914 г. электрический холодильник стал предметом домашнего обихода. Проблема в такой задержке была в компрессоре. Компрессор — устройство, которое сжимало газ в жидкость для поглощения тепла, — был изобретен давно и использовался в больших рефрижераторных установках (гастрономов, складов, железнодорожных вагонов и судовых рефрижераторах) еще в конце XIX века. В 1914 году инженер Натаниэль Уэльс (Nathaniel B. Wales), работавший с предпринимателями Эдмундом Копландом (Edmund Copeland) и Арнольдом Госсом (Arnold Goss), наконец-то догадался, как встроить его в прибор бытовых размеров. Разработка продавалась под маркой Kelvinator (в честь лорда Кельвина).

Затем этой идеей заинтересовался американский предприниматель Уильям КрапоДюрант (William C. Durant), известный в первую очередь тем, что основал автомобильные компании General Motors и Chevrolet. Дюрант организовал серийное производство бытовых холодильников.

В начале XX века домашних холодильников уже насчитывалось несколько десятков тысяч, но пока они оставались предметами роскоши. Первым в 1893 году оснастил компрессионный холодильник электроприводом Элайя Томсон.

Большинство известных нам заводов по производству холодильных машин возникло в XIX веке. Это, например, датская фирма Sabroe, возникшая в 1897 г. Основатель будущей фирмы «Сабро» Томас Томассен Сабро и его компаньон Карл Готтлиб вначале установили привезенный из Германии компрессор для датской маслодельни «Риберхус». Он был выполнен по патенту Линде. Германская AEG (Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft- Объединенное

электротехническое общество) создала домашний холодильник в 1911 г., и серийное производство началось в 1912 г.



Реклама холодильника
Kelvinator, США



Холодильник фирмы Sabroe,
Дания, 1926

Машина французского учителя физики Марселя Одифрена из Грасса, конструкция которой была разработана еще в 1894 г. стала первой автоматической холодильной машиной. Одифрен создал свою компанию American Audiffren Refrigerating Machine Company. Домашний холодильник «Одифрен», созданный в 1910 г. и названный в честь своего создателя, выпускался серийно фирмой «Дженерал Электрик».

Домашний холодильник представлял собой внушительный шкаф с верхним расположением агрегата, начиненный ядовитым хладагентом, снабженный шумным компрессором и скорее похожий на сейф, чем на холодильник. Изоляция была пробковой толщиной 140 мм, корпус деревянным. Холодильник оборудовался надежным компрессором и не имел клапанов, был практически автономным и неприхотливым в эксплуатации.

В Японии первые холодильники стали изготавливать в 1926 г. OsakaKinzokuCo., Ltd (будущий Daikin). «Тошиба» основана в 1899 г., а производство кондиционеров Toshiba началось в 1930 г., когда компания разработала первый в Японии герметичный компрессор для холодильного оборудования.

Первый холодильник по «американскому» типу был выпущен на рынок в 1953 г. под торговой маркой «Kelvinator FOODARAMA refrigerator». Слева в нем располагалась морозильная камера, справа — холодильная.



Реклама «Kelvinator FOODARAMA refrigerator», 1955 г.

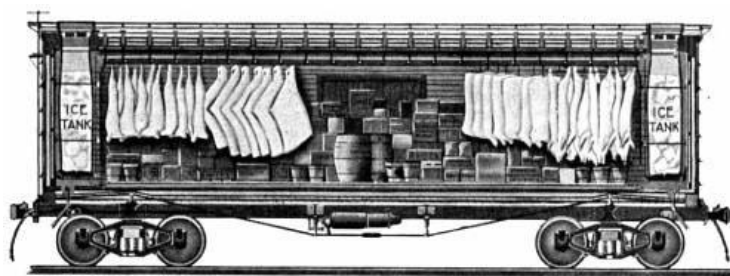
В 1922 г. шведские ученые Королевского технологического института Платен и Мюнтерс представили разработанный абсорбционный домашний холодильник, вскоре Electrolux выпустила серийную модель; началось производство встраиваемых в кухонную мебель компрессионных холодильников, Servel производил такие холодильники по лицензии с 1927 г. В 1926 г. Альберт Эйнштейн так заинтересовался домашними абсорбционными холодильниками, что разработал одну из конструкций и в 1930 г. даже получил патент. К 1925 г. домашних холодильников уже производилось 64 тыс. штук в год.

Холодильное дело в России

В России первыми покупателями бытовых холодильников стали члены царской семьи, домашний холодильник был установлен в Зимнем дворце.

Грандиозные ледники для приготовления рыбных продуктов по берегам Дона и Азовского моря называют холодильниками. Первые российские железнодорожные перевозки охлажденных продуктов датированы 1860 г. Серийное производство вагонов-ледников для обеспечения поставок сибирского масла на экспорт началось в 1898 г.

В 1913 г. профессор Давид Николаевич Головин посетил шведские и норвежские предприятия, опыт, приобретенный им, положил начало перевозкам скоропортящихся продуктов из Средней Азии. Вагоны предназначались в основном для поставки масла из Сибири в Петербург для экспорта в Европу, товар в вагонах транспортировался на протяжении 12 дней.



Вагон-ледник

Наиболее известные и многочисленные отечественные холодильные машины строили на предприятии «Акционерное общество машиностроительного завода Франц Круль в Ревеле». В 1865 г. Франц Круль открыл медницкую мастерскую в Нарве, затем в 1899 г. перенес производство в Таллин (Ревель). По патентам Линде и других известных изобретателей завод производил холодильные машины для всех отраслей. Часть завода «Круль» в 1917 г. эвакуировалась на подмосковную железнодорожную станцию Симоново, рядом с заводом «Котлоаппарат».

Одну из первых установок, выпущенных заводом в 1923 г., получил по традиции пивоваренный завод в Трехгорке. Затем в том же году в павильоне «Мясохладобойни» на первой Всесоюзной сельскохозяйственной выставке смонтировали комплексную холодильную установку на 46,5 кВт. Заключив в 1927 г. договор с немецкой «Манн Ридингер», завод «Котлоаппарат» стал выпускать более совершенные лицензионные машины. В 1931 г. предприятие стало называться Московский завод холодильного машиностроения «Компрессор» и перешло на выпуск продукции по собственным разработкам.

На заводе «Компрессор» начал свой путь Генеральный конструктор стартовых и технических комплексов для боевой и космической ракетной техники Владимир Павлович Бармин. Выпускник Московского механико-машиностроительного института (МГТУ им. Н.Э. Баумана), за 10 лет работы на заводе «Компрессор» В.П. Бармин прошел путь от инженера-конструктора до главного конструктора. Под его руководством был разработан ряд мощных воздушных компрессоров серии для угольной промышленности, первый отечественный тормозной компрессор для электровозов, первый отечественный вертикальный углекислотный компрессор для морских судов, углекислотный компрессор для холодильной установки Мавзолея В.И. Ленина, передвижной компрессор высокого давления для авиации.

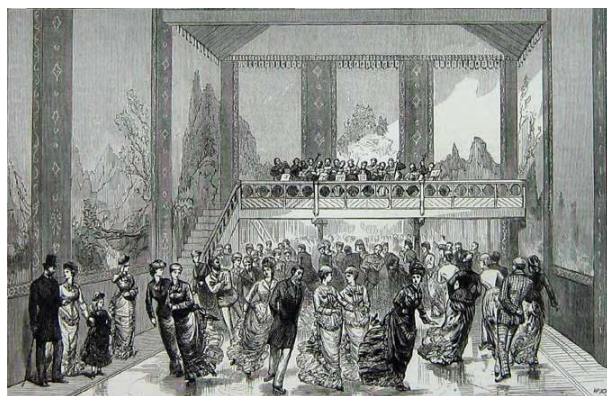


1927 г. В.П. Бармин – студент МММИ

История развития холодильной техники в спорте

Первый каток с искусственным льдом был построен Джоном Гэмджи (John Gamgee) в Челси в 1876 г. В Женеве на углекислотной машине производства Пиктэ был создан каток уже больших размеров. В 1879 г. в Нью-Йорке размер катка достиг 864 кв. м (половина хоккейной площадки), в 1881 г. аммиачный каток во Франкфурте — 532 кв. м, в 1899 г. в Лионе — 600 кв. м. В 1908 г. в Берлине построили Eispalast (букв. "ледовый дворец", что стало нарицательным для всех крупных катков), на холодильной машине фирмы «Борзиг», которую основал в Берлине Иоганн Фридрих Август Борзиг. Нужно отметить, что фирма Борзиг производила паровозы, паровые трактора, трамваи.

В 1910 г. ледовый дворец появился в Страсбурге — даже с трибунами на 6000 зрителей. В 1909 г. в Вене создали искусственный каток уже под открытым небом. Компания J.&E. Hall в 1910 г. установила холодильную машину в Национальном ледовом дворце в Лондоне.



Ледовый каток с искусственным льдом,
Лондон, 1876 г.



Ледовый дворец, Берлин, 1908 г.

В настоящее время технологии холодильной области позволяют делать огромные крытые искусственные катки. Крытое помещение дворца «Айсберг» в Олимпийском парке Сочи отличается огромной центральной установкой кондиционирования воздуха, позволяя создать комфортные условия для зрителей, подавая теплый воздух на трибуны, и поддерживать необходимую температуру для льда, подавая на лед охлажденный воздух.



Дворец зимнего спорта «Айсберг», Сочи

В мире существует около 30 крытых круглогодичных горнолыжных комплексов: в Европе, в Арабских Эмиратах, в Новой Зеландии, в Южной Корее. СНЕЖ.КОМ – первый в России всесезонный горнолыжный комплекс. СНЕЖ.КОМ – это уникальная возможность отдохнуть по-зимнему в любое время года. К услугам посетителей не только горнолыжный спуск, но и каток, развлекательно-оздоровительный комплекс. Традиционно для открытых склонов искусственный снег изготавливается методом распыления воды. В СНЕЖ.КОМе используется другая технология – технология производства снега айс-крэш (ice-crash) путем размора тонких пластин льда до мелкой фракции снега в специальных холодильных машинах (льдогенераторах) общей производительностью 90 т. снега в сутки. После размора снег по пластиковым трубам пневматически транспортируется на склон. Температура холодного пола под снегом от минус 3 до минус 5 градусов по Цельсию. На склоне, независимо от внешней температуры, поддерживается постоянный климат. Температура всегда от минус 5 до минус 7 градусов по Цельсию. Второй важный момент – влажность. Чтобы климат внутри комплекса был приятным, альпийским, здесь постоянно работают 56 охладителей, одновременно являющихся и осушителями воздуха. Ежечасно они перекачивают до 10 тысяч кубов воздуха. Их задачи:

- доставка свежего воздуха в помещение склон;

- охлаждение его летом и подогрев зимой, если температура воздуха вне склона меньше минус 10 градусов;
- вывод из помещения холодного отработанного воздуха;
- рекуперативный обмен энергиями между входящим теплым воздухом и выходящим холодным воздухом с целью экономии затрат на охлаждение свежего воздуха в летний период.



Здание СНЕЖ.КОМ



Искусственная горнолыжная трасса
СНЕЖ.КОМ

Трудно перечислить все области применения холодильной техники, предлагаю всем, кого заинтересует эта область, самостоятельно изучить обширный круг литературы по этому вопросу, в первую очередь книгу профессора МЭИ Бродянского В.М.: От твердой воды до жидкого гелия.

ПРОБЛЕМЫ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В XXI ВЕКЕ

Продолжительное время отечественный топливно-энергетический комплекс использовал *невозобновляемые* энергоносители преимущественно *нефтяного происхождения*. Однако в последние годы наметилась тенденция к снижению роли нефти и нефтепродуктов в российской экономике. При существующем уровне научно-технического прогресса энергопотребление может быть покрыто лишь за счет использования органических топлив (уголь, нефть, газ), гидроэнергии и атомной энергии на основе тепловых нейтронов. Однако, по результатам многочисленных исследований органическое топливо к 2020 г. может удовлетворить запросы мировой энергетики только частично. Остальная часть энергопотребности может быть удовлетворена за счет других источников энергии – *нетрадиционных и возобновляемых*.

Невозобновляемые источники энергии – это природные запасы веществ и материалов, которые могут быть использованы человеком для производства энергии. Примером могут служить ядерное топливо, уголь, нефть, газ. Энергия невозобновляемых источников в отли-

чие от возобновляемых находится в природе в связанном состоянии и высвобождается в результате целенаправленных действий человека.

Возобновляемые источники энергии– это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии (табл. 1). Возобновляемая энергия не является следствием целенаправленной деятельности человека, и это является ее отличительным признаком. К нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии относятся: солнечная, ветровая, геотермальная, энергия морских волн, приливов и океана, энергия биомассы, древесины, древесного угля, торфа, тяглового скота, сланцев, битуминозных песчаников и гидроэнергия больших и малых водотоков.

Таблица 1. Возобновляемые источники получения электроэнергии

Источники первичной энергии	Естественное преобразование энергии	Техническое преобразование энергии	Вторичная потребляемая энергия
Земля	Геотермальное тепло Земли	Геотермальная электростанция	Электричество
Солнце	Испарение атмосферных осадков	Гидроэлектростанции	
	Движение атмосферного воздуха	Ветроэнергетические установки	
	Морские течения	Морские электростанции	
	Движение волн	Волновые электростанции	
	Таяние льдов	Ледниковые электростанции	
	Фотосинтез	Электростанция на биомассе	
		Фотоэлектричество	
Луна	Приливы и отливы	Приливные электростанции	

Запасы и динамика потребления энергоресурсов. Потенциальные возможности нетрадиционных и возобновляемых источников энергии составляют, млрд. тонн условного топлива (т.у.т.) в год: энергии Солнца – 2300; энергии ветра – 26,7; энергии биомассы – 10; тепла Земли – 40000; энергии малых рек – 360; энергии морей и океанов – 30; энергии вторичных низкопотенциальных источников тепла – 530. Разведанные запасы местных месторождений угля, нефти и газа в России составляют 8,7 млрд. т.у.т., торфа – 10 млрд. т.у.т.

Основные объекты нетрадиционной энергетики России. Доля возобновляемой энергетики в производстве электроэнергии составила в 2002 г. около 0,5% от общего производства

или 4,2 млрд. кВт·ч., а объем замещения органического топлива – около 1% от общего потребления первичной энергии или около 10 млн. т.у.т. в год.

Возобновляемая энергия, использование которой имеет экономический смысл, составляет 270 млн. тонн условного топлива (млн. т.у.т.) в год:

- 115 млн. т.у.т./год геотермальной энергии;
- 65,2 млн. т.у.т./год малых гидроустановок;
- 35 млн. т.у.т./год биомассы;
- 12,5 млн. т.у.т./год солнечной энергии;
- 10 млн. т.у.т./год энергии ветра;
- 36 млн. т.у.т./год низкопотенциального тепла.

Направления дальнейшего развития энергетических установок с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) во многом зависят от перспектив использования в них различных энергоносителей. В качестве сырьевой базы для получения перспективных топлив для ДВС могут использоваться как *невозобновляемые* источники энергии – полезные ископаемые, так и *возобновляемые ресурсы* – растительные масла, биомасса, древесина, сельскохозяйственные и бытовые отходы и др.

Классификация нетрадиционных видов топлив. Среди *нетрадиционных топлив*, применение которых возможно в ДВС, выделяют *нефтяные топлива* и топлива, производимые из *альтернативных источников энергии*. Нефтяные и альтернативные топлива условно разделяют на *три группы*. К *первой группе* можно отнести смесевые топлива, содержащие нефтяные топлива с добавками (спиртами, эфирами и др.). Смесевые топлива по эксплуатационным свойствам, как правило, *близки к традиционным нефтяным топливам*. *Вторая группа* включает синтетические жидкие топлива, *приближающиеся по свойствам к традиционным нефтяным топливам*. Эти топлива получают при переработке твердых, жидких или газообразных полезных ископаемых (угля, горючих сланцев, природного газа и газовых конденсатов и т.д.). *Третью группу* составляют топлива (спирты, эфиры, газообразные топлива), *существенно отличающиеся по физико-химическим свойствам от традиционных нефтяных топлив*.

Сжиженные нефтяные газы. Первое место в мире по потреблению на транспорте среди альтернативных топлив занимают сжиженные нефтяные газы (пропан-бутановые смеси), получаемые при переработке попутного нефтяного газа. В США автомобили, работающие на этом виде топлива (около 400 тыс.), составляют около 90 % парка газобаллонных автомобилей. Сжиженные пропан и бутан стали конкурентоспособными с автомобильным бензином и число автомобилей в мире, работающих на этом виде топлива превысило 20 млн. В

России сжиженные нефтяные газы также являются наиболее распространенным видом альтернативного топлива. Предполагается расширение их использования. Так, за период 1995-2010 гг. ожидается увеличение потребления сжиженных нефтяных газов на транспорте с 4,7 до 10,2 млн. тонн. Следует отметить и более низкую себестоимость производства этого вида топлива в России по сравнению с традиционными моторными топливами – бензинами.

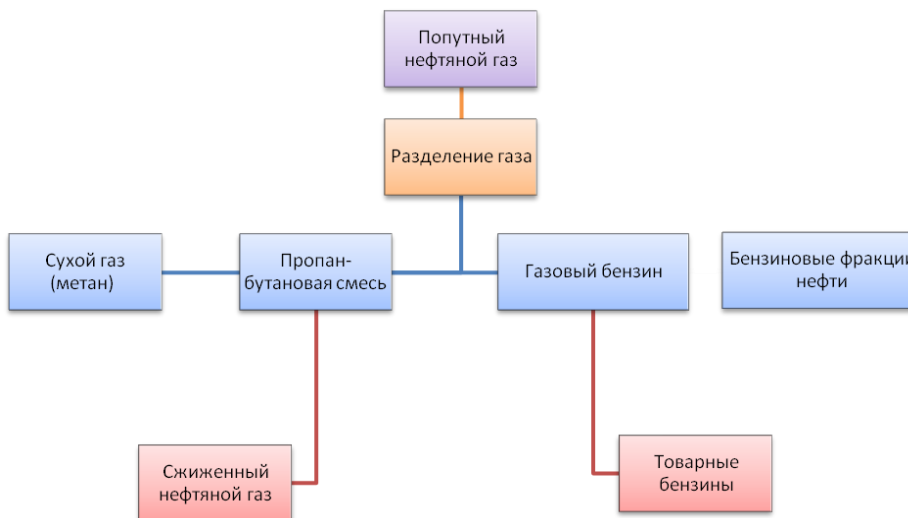


Схема переработки попутного нефтяного газа

Природный газ. Одним из наиболее перспективных энергоносителей на транспорте является природный газ.

Первая возможность использования природного газа – выработка с его помощью электроэнергии в качестве *энергоносителя для электромобилей*, работающих на электричестве от аккумуляторных батарей, размещенных на борту транспортного средства. Использование электромобилей кардинально решает проблему снижения токсичности двигателей. Однако электроэнергия как вид энергоносителя для транспорта имеет ряд существенных недостатков: ограниченный запас хода электромобиля, отсутствие развитой сети зарядки аккумуляторных батарей, большое время их зарядки, высокая стоимость энергоемких аккумуляторных батарей, ограниченный срок их службы. В качестве наиболее распространенного источника энергии в электромобиле рассматривается *свинцово-кислотные батареи*, являющиеся наиболее дешевым типом батарей. Стандартный комплект свинцово-кислотных аккумуляторов для электромобиля средней массы имеет стоимость 3 тыс. долл. США, запас хода без подзарядки около 150 км, средний ресурс работы 3 года. Интерес к электромобилю в начале XXI века вызван развитием технологий хранения электроэнергии, обеспечивающих увеличение срока работы батарей аккумуляторов между подзарядками, сокращение времени самой подзарядки, увеличение срока службы аккумуляторов.

Вторая возможность применения природного газа на транспорте является его использование в сжатом и сжиженном видах. В 2003 году мировой парк автомобилей, работающих на сжатом (компримированном) природном газе составил около 3 млн. единиц. В 2010 г. потребление в России сжиженного природного газа в качестве топлива для автомобилей составило 2,0 млн. тонн в год.

Третьим направлением использования природного газа является синтезирование из него жидких топлив, близких по своим свойствам к традиционным моторным топливам. Одной из возможностей является окисление природного газа в присутствии катализатора в синтез-газ (содержит монооксид углерода CO и водород H₂). Из 1 м³ синтез-газа получают 120-180 г жидких углеводородов. Смешивание этих углеводородов между собой и с продуктами переработки нефти позволяет получить моторные топлива с заданными физико-химическими свойствами. За рубежом производство синтетических моторных топлив из природного газа освоено в промышленном масштабе.

В настоящее время производство синтетических топлив из природного газа дороже нефтяных. Но в перспективе цены этих топлив будут постепенно выравниваться. В 2010 г. потребление синтетических топлив из газа в России составило 0,5 млн. тонн в год. В качестве перспективных альтернативных топлив, получаемых из природного газа, рассматриваются также метиловый спирт (метанол), этиловый спирт (этанол) и диметиловый эфир. Однако пока цена этих продуктов превосходит цену традиционных моторных топлив.

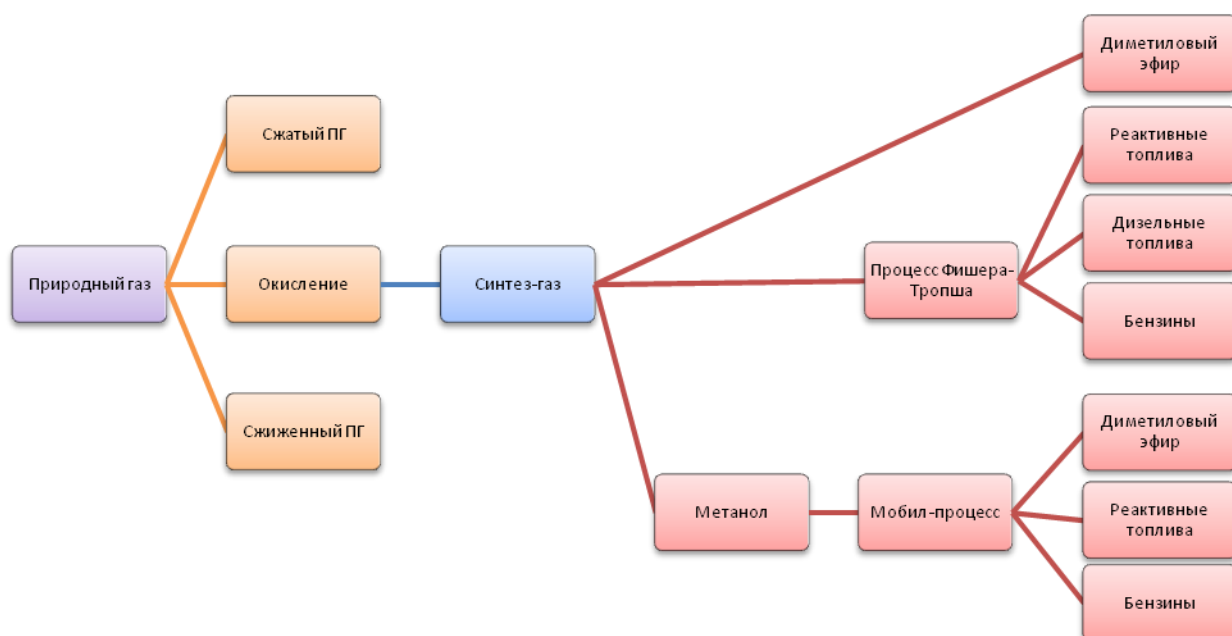


Схема получения топлив из природного газа (ПГ)

Газовые конденсаты. Реальным резервом моторных топлив, особенно для локального использования, являются газовые конденсаты. Газовый конденсат представляет собой смесь

углеводородов, конденсирующихся при добыче *природного и попутного нефтяного газов*. На некоторых месторождениях содержание газового конденсата достигает 0,5 м³ на 1 м³ газа. Добыча газовых конденсатов в России с каждым годом увеличивается. Газовый конденсат относительно дешев и по составу близок к моторным топливам, поэтому он широко используется в местах добычи нефти и газа в качестве топлива для двигателей стационарных установок, автомобилей и тракторов. Однако широкое применение газового конденсата на транспорте сдерживается неэффективностью сбора, а также транспортировки по трубопроводам из районов месторождений, что обусловлено значительным содержанием в его составе нормальных парафинов, застывающих при высоких температурах.

Уголь. Наиболее вероятным сырьем для производства моторных топлив для транспорта в ближайшей перспективе является *уголь*. Достоверные мировые запасы угля составляют 16 трлн. тонн, из них 4 трлн. тонн – доступные рентабельные запасы. При современном уровне добычи угля этих запасов хватит на 200-250 лет.

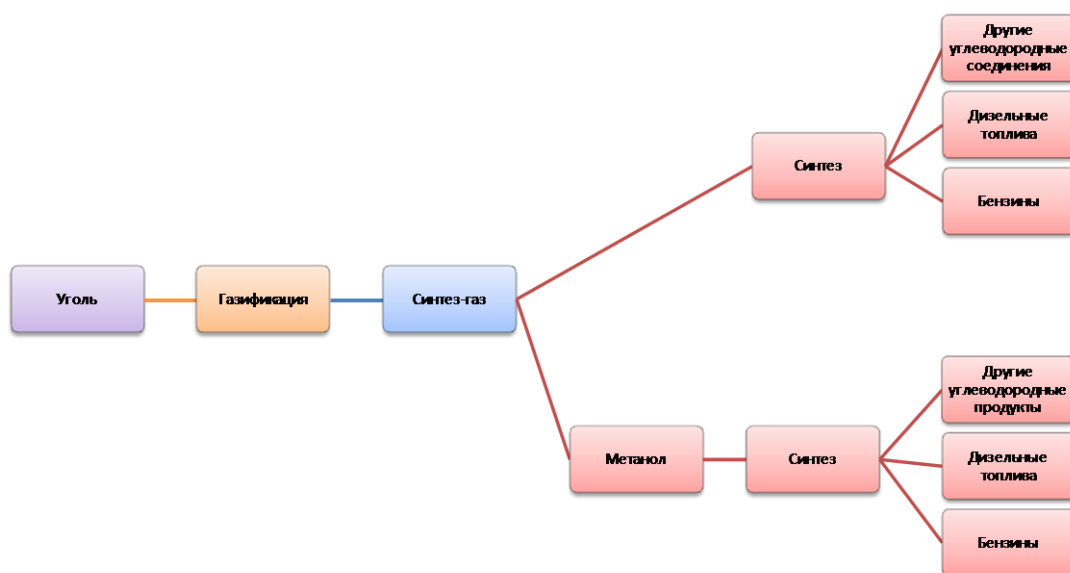


Схема синтезирования топлива из угля

Первая возможность использования угля в качестве энергоносителя на транспорте - сжигание с последующим использованием полученной *электроэнергии в электромобилях*.

Второй способ – использование в качестве топлива для дизелей *смеси угольной пыли и дизельного топлива*.

Третий и наиболее перспективный вариант – производство *синтетических моторных топлив из угля*. Такие топлива можно получить либо прямым синтезом из продукта газификации угля – синтез-газа, либо через промежуточное получение метанола (рис. 13). Пока производство моторных топлив из угля в 1,7-3 раза дороже, чем из нефти, поэтому в России

этот вид топлив пока не используется. Однако синтезирование дешевых углей на их месте добычи может стать относительно рентабельным уже в ближайшем будущем.

Природные смолы. Вероятным сырьем для производства моторных топлив являются *природные смолы* (битумы и тяжелые нефти), содержащиеся в полутвердом и твердом состоянии в горючих сланцах и нефтеносных (битуминозных) песках. Синтетические моторные топлива получают путем термического разложения сланцев с выделением сланцевой смолы, выход которой составляет 18-20% массы исходного сырья. В настоящее время производство синтетических топлив из горючих сланцев, хотя и дешевле, чем из угля, но уступает по себестоимости производству традиционных нефтяных топлив. Прогнозируемые мировые запасы горючих сланцев оцениваются в 26 трлн. тонн, а их достоверные рентабельные запасы – около 460 млрд. тонн. При этом потенциал жидких углеводородов, содержащихся в битуминозных песках, составляет 270-500 млрд. тонн.

Биомасса. Кроме рассмотренных первичных топливно-энергетических ресурсов для производства моторных топлив могут быть использованы так называемые вторичные ресурсы – газы, получаемые при переработки нефти, природного и попутного нефтяного газов, коксовый, доменный и генераторный газы, и *биомасса* (древесина, водоросли, отходы сельскохозяйственного производства и др.). Наиболее значимыми из них являются биомасса и продукты ее переработки. При этом в отличие от других перечисленных выше энергетических ресурсов *биомасса является возобновляемым источником энергии*. Ежегодно в мире образуется 170-200 млрд. тонн растительной биомассы (в пересчете на сухую массу), что энергетически эквивалентно 70-80 млрд. тонн нефти, а используется лишь небольшая ее часть.

При современном уровне развития техники имеется возможность дополнительного использования биомассы (еще около 2,5-5%) для производства моторного топлива, что эквивалентно 2-4 млрд. тонн нефти или 3-6 млрд. тонн угля ежегодно. Из 1 кг сырья синтезируют 120-150 г жидких углеводородов – компонентов моторных топлив. Таким же образом получают газообразные углеводороды – *олефины*, используемые для нужд органического синтеза. Эти ^{легкие} углеводороды могут быть использованы и в качестве добавок к стандартным дизельным топливам. Кроме того, биомасса является сырьем для производства спиртов (этанола, метанола и др.), которые применяются в качестве самостоятельных топлив для ДВС или для получения синтетических моторных топлив. В 2010 г. потребление топлива из биомассы в России составило 4,8 млн. тонн условного топлива или 2,3% от общего потребления моторных топлив.

Растительные масла. Перспективны в качестве моторных топлив растительные масла: подсолнечное, рапсовое, хлопковое, соевое, льняное, пальмовое, арахисовое, сурепное и

некоторые другие. Их можно использовать в исходном виде или после специальной химической обработки (облагораживания), а также в смеси с нефтяными топливами или спиртами. В Европе расширяется применение на транспорте топлив из рапсового масла и продуктов его химической переработки: метилового эфира и метилового спирта. В Германии в 1998 г. было произведено 100 тыс. тонн биодизельного топлива (метилвый эфир рапсового масла), а в 2000 г. его производство составило уже около 200 тыс. тонн.

В настоящее время стоимость растительных масел и топлив на их основе соизмерима со стоимостью нефтяных дизельных топлив. Поэтому применение таких топлив в ряде случаев становится экономически выгодным, особенно в тех странах, где растительные масла имеются в избытке.

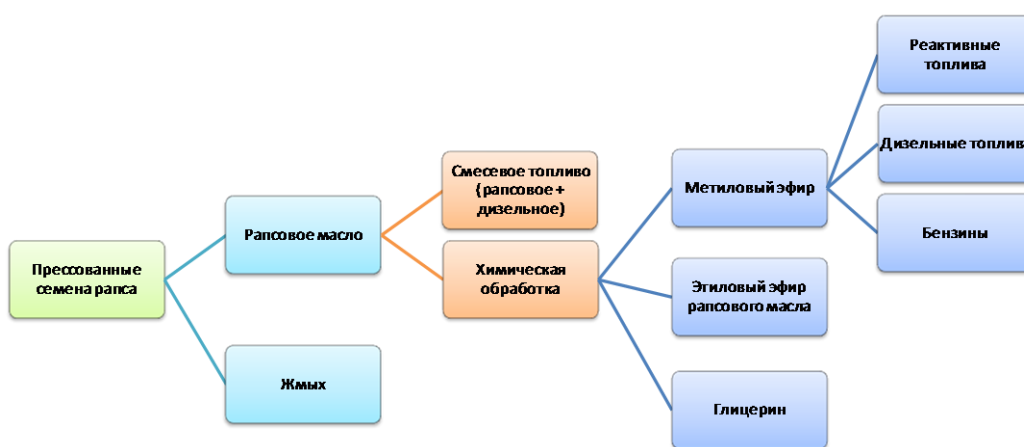


Схема переработки семян рапса и производства рапсового масла

Водород. Среди альтернативных энергоносителей для транспорта следует особенно отметить *водород*, а также *водородсодержащие топлива (синтез-газ – $H_2 + CO$)*. Водород обладает чрезвычайно высокой энергоемкостью (теплотворной способностью почти в три раза большей, чем у традиционных нефтяных топлив) и уникальными экологическими качествами. Основной проблемой применения чистого водорода является отсутствие инфраструктуры его производства в необходимых для транспорта количествах, сложности хранения, транспортировки и заправки автомобилей. Водород (синтез-газ) может быть получен в конвертере непосредственно на борту автомобиля из метанола или другого энергоносителя. Однако, себестоимость получения водорода частичным окислением углеводородных топлив, гидрированием угля, электролизом воды и другими способами в пересчете на единицу получаемой энергии в 2-10 раз выше себестоимости получения традиционных жидких топлив или природного газа. Получение синтез-газа из метанола на борту автомобиля за счет использо-

вания теплоты отработавших газов пока также дороже использования нефтяных моторных топлив. Поэтому в ближайшей перспективе использование этого энергоносителя на транспорте проблематично.

Топливные элементы. В последнее время большой интерес вызывает использование на автомобилях *топливных элементов* – устройств, генерирующих электроэнергию непосредственно на борту транспортного средства за счет *процесса, обратного пиролизу*. При этом в процессе реакции водорода и кислорода образуется вода и вырабатывается электрический ток, используемый для привода колес автомобиля. В качестве водородсодержащего топлива, как правило, используется либо сжатый водород, либо метанол. Преимуществами топливных элементов является их высокий КПД, низкий уровень шума, близкий к нулевому, уровень выбросов вредных веществ, возможность использования возобновляемых энергетических ресурсов. Однако, существуют и серьезные недостатки: неконкурентоспособная с ДВС себестоимость топливно-элементных систем, недостаточная долговечность, большое время подготовки к работе, отсутствие инфраструктуры получения, хранения и распределения водорода или метанола и др. Причем, эти проблемы настолько серьезны, что не дают оснований на перспективы массового внедрения этих силовых установок на транспорте в ближайшие десять – пятнадцать лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечисленные в учебном пособии вопросы развития энергетической техники далеко не полностью охватывают вопросы, которыми занимаются специалисты – «энергетики». Все, что касается вопросов преобразования энергии, является областью интересов инженеров – специалистов в энергетической отрасли. Ядерная энергетика, энергетика плазмы, энергетика возобновляемых источников энергии и традиционных – угля, нефти и газа, биоэнергетика – это те области, в которых вы можете найти себя, если свяжете свою дальнейшую судьбу с областью энергетического машиностроения. Специалисты факультета «Энергомашиностроение» всегда помогут вам определиться, и когда, вы вступите в ряды студентов, то станут вашими наставниками, а в дальнейшем и коллегами по самой важнейшей отрасли промышленности для любой страны.

ЛИТЕРАТУРА

Научная

1. *Пригожин И., Кондепуди Д.* Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / Пер. с англ. Ю.А. Данилова и В.В. Белого. М.: Мир, 2002. 461 с.

2. *Кавтарадзе Р.З.* Теория поршневых двигателей. Специальные главы: Учебник для вузов. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008. 720 с.
3. Развитие и распространение дизелей в России. К 100-летию русской привилегии Г.В. Тринклера на дизельный двигатель / Ю.И. Матвеев, Е.И. Андрусенко. Н. Новгород: ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2010. 166 с.
4. *Бойко Е.А., Охорзина Т.И., Шишмарев П.В., Подборский Л.Н.* Котельные установки и парогенераторы: Учебное пособие. Красноярск СФУ, 2008. 66 с.
5. *Демихов К.Е., Никулин Н.К., Калинин Д.А.* Теоретические основы вакуумной техники: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 64 с.
6. *Burch C.R.* Oils, greases and high vacua // *Nature* 122 (3080): 729. (1928). [Электронный ресурс] Режим доступа. doi:10.1038/122729c0.
7. Работа дизелей на нетрадиционных топливах: Учебное пособие / В.А. Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов и др. М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. 464 с.
8. *Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г.* Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. М.: Изд-во МГАУ им. В. П. Горячкина, 2007. 340 с.

Научно-популярная

1. Гринивецкий Василий Игнатьевич (К 100-летию специальности «Двигатели внутреннего сгорания»). «Наука и образование»: Электронное научно-техническое издание, № 1, 2007. [Электронный ресурс] Режим доступа. <http://technomag.edu.ru/doc/63327.html>.
2. 125 Years of Linde. A Chronicle. LindeAG, 2004. 92 p. [Электронный ресурс] Режим доступа. [http://www.the-linde-group.com/internet.global.thelindegroupp.global/en/images/chronicle_e\[1\]14_9855.pdf](http://www.the-linde-group.com/internet.global.thelindegroupp.global/en/images/chronicle_e[1]14_9855.pdf)
3. *Журавлев С.* Двести электриков и один мечтатель. Эксперт, № 30-31 (764), 2011. [Электронный ресурс] Режим доступа. <http://expert.ru/expert/2011/30/dvesti-elektrikov-i-odin-mechtatel/>
4. Научные школы Московского государственного технического университета имени Н.Э.Баумана. История развития / Под ред. И.Б.Федорова, К.С. Колесникова. М. Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. 464 с.
5. *Рыжов К.В.* 100 великих изобретений. М.: Вече, 2000. 528 с.
6. *Борисов В.П.* Вакуум: от натурфилософии до диффузионного насоса // РАН. Ин-т истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова / Науч. ред. В. Н. Кеменов. М.: НПК «Интелвак», 2001. 144 с.
7. Главные события истории ОАО «Светлана» [Электронный ресурс]. Режим доступа. <http://www.svetlanajsc.ru/index.php/ru/about/history>

8. К 100-летию академика В.П. Бармина – Генерального конструктора стартовых и технических комплексов для боевой и космической ракетной техники // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. 2009. № 1.
9. *Гиндикин С.Г.* Рассказы о физиках и математиках. 3-е изд., М.: МЦНМО, 2001. 448 с. [Электронный ресурс] Режим доступа. <http://www.mccme.ru/free-books/gindikin/contes.pdf>
10. *Roaf S.* Air-conditioning avoidance: lessons from the windcatchers of Iran // International Conference “Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment”, May 2005, Santorini, Greece. P. 1053-1057.
11. *Бродянский В.М.* От твердой воды до жидкого гелия. История холода. М.: Энергоатомиздат, 1995. 336 с.
12. *Ашкинази Л.А.* Вакуум для науки и техники. М.: Наука, 1987. 128 с. (Сер. Библиотечка «Квант»).