



# Основы электроэнергетики: история развития, понятия, определения

Электричество, ток, напряжение, мощность, электроэнергия

Электроустановки, элементы электроэнергетических систем

Электрические станции

Электрические сети

Электроэнергетическая система

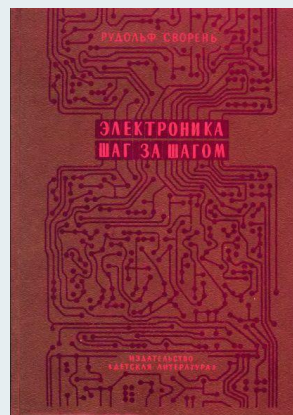


- Электричество и его проявления
- Основные понятия электротехники (переменный и постоянный ток, напряжение, индукция, емкость, активная и реактивная мощность, сопротивление, изоляция)
- Потребители электроэнергии (источники света, электропривод, электротехнологии)
- Источники электроэнергии (гальванические элементы, генераторы постоянного и переменного тока)
- Средства передачи электроэнергии (провода и кабели)
- Электрические сети (линии электропередачи, подстанции)
- Электроэнергетические системы (определения, первые энергосистемы промышленного типа, план ГоэлРО, ЕЭС России, электроэнергетическая система и рынки электроэнергии, мощности мощности).

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО и ЕГО ПРОЯВЛЕНИЯ

Терминология дается по ГОСТ Р 52002-2003

Популярная литература:





- Все живые существа на Земле потребляют энергию для своего существования и деятельности. Точно так же обстоит дело со всеми действующими техническими устройствами и системами
- Энергия в понимании обычного человека проявляется как ТЕПЛО (выделение и поглощение энергии в химических реакциях, например, при сжигании топлива), ХОЛОД (в холодильных термодинамических циклах), МЕХАНИЧЕСКАЯ энергия (пружина, движущееся тело, падающая вода), ЯДЕРНАЯ энергия, **ЭЛЕКТРИЧЕСТВО**



Ш. Кулон  
1736 - 1806



А. Вольта  
1745 - 1827



К.Ф. Гаусс  
1777 - 1855



Г. Ом  
1787 - 1854



М. Фарадей  
1791 - 1867



Э.Х. Ленц  
1804 - 1865

Знаменитые ученые, внесшие наибольший вклад в развитие электротехники (см. Приложение к Презентации)



Преимущества электроэнергии:

**Производство** (в основном, преобразование механической энергии в электрическую) – разнообразие используемых ресурсов, возможность концентрации мощностей и управления их размещением;

**Передача** – возможность надежной и экономичной передачи электроэнергии на большие расстояния;

**Распределение** - простота распределения электроэнергии между потребителями независимо от их мощности;

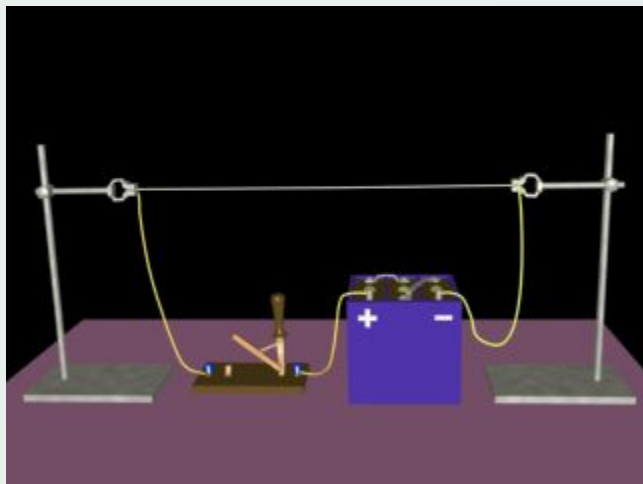
**Потребление** – простота и экономичность преобразования электроэнергии в другие виды энергии.



- Мы не можем видеть, что происходит в металлическом проводнике, в растворе электролита, в газе. О наличии электричества мы можем судить лишь по различным явлениям, которые в них возникают.
- Такие явления называют действиями электрического тока. Некоторые из этих действий легко наблюдать на опыте.

*Тепловое действие* тока можно наблюдать, например, присоединив к полюсам источника тока железную или никелиновую проволоку.

Проволока нагревается и, удлинившись поэтому, слегка провисает. Её даже можно раскалить докрасна. В электрических лампах накаливания, например, тонкая вольфрамовая проволочка накаливается током до яркого свечения.

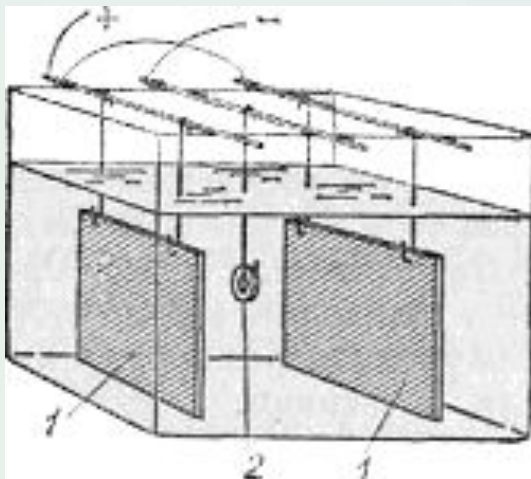


# Химическое действие электрического тока

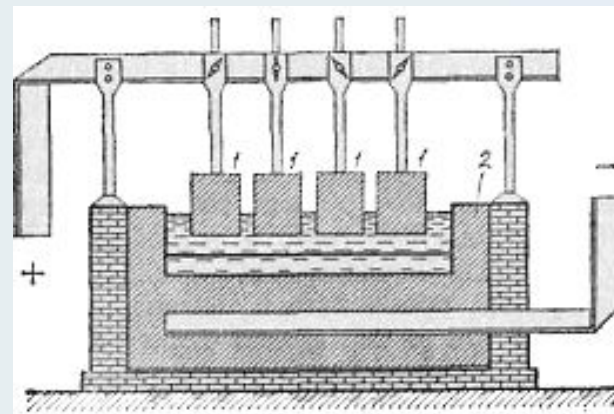


- *Химическое действие* тока состоит в том, что в некоторых растворах кислот (солей, щелочей) при прохождении через них электрического тока наблюдается выделение веществ, содержащихся в растворе, которые откладываются на электродах, опущенных в этот раствор.
- Например, при пропускании тока через раствор медного купороса ( $\text{CuSO}_4$ ) на отрицательно заряженном электроде выделится чистая медь ( $\text{Cu}$ ). Этим пользуются для получения чистых металлов
- Химическое действие электрического тока применяют в гальванопластике (например, при никелировании), в аккумуляторных батареях, при электролизе алюминия и пр.

Электролитическое никелирование: 1 — никелевые аноды, 2 — никелируемый предмет, служащий катодом



Получение металлического алюминия электролизом расплавленных бокситов, содержащих окись алюминия: 1 — угольные аноды, 2 — дно и стенки угольной ванны, служащие катодом

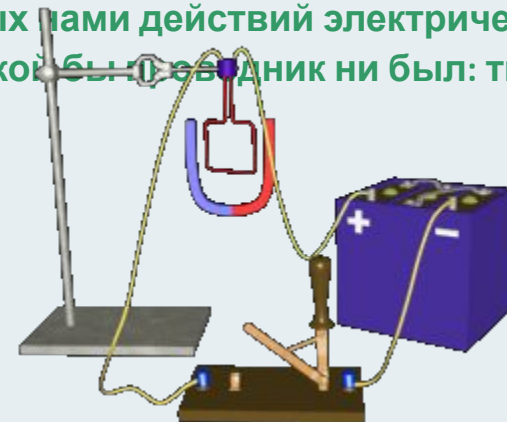
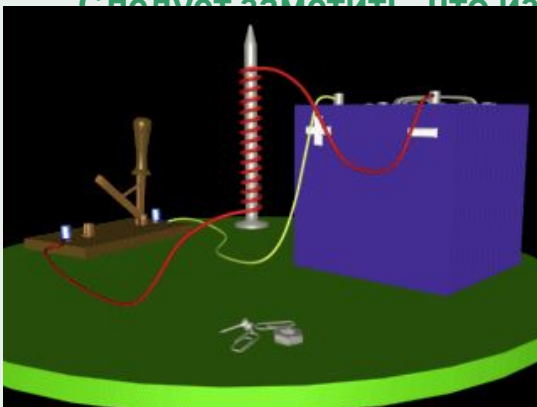


# Электромагнитное действие электрического тока

- *Электромагнитное действие* тока также можно наблюдать на опыте. Для этого медный провод, покрытый изоляционным материалом, нужно намотать на железный гвоздь, а концы провода соединить с источником тока. Когда цепь замкнута, гвоздь становится магнитом (намагничивается) и притягивает небольшие железные предметы: гвоздики, железные стружки, опилки. С исчезновением тока в обмотке (при размыкании цепи) гвоздь размагничивается.
- Рассмотрим теперь взаимодействие между проводником с током и магнитом. На рисунке изображена висящая на нитях небольшая рамочка, на которую навито несколько витков тонкой медной проволоки. Концы обмотки присоединены к полюсам источника тока. Следовательно, в обмотке существует эл. ток, но рамка висит неподвижно. Если эту рамку поместить теперь между полюсами магнита, то она станет поворачиваться.

Явление взаимодействия катушки с током и магнита используют в устройстве приборов, измеряющих электрические величины. Стрелка прибора связана с подвижной катушкой, находящейся в магнитном поле. Когда в катушке существует электрический ток, стрелка отклоняется. Таким образом можно судить о наличии тока в цепи.

Следует заметить, что из всех рассмотренных нами действий электрического тока наблюдается всегда, какой бы проводник ни был: твёрдый, жидкий, газообразный.







«Тот факт, что у некоторых тел после их натирания появляется способность притягивать другие тела, был известен ещё в древности. В наше время обнаружено множество других разнообразных явлений и установлено, что они связаны с этими явлениями притяжения. Все они были отнесены к классу *Электрических явлений*, названных по имени янтаря - ἤλεκτρον (электрон) – вещества, для которого впервые было дано их описание.

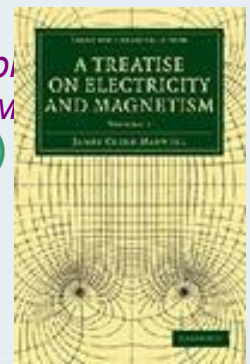
Давно известно также, что феномен действия на расстоянии проявляют и другие тела, в частности, магнитный железняк или куски железа и стали, подвергнутые определенной обработке. Оказалось, что эти явления вместе с другими им родственными явлениями отличаются от электрических; они были отнесены к классу явлений *Магнитных*, поскольку в фессальской магнезии был обнаружен магнитный железняк - μαγνήτις (магнес).

В дальнейшем было установлено, что явления этих двух классов тесно связаны между собой, и эти связи между различными явлениями электричества и магнетизма, насколько их удалось выявить, составили основу учения об электромагнетизме».



Джеймс Кларк Максвелл (1831-1879 гг.) – основоположник (вместе с Майклом Фарадеем) современной теории электромагнетизма

Джеймс Кларк Максвелл  
Трактат об электричестве и магнетизме



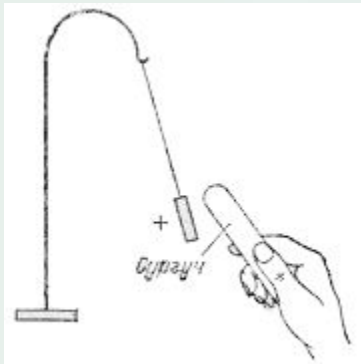


- Первое представление об электричестве человек получает при расчесывании волос (разделение положительных и отрицательных зарядов и разряды, проявляющиеся в потрескиваниях и слабом свечении в темноте)
- Наиболее яркое и привычное восприятие проявления электричества у большинства людей связано с природными явлениями – молниями.
- Накопление статического электричества в грозовых облаках при взаимодействии мощных разнонаправленных воздушных потоков вызывает разряды длиной в несколько сотен и тысяч метров напряжением в миллионы вольт с токами в сотни тысяч и миллионы ампер.

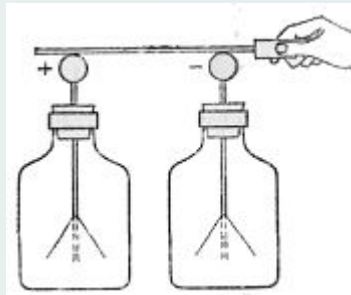
Древние греки называли янтарь **электрон**. Он приобретает электрический заряд при трении о шерсть

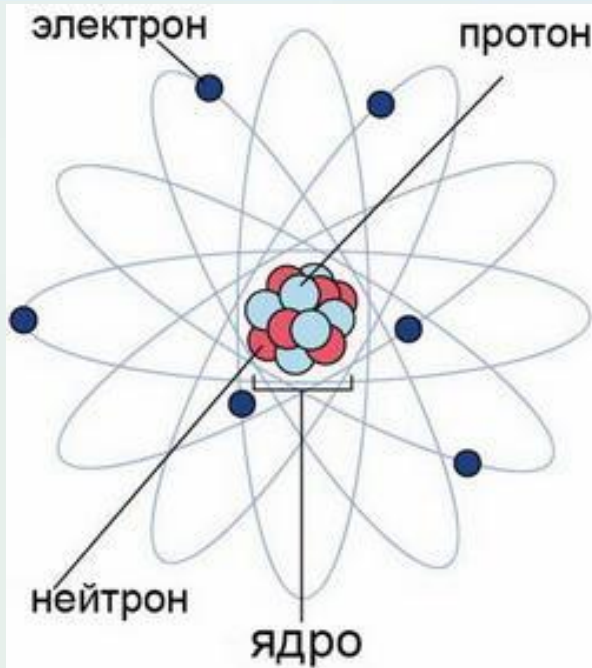


Бумажная гильза, заряженная от стекла трением о шелк (-), притягивается к наэлектризованному сургучу, заряженному трением о шерсть (+)



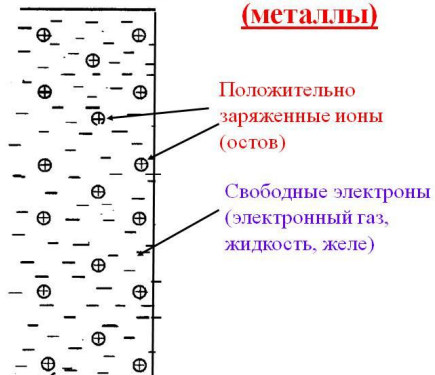
Два одинаковых электроскопа, заряженные разноименными зарядами и соединенные проводником, разряжаются; равные разноименные заряды при соединении не дают никакого заряда





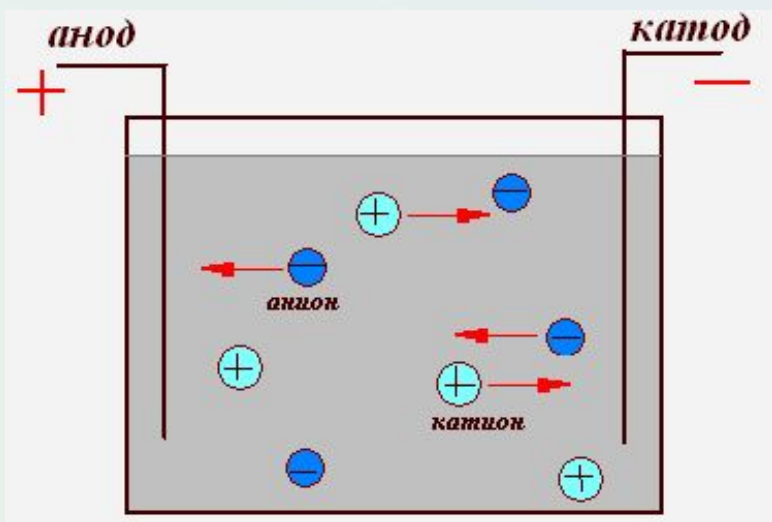
Атом — это наименьшая частица химического элемента, сохраняющая все его химические свойства. Атом состоит из ядра, имеющего **положительный** электрический заряд (частицы - протоны) и отрицательно заряженных **электронов**. Суммарный заряд атома равен нулю, в связи, с чем мы не наблюдаем электрических сил притяжения и отталкивания между окружающими нас телами.

### Модель свободных электронов (металлы)



Металлы состоят из положительно заряженных ионов, находящихся в узлах кристаллической решетки и совокупности **свободных электронов**. Вне электрического поля свободные электроны движутся хаотически, подобно молекулам идеального газа, а потому рассматриваются в классической электронной теории как **электронный газ**.

Под действием внешнего электрического поля меняется характер движения свободных электронов внутри металла. Электроны, продолжая хаотичные движения, вместе с тем смещаются в направлении действия сил электрического поля.

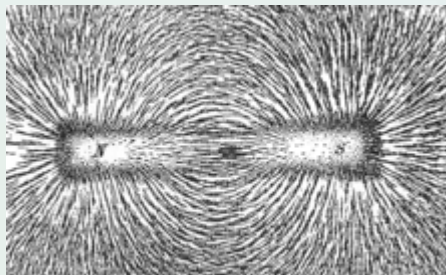


Явление распада молекул солей, щелочей и кислот в воде на ионы противоположных знаков называют **электролитической диссоциацией**. Полученные в следствие распада ионы служат носителями заряда в жидкости, а сама жидкость становится проводником.

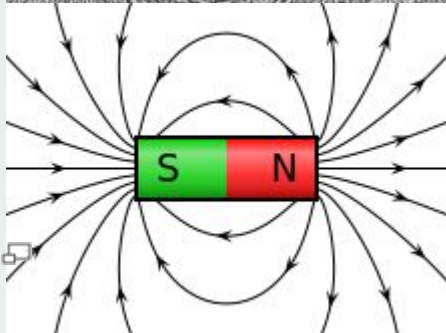
Вне электрического поля ионы движутся хаотически. Под действием внешнего электрического поля ионы, продолжая хаотичные движения, вместе с тем смещаются в направлении действия сил электрического поля: катионы к катоду, анионы - к аноду.

Следовательно, **электрический ток в растворах (расплавах) электролитов** - это направленное перемещение ионов обоих знаков в противоположных направлениях.

Прохождение электрического тока через раствор электролита всегда сопровождается выделением на электродах веществ, входящих в его состав. Это явление называют **электролизом**.



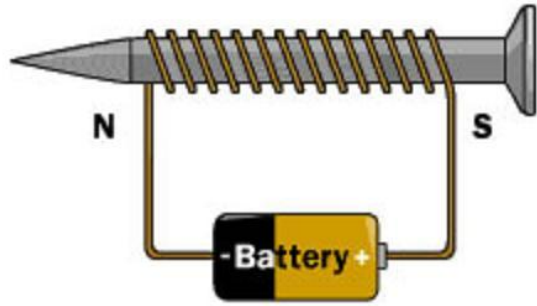
*Рисунок линий силового поля магнита, полученный с помощью железной стружки*



*Схематическое изображение силовых линий магнитного поля вокруг постоянного магнита. Силовые линии выходят из северного полюса магнита и входят в южный полюс*



**Постоянный магнит** — изделие, изготовленное из *ферромагнетика*, способного сохранять остаточную намагниченность после выключения внешнего магнитного поля. В качестве материалов для постоянных магнитов обычно служат железо, никель, кобальт, некоторые сплавы редкоземельных металлов, а также некоторые естественные минералы, такие как магнетиты.



**Простейший  
электромагнит**

Вокруг проводника, по которому течет ток, создается *магнитное поле*.

При быстром движении магнита внутри проволочной катушки магнитное поле возбуждает (индуцирует) в витках проволоки электродвижущую силу (ЭДС), которая приводит в движение электроны, и, в результате, по проволоке начинает протекать ток, о чем свидетельствует отклонение стрелки гальванометра. Причем неважно – проталкивать магнит, внутри катушки или двигать катушку относительно магнита, эффект будет одинаковым. Это свойство в дальнейшем понадобится для понимания принципа работы генераторов и трансформаторов. Сама возможность создания электромагнитов широко используется в промышленности и быту. Электромагнит можно увидеть на заводах по переработке металлолома, они встречаются в обыкновенных дверных звонках.



**Схема опыта Майкла  
Фарадея**

## **Основные понятия электротехники:**

**переменный и постоянный ток,**

**напряжение**

**индукция**

**емкость,**

**активная и реактивная мощность**

**сопротивление**

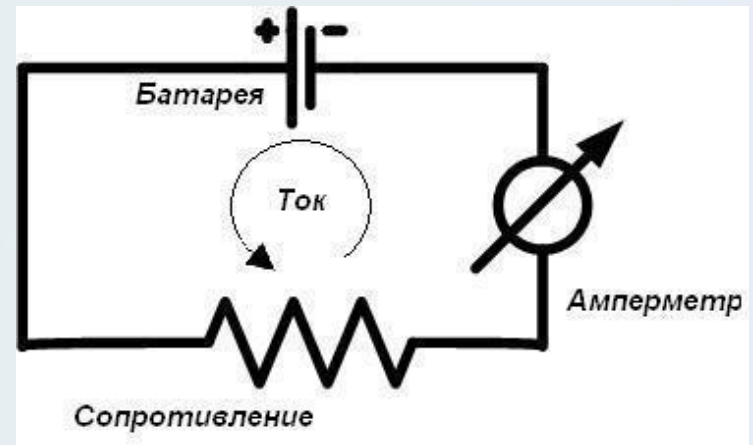
**изоляция**



Представляет собой один из параметров модели электромагнитных явлений

- Постоянный ток трактуется как движение зарядов или заряженных частиц (электронов, ионов).
- Постоянный ток называется так потому, что заряженные частицы движутся (говорят – *ток течёт*) всегда в одном направлении, от одного полюса источника энергии (от одного заряда) к другому.
- Постоянный ток стал предметом первоначального внимания ученых и инженеров: создание источников электрической энергии (гальванических элементов – батарей), исследование влияния тока на живые организмы, использование тока для нанесения покрытий на металлы, освещение.

Простейший бытовой пример – источники энергии для небольших приборов – игрушек, сотовых телефонов и часов. В этих батареях и аккумуляторах происходит преобразование энергии длительной химической реакции в энергию электрическую напряжением в несколько вольт, а ток составляет десятки микроампер.







**Амперметр**

В металлических проводниках под действием электрического поля возникает упорядоченное движение электронов. Это движение называется *электрическим током*. Протекание тока в проводнике вызывает его нагрев. Чем интенсивнее поток электронов, тем сильнее нагревается проводник.

Нагрев зависит от *силы тока*, под которой понимается количество электричества, проходящего через поперечное сечение проводника в единицу времени. На практике сила тока обозначается латинской буквой *I*, а единицей измерения является ампер [A]. Измеряют силу тока с помощью специального прибора *амперметра*, включаемого в цепь последовательно с источником тока и электроприемником. Сила тока в проводнике зависит не только от напряжения, но и от самого проводника: длины, сечения, и материала, из которого он сделан.



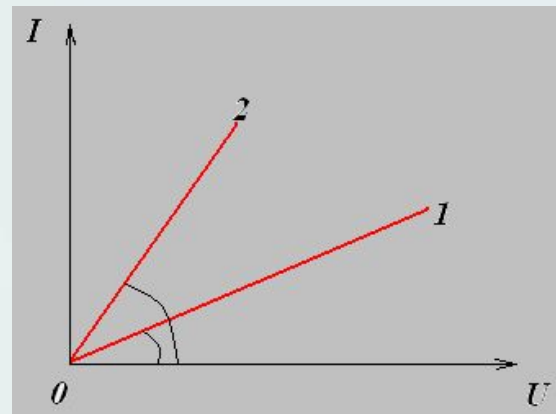
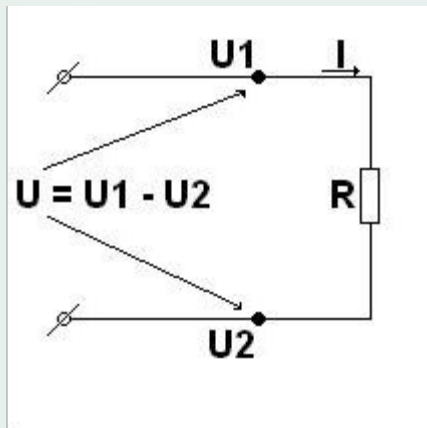
**Вольтметр**

Электрическое поле, совершает работу, перемещая электроны от одного конца проводника к другому. Эта *работа (энергия электрического поля) при перемещении им единичного заряда по проводнику зависит от напряжения.* Напряжение обозначается латинской буквой  **$U$** , а единицей измерения является вольт [ **$V$** ]. Прибор, с помощью которого измеряют напряжение, называют *вольтметром.*

Если движение электронов происходит в одном направлении, то ток называется *постоянным.* Если поток электронов изменяется во времени по величине и изменяет при этом свое направление, то такой ток называется переменным

# Основной закон электротехники закон Ома — связывает ток и напряжение

- Для любого участка электрической цепи постоянного тока справедливо соотношение - *закон Ома* (немецкий физик Георг Ом, 1827 г)  $I = U / R$ , где  $I$  – ток,  $R$  – электрическое сопротивление участка,  $U = U_1 - U_2$  – падение напряжения (или разность электрических потенциалов) на участке.
- Мощность  $P$ , выделяющаяся на участке электрической цепи, где протекает ток  $I$ , а падение напряжения равно  $U$ , составляет  $P = U \times I$ , или, что то же самое,  $P = U^2 / R$



Чем меньше сопротивление в цепи (кривые 1 и 2) тем больше ток

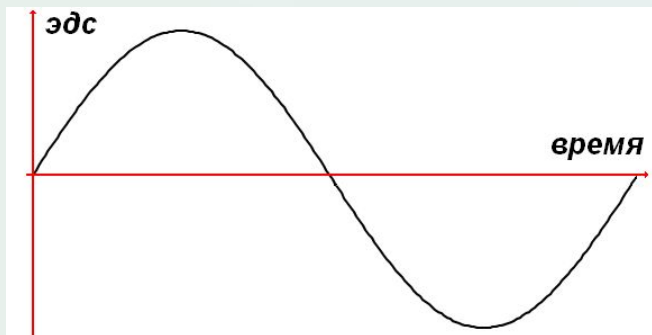


## Закон электромагнитной индукции – Закон Фарадея

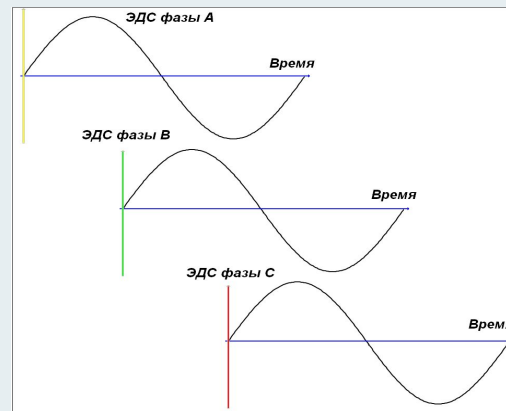
- Опытным путем установлено, что перемещение (вращение) петли проводника относительно постоянного магнитного поля вызывает появление на его концах электрического напряжения (английский физик Майкл Фарадей, 1831 г., закон электромагнитной индукции).
- Чем быстрее перемещается проводник (скорость изменения магнитного потока -  $d\Phi/dt$ ), чем больше витков ( $\omega$ ) в петле, тем выше напряжение, точнее, электродвижущая сила ЭДС (E).
- Математическое выражение, описывающее закон электромагнитной индукции или закон Фарадея:  

$$E = -\omega * d\Phi/dt$$
- Электродвижущая сила, э.д.с. - E) на концах петли, вращающейся в таком поле с постоянной скоростью, меняется по синусоидальному закону. Такое напряжение называется переменным.
- Ток, вызванный переменным напряжением, называется переменным током, поскольку все время меняет величину и направление своего движения в замкнутой цепи.

Однофазный переменный электрический ток

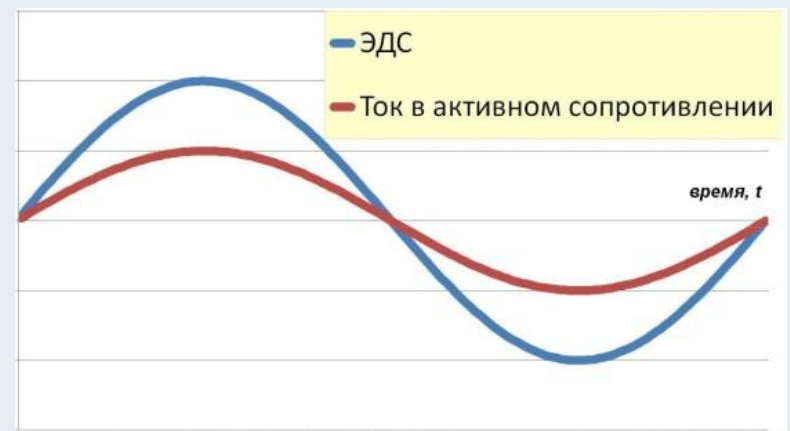


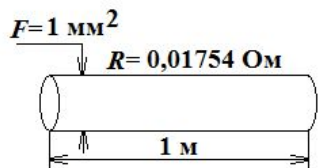
Трёхфазный переменный электрический ток



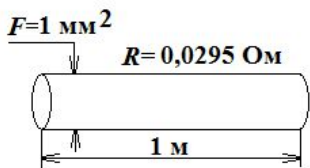
# Сопротивления в цепях постоянного и переменного токов. Активное сопротивление

- Когда ток течет по проводу, он встречает сопротивление. Это заставляет проводник нагреваться. Если электрическое устройство используется как нагреватель, то оно содержит проводники с высоким сопротивлением – к примеру, тонкую никелевую или хромовую проволоку
- Сопротивление или «активное сопротивление» в цепи переменного тока – это один из важнейших параметров модели электромагнитных явлений
- Изменение тока в активном сопротивлении в точности повторяет изменение напряжения переменного тока, не смещаясь относительно него
- На активном сопротивлении в цепи переменного тока выделяется ровно столько же тепла, что и в цепи постоянного тока (при том же значении падения напряжения на этом сопротивлении)



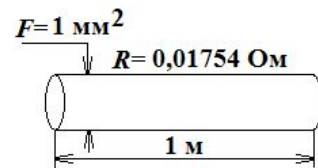


Медная проволока

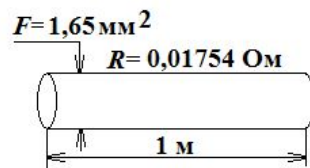


Алюминиевая проволока

Алюминий примерно в 3,5 раза легче Меди



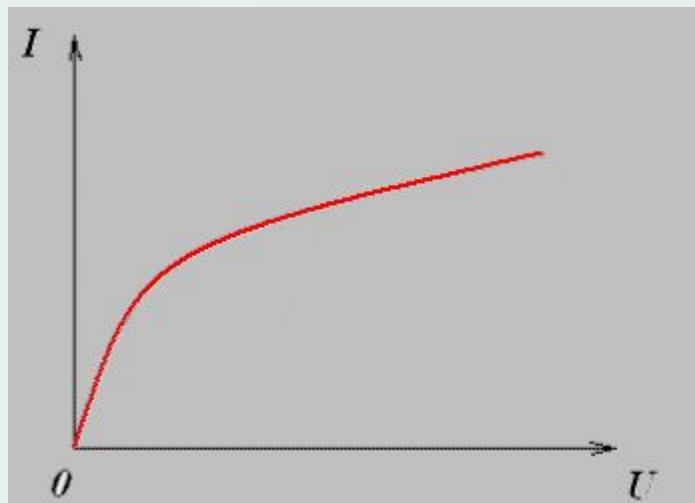
Медная проволока



Алюминиевая проволока

Сопротивление зависит от поперечного сечения проводника  $[F]$ , его длины  $[L]$  и удельного сопротивления  $[\rho]$  (сопротивлением различных материалов движению электронов). Электрическое сопротивление обозначается латинской буквой  $R$ , и измеряется в Омах  $[Om]$ . В соответствии с вышесказанным:

$$R = \frac{\rho}{F} L$$

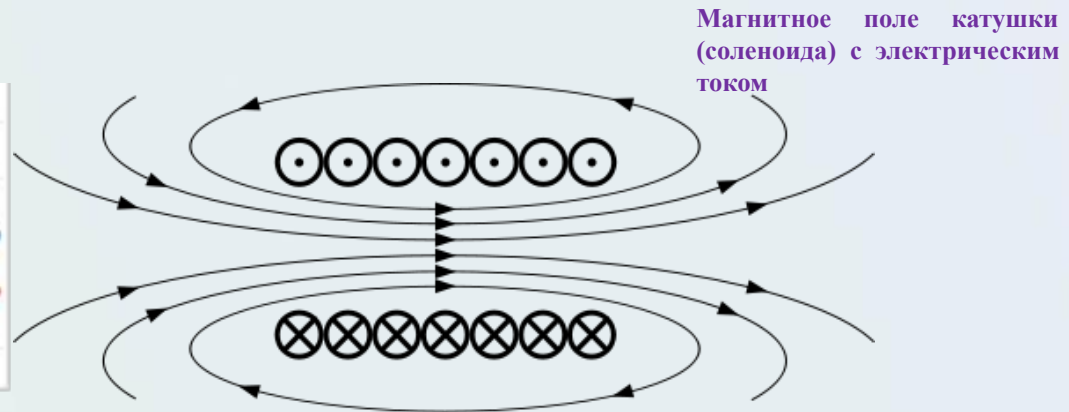
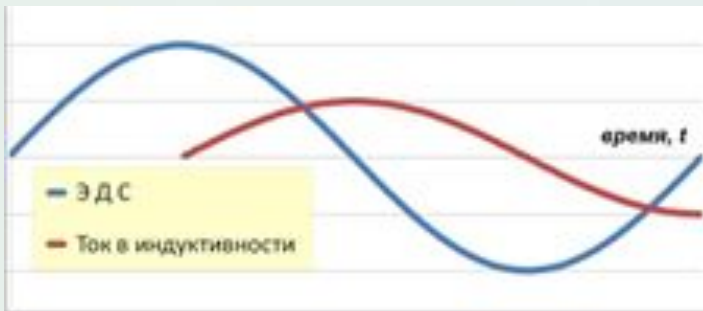


С увеличением температуры проводника его сопротивление увеличивается, а вольт-амперная характеристика становится нелинейной

# Сопротивления в цепях постоянного и переменного токов. Индуктивное сопротивление

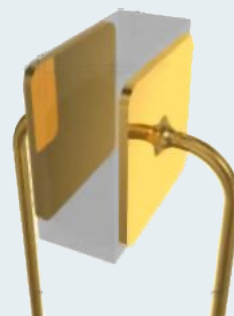
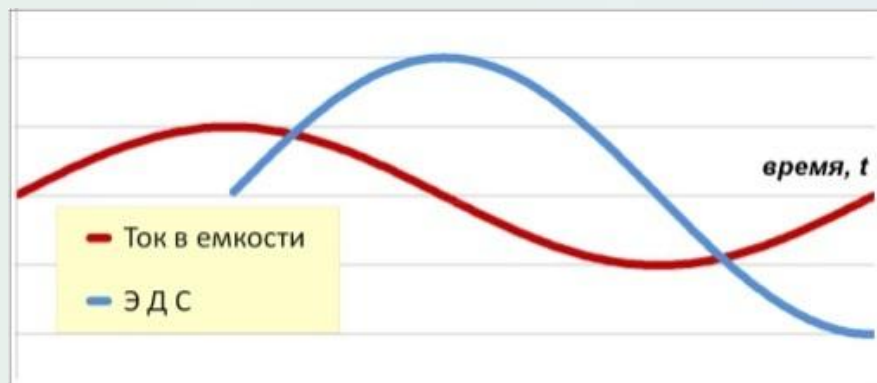


- Все материальные предметы, а также искусственно созданные специальные устройства (такие как обмотки трансформаторов) обладают индуктивностью (это обобщающая характеристика магнитных свойств).
- В идеальной индуктивности переменный ток «отстает» от напряжения во времени ровно на четверть периода или на  $90^\circ$
- ПРИМЕР: трансформатор. К первой обмотке (где витков в обмотке  $w_1$ ) подходит переменный ток напряжением  $U_1$  и создает переменное магнитное поле в сердечнике, а напряжение  $U_2$ , наведенное этим полем, снимается со второй обмотки с числом витков  $w_2$ . В упрощенном расчете можно полагать, что напряжение  $U_2$  будет равно  $U_2 = U_1 * (w_2 / w_1)$





- **Электрическая ёмкость**, характеристика проводника, количественная мера его способности удерживать электрический заряд
- Все материальные тела и искусственно созданные технические устройства, например, линии электропередач, обладают электрической емкостью (способность предмета накапливать электрический заряд), и переменный ток в идеальной емкости «опережает» напряжение во времени ровно на четверть периода или на те же  $90^\circ$
- Математически электрическая емкость  $C$  представляет собой коэффициент пропорциональности между электрическим зарядом проводника и его электрическим потенциалом:  $q=CU$ . Отсюда при  $U=1$ ,  $C=q$



Устройство, реализующее емкость - конденсатор

Основы конструкции конденсатора — две токопроводящие обкладки, между которыми находится диэлектрик

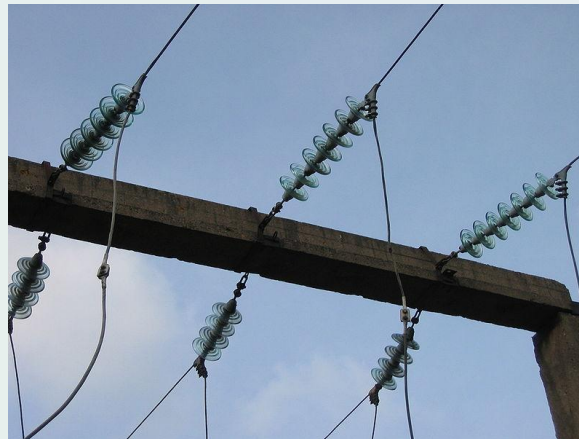




- Проводник - это тело, внутри которого содержится достаточное количество свободных электрических зарядов (электронов или ионов), способных перемещаться под действием электрического поля. В проводниках возможно возникновение электрического тока под действием приложенного электрического поля. Все металлы, растворы солей и кислот, влажная почва, тела людей и животных - хорошие проводники электрических зарядов.
- Изолятор или диэлектрик - тело не содержащее внутри свободных электрических зарядов. В «идеальных» изоляторах электрический ток (ток проводимости) невозможен. К диэлектрикам можно отнести - стекло, пластик, резину, картон, воздух. тела изготовленные из диэлектриков называют изоляторами. Абсолютно непроводящая жидкость – дистиллированная, т.е. очищенная, вода. (любая другая вода (водопроводная или морская) содержит какое-то количество примесей и является проводником)

Проводники – электрические провода и кабели

Техническое применение изоляторов – изоляция проводников друг от друга и от «земли»





При протекании переменного тока по проводнику вокруг него создается магнитное и электрическое поле. Каждый из элементов электрической сети, способный накапливать электроэнергию, дважды за период запасает и отдает ее другим элементам.

Изменение запаса электроэнергии в элементе электрической цепи, не расходуя её, как раз и характеризуется так называемой *реактивной мощностью*, которая обозначается латинской буквой **Q** и измеряется в вольтамперах реактивных (варах) [**вар**]. В электроэнергетике, говоря о мощности, потребляемой каким-либо электроприемником, говорят об активной и реактивной мощностях, где активная мощность идет на совершение полезной работы, а реактивная мощность – на создание электромагнитных полей. Поэтому ток в цепи определяется *полной мощностью*, которая рассчитывается по значениям активной и реактивной мощности по выражению:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

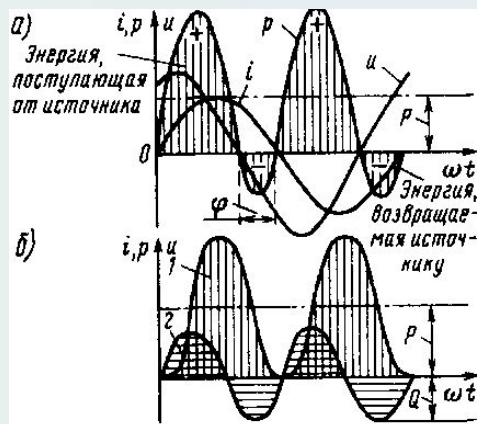
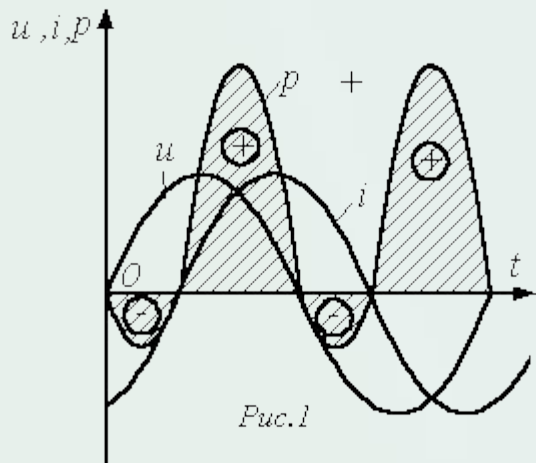
Здесь полная мощность обозначена латинской буквой **S**. Она измеряется в вольт-амперах [**В·А**].

# Активная, реактивная и полная (кажущаяся) мощность. Пояснения

- Активной мощности соответствует наблюдаемая механическая работа или тепло, электрохимические явления. Активная мощность переменного тока – среднее за период значение мгновенной мощности.
- Материального аналога реактивной мощности нет, потому будем считать реактивную мощность удобным математическим понятием, которое вполне реально используется профессионалами при обсуждении, например, распределения напряжения между узлами сети.
- Полная (кажущаяся) мощность является векторной суммой активной и реактивной мощностей в выбранной системе координат и также не имеет материального аналога. Она определяет ток в сетевом элементе
- Профессиональными выражениями являются также «потoki активной и реактивной мощности по линиям электропередач», или «выработка активной и реактивной мощности».

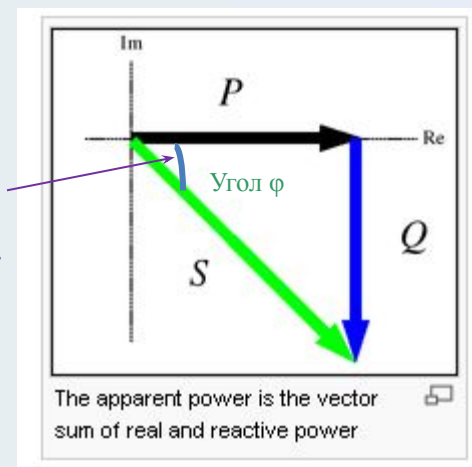
Активная и реактивная мощность в цепи переменного тока.

Мгновенная мощность:  $p = u \times i$ ,  $u$  – мгновенное напряжение,  $i$  – мгновенный ток



Полная (кажущаяся) мощность – векторная сумма активной и реактивной мощности

Критерий эффективности потребления электроэнергии –  $\cos \varphi$





Реактивная мощность, величина, характеризующая нагрузки, создаваемые в электротехнических устройствах колебаниями энергии электромагнитного поля в цепи переменного тока. Это мощность, которая не была передана в нагрузку, а привела к потерям на нагрев и излучение.

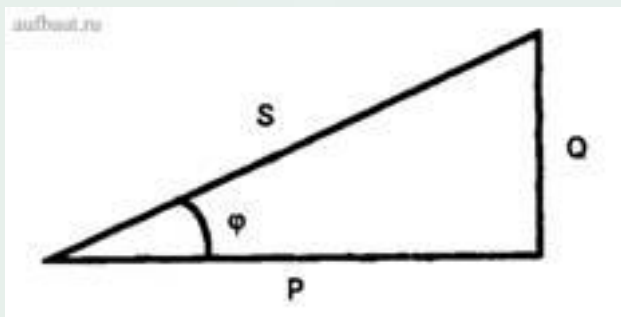
Р. м.  $Q$  равна произведению действующих значений напряжения  $U$  и тока  $I$ , умноженному на синус угла сдвига фаз между ними:  $Q = UI \sin \varphi$

Р. м. связана с полной мощностью  $S$  и активной мощностью  $P$  соотношением:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$



Отношение активной мощности цепи к ее полной мощности называют коэффициентом мощности  $\cos \varphi = P/S$ . Удобство введения условных понятий реактивной и полной мощностей заключается в том, что благодаря их использованию удастся представить  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  в виде прямоугольного треугольника мощностей:



Литература:



# Повышение коэффициента мощности в сети ( $\cos \varphi$ ) – эффективное мероприятие по энергосбережению

Для управления реактивной мощностью в электрических сетях применяют специальные устройства, конденсаторы и реакторы. Конденсатор – устройство, при протекании тока по которому, создается электрическое поле, и его называют источником реактивной мощности. В реакторе – создается магнитное поле, то есть он является потребителем реактивной мощности.

- Большинство современных потребителей электрической энергии имеют индуктивный характер нагрузки, токи которой отстают по фазе от напряжения источника. Так для асинхронных двигателей, трансформаторов, сварочных аппаратов и других **реактивная мощность (связанная с реактивным током)** необходима для создания вращающегося магнитного поля у электрических машин и переменного магнитного потока трансформаторов.
- **Снижение коэффициента мощности приводит к увеличению тока.**
- $\cos \varphi$  особенно сильно снижается при работе двигателей и трансформаторов вхолостую или при большой недогрузке. Если в сети есть реактивный ток мощность генератора, трансформаторных подстанций используется не полностью.
- **С уменьшением  $\cos \varphi$  значительно возрастают потери энергии на нагрев проводов, обмоток трансформаторов и катушек электрических аппаратов.**
- Таким образом, **чем выше  $\cos \varphi$  потребителя, тем меньше потери мощности в линии и дешёвая передача электроэнергии.**
- Для повышения коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ) электрических установок применяют компенсацию реактивной мощности.
- Увеличения коэффициента мощности (уменьшения угла  $\varphi$  - сдвига фаз тока и напряжения) можно добиться следующими способами:
  - 1) заменой мало загруженных двигателей двигателями меньшей мощности,
  - 2) понижением напряжения
  - 3) выключением двигателей и трансформаторов, работающих на холостом ходу,
  - 4) включением в сеть специальных компенсирующих устройств, являющихся генераторами опережающего (ёмкостного) тока, например **КОНДЕНСАТОРОВ**





**Счётчик  
электроэнергии**

В общем случае *активная энергия* – это работа, совершенная на заданном промежутке времени. Из определения видно, что произведение мощности, потребляемой или вырабатываемой электроустановкой, на время ее работы и даст нам энергию:

$$Э_P = P \cdot t$$

где  $t$  – время работы установки,  $P$  – активная мощность, потребляемая (вырабатываемая) установкой.

Активная электрическая энергия измеряется в Ватт-часах [Вт·ч]. Измеряется электрическая энергия счетчиками. По показаниям счетчиков мы оплачиваем электрическую энергию, потребляемую электроприемниками в наших квартирах.



## Основные размерности электрических величин:



Наименование величины	Условное обозначение	Размерность	Транскрипция
Напряжение	$U$	В	Вольт
Сила тока	$I$	А	Ампер
Активная мощность	$P$	Вт	Ватт
Реактивная мощность	$Q$	вар	вар
Полная мощность	$S$	В·А	Вольт Ампер
Активное сопротивление	$R$	Ом	Ом

## МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ

Приставка	Обозначение (рус./межд.)	Множитель	Пример
кило	к / k	$10^3$	кВ
мега	М / M	$10^6$	МВА
гига	Г / G	$10^9$	ГВт

**Потребители электроэнергии:  
электропривод  
источники света  
электротехнологии**



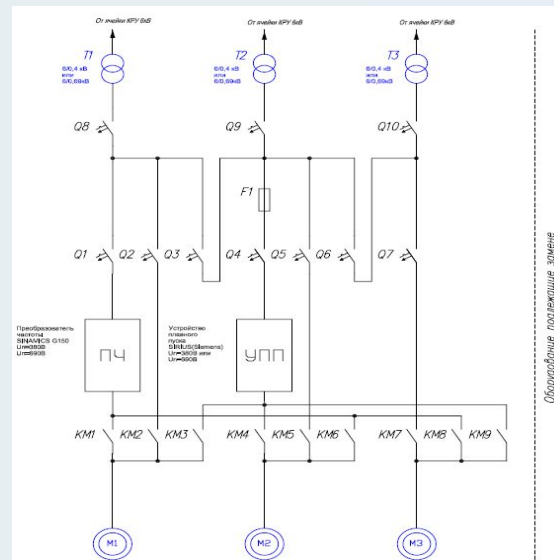


Электропривод – это управляемая электромеханическая система, позволяющая преобразовывать электрическую энергию в механическую и обратно, а так же позволяющая управлять этим процессом.

Основные достоинства электропривода:

- малый уровень шума при работе и отсутствие загрязнения окружающей среды;
- широкий диапазон мощностей (от сотых долей Вт до десятков тысяч кВт);
- широкий диапазон угловых скоростей вращения (от долей оборота вала в минуту до нескольких сотен тысяч оборотов в минуту);
- доступность регулирования угловой скорости вращения;
- высокий КПД;
- легкость автоматизации;
- простота эксплуатации.

Схема современного частотно регулируемого электропривода





Лампа накаливания

Газоразрядная лампа

Светодиод

Органический  
Светодиод OLED

**Искусственные источники света** — технические устройства различной конструкции и с различными способами преобразования энергии, основным назначением которых является получение светового излучения (как видимого, так и с различной длиной волны, например, инфракрасного). В источниках света используется в основном **электроэнергия**, но также иногда применяется химическая энергия и другие способы генерации света.

11 июля 1874 года российский инженер Александр Николаевич Лодыгин получил патент за номером 1619 на нитевую лампу. В качестве нити накала он использовал угольный стержень, помещённый в вакуумированный сосуд.





К электротехнологическим относятся процессы, основанные на преобразовании непосредственно в рабочей зоне технологических установок энергии электрического тока, электрического и магнитного полей в тепловую, химическую или механическую энергии, за счет которых реализуется заданный процесс

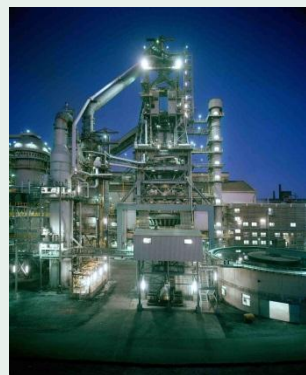
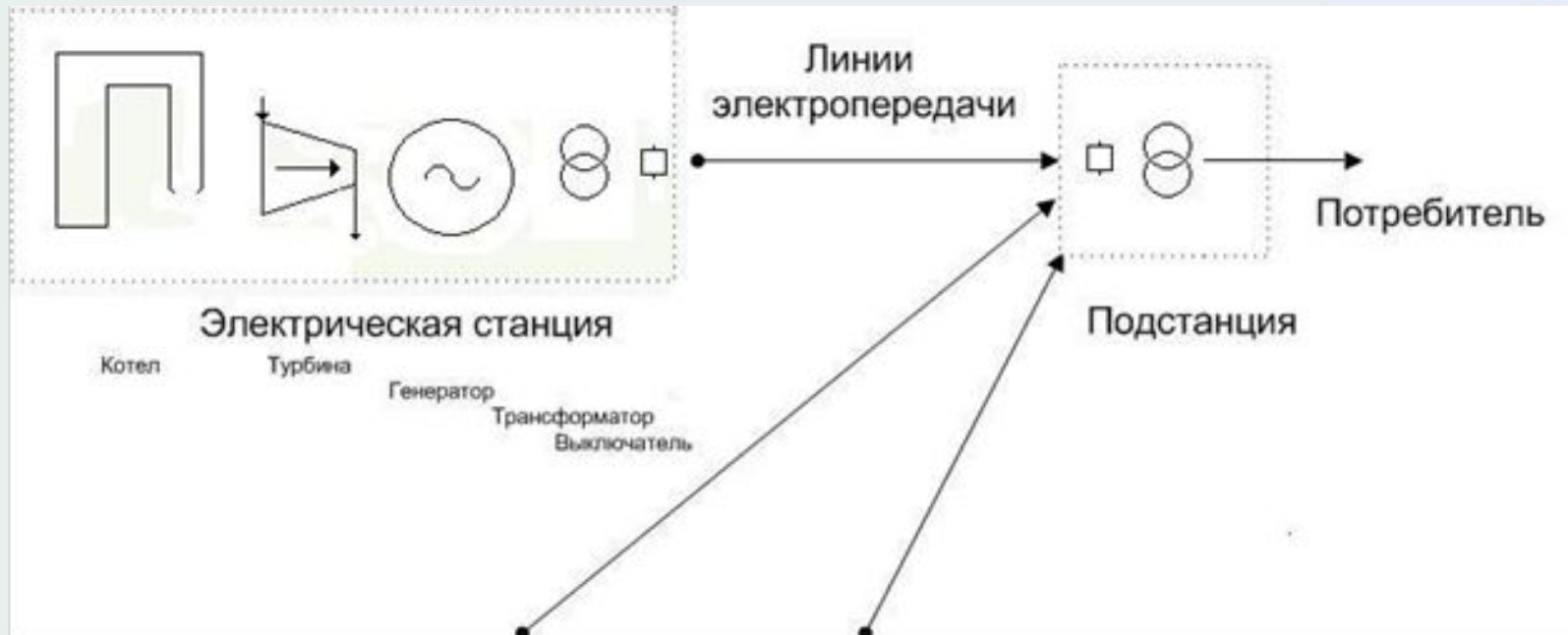
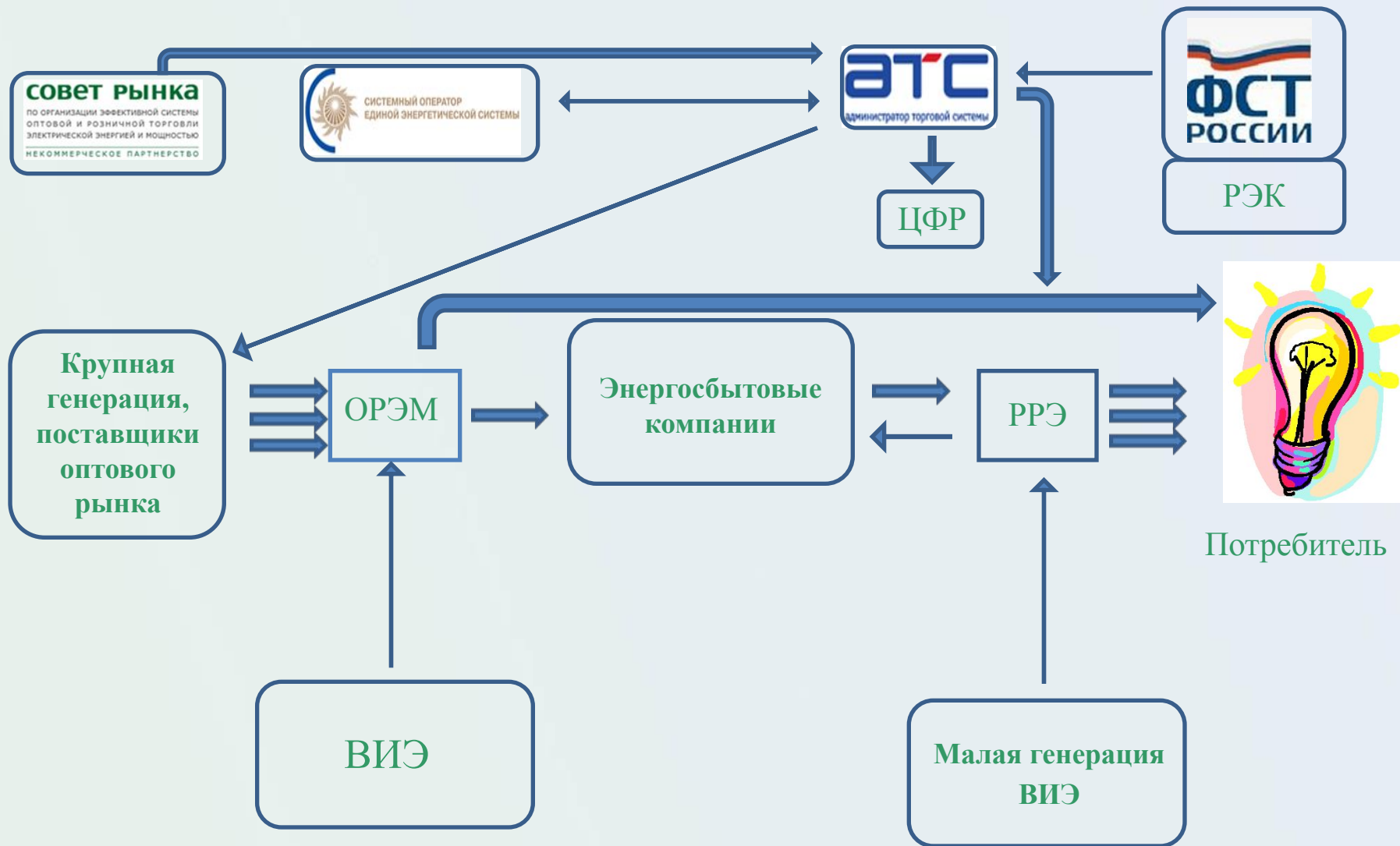


Рис. 1.1-1. Классификация электротехнологических установок



- Передача энергии в направлении потребителей происходит по линиям электропередач. Единичная длина таких линий может достигать нескольких сотен километров.
- В центрах потребления энергия вновь преобразуется каскадом трансформаторов до уровня, удобного потребителю, вплоть до 220В.
- Для надежности к центрам потребления подводят энергию из нескольких источников, собирая линии на подстанциях, где и осуществляется включение и отключение линий и преобразование напряжения.





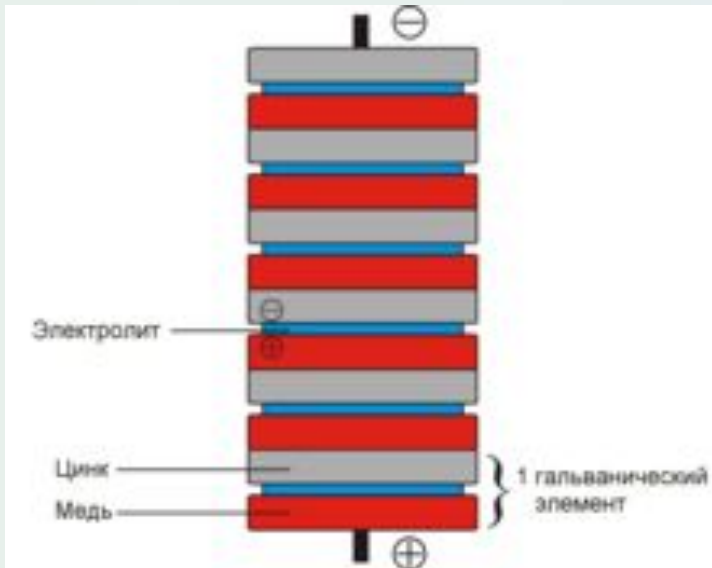
**Источники электроэнергии:**

**гальванические элементы,  
генераторы постоянного и переменного тока**



**Гальванический элемент** — химический источник электрического тока, названный в честь Луиджи Гальвани. Принцип действия гальванического элемента основан на взаимодействии двух металлов через электролит, приводящем к возникновению в замкнутой цепи электрического тока. Электродвижущая сила (ЭДС) гальванического элемента зависит от материала электродов и состава электролита.

*Химический источник тока – Вольтов столб*



Сосуд с солёной водой с опущенными в него цинковой и медной пластинками, соединенными проволокой

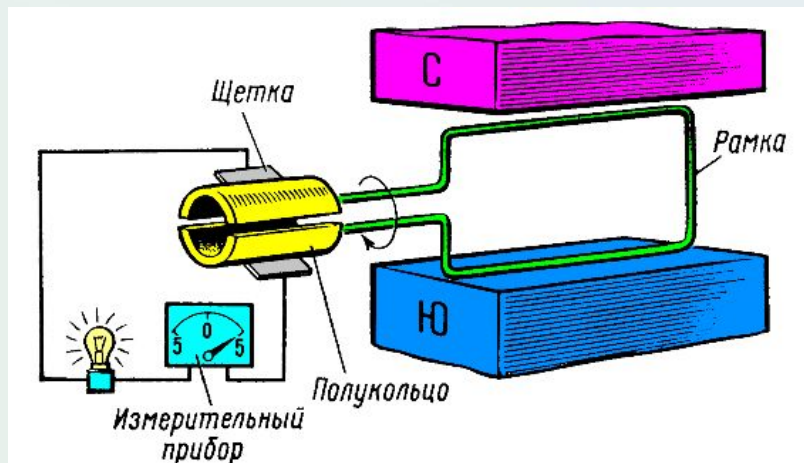
## Устройство гальванического элемента



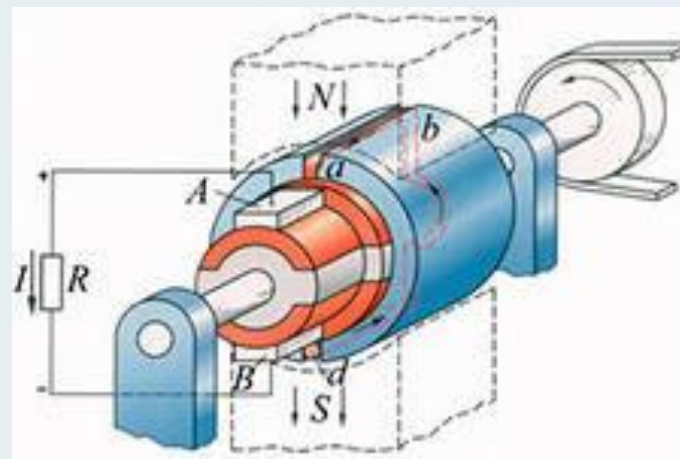
**Гальванический элемент** - химический источник тока, в котором электрическая энергия вырабатывается в результате прямого преобразования химической энергии окислительно-восстановительной реакцией.



## Принцип действия



## Упрощенная модель



Генератор постоянного тока преобразует механическую энергию в электрическую. В зависимости от способов соединения обмоток возбуждения с якорем генераторы подразделяются на:

- генераторы независимого возбуждения;
- генераторы с самовозбуждением;
  - генераторы параллельного возбуждения;
  - генераторы последовательного возбуждения;
  - генераторы смешанного возбуждения;

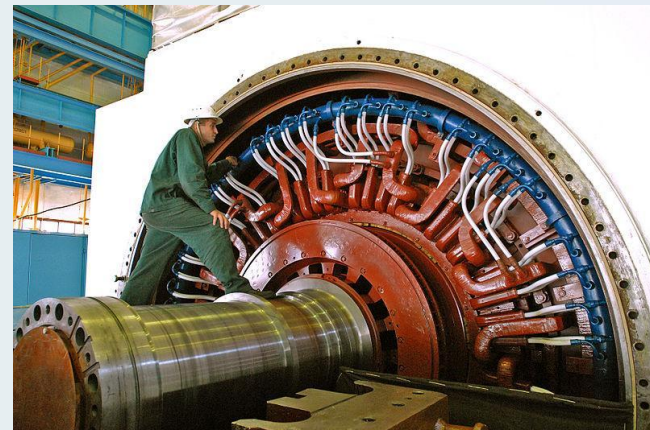


Генераторы малой мощности иногда выполняются с постоянными магнитами. Свойства таких генераторов близки к свойствам генераторов с независимым возбуждением.





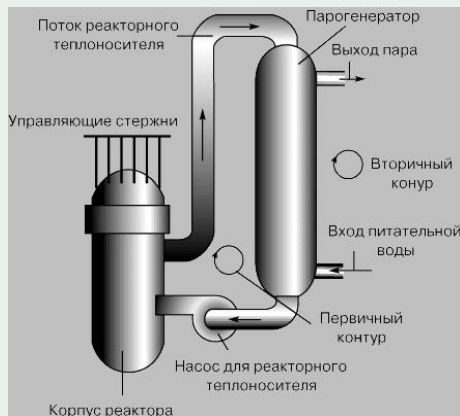
- Вращающийся проводник в магнитном поле – самый простой *генератор* переменного электрического тока. Если же несколько таких проводников-петель скрепить механически между собой со смещением в пространстве, то получим несколько элементарных генераторов переменного тока (фаз), напряжения на выводах которых меняются по синусоидальному закону, и сдвинуты относительно друг друга во времени. Такое устройство, совмещающее в себе несколько простых генераторов, является многофазным (обычно – трехфазным) генератором переменного тока.
- В промышленных генераторах в качестве источника магнитного поля используются не постоянные магниты. Магнитное поле создается за счет постоянного тока, протекающего в проводниках *обмотки возбуждения*, расположенной на вращающемся *роторе* генератора. Фазные обмотки закрепляют на неподвижной части генератора – *статоре*. На схемах и в натуре трем фазам соответствуют буквы А, В, С, и цвета – желтый, зеленый, красный соответственно (4).





- На классических тепловых электростанциях топливо (уголь, газ, мазут, торф) сжигается в котлах, отдавая тепло горения водяному пару, который под большим давлением и при высокой температуре поступает в паровые турбины, вращение которых в свою очередь передает механическую энергию генераторам, вырабатывающим электрический ток.
- В современных парогазовых установках (ПГУ) топливо (газ) также сжигается, вращая газотурбинную установку (ГТУ), после чего в котле за счет высокой остаточной температуры уходящие газы превращают воду в пар, который вращает турбину, на валу которой есть генератор, вырабатывающий ток.
- Атомные станции (АЭС) принципиально очень похожи на классические тепловые, только источником тепла здесь является ядерное топливо.
- Гидроэлектростанции (ГЭС) используют энергию падающей природной воды, запасенной в гигантских водохранилищах. Здесь нет горения, и ступеней преобразования намного меньше, но расходование драгоценной воды не может быть подчинено исключительно цели выработки электроэнергии.

Схема выработки пара на АЭС



Машинный зал ГЭС



Плотина Красноярской ГЭС



**Средства передачи электроэнергии:  
провода и кабели**

**Электрические сети:  
линии электропередачи, подстанции**

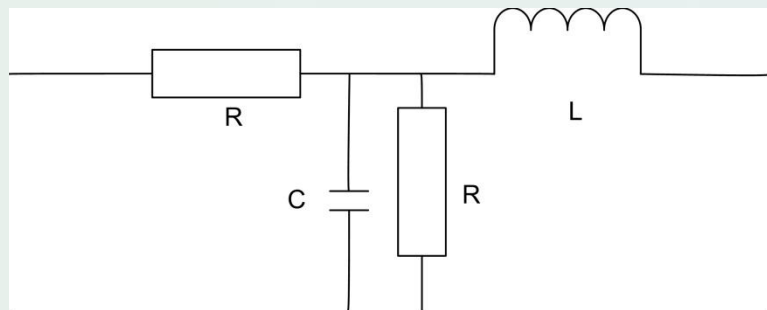


- Любой физически существующий элемент в электрической сети постоянного и переменного тока (линия электропередачи, трансформатор и т.д.) может быть логически смоделирован с помощью всего лишь трёх принципиально различающихся составляющих, а именно: активного сопротивления ( $R$ ), индуктивности ( $L$ ) и электрической емкости ( $C$ )
- Это дает возможность создать математическую модель любой электрической системы или ее части для решения определенной задачи
- Расчеты на основе математической модели базируются на классических законах электротехники, и производятся с использованием специализированных программ, использующих достаточно сложные математические методы.

## Модель электрической сети



## Структурно-математическая модель сетевого элемента



## Мощный трансформатор





**Электрический провод (провод)** — кабельное изделие, содержащее одну или несколько скрученных проволок или одну или более изолированных жил, поверх которых в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься легкая неметаллическая оболочка, обмотка и (или) оплетка из волокнистых материалов или проволоки, и не предназначенное, как правило, для прокладки в земле

**Кабель** (от голл. kabel — канат, трос) электрический, один или несколько изолированных проводников, заключённых в герметическую оболочку, поверх которой, как правило, накладываются защитные покровы. Кабели применяют для передачи на расстояние электрической энергии или сигналов (высоковольтные линии электропередачи, электроснабжение промышленных предприятий, транспорта и коммунальных объектов)



**Электроэнергетические системы:  
определения, первые энергосистемы  
промышленного типа, план ГоэлРО, ЕЭС России,  
электроэнергетическая система и рынки  
электроэнергии, мощности мощности**

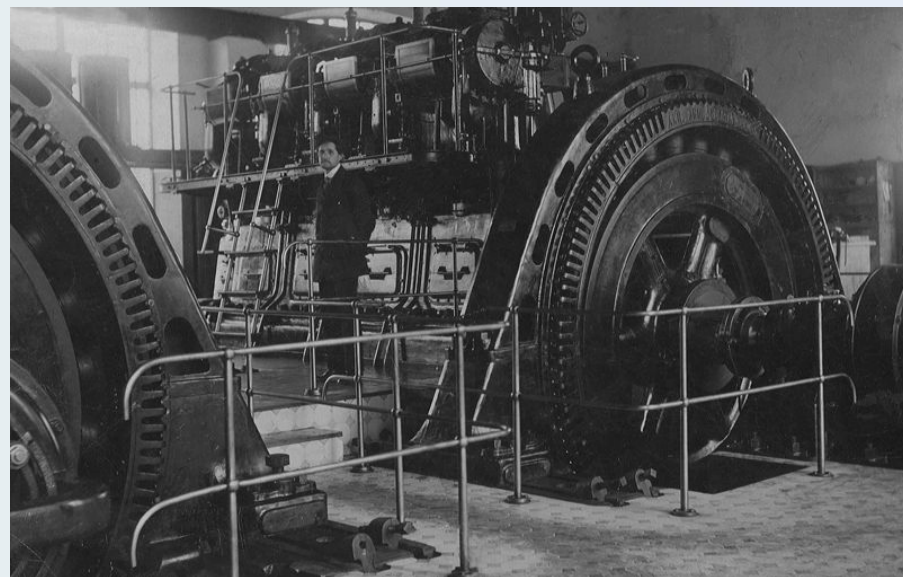


- **Единая энергетическая система России (ЕЭС России)**- совокупность производственных и иных имущественных объектов электроэнергетики, связанных единым процессом производства (в том числе производства в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии) и передачи электрической энергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике (ФЗ «Об электроэнергетике»)
- **Объекты электроэнергетики** - имущественные объекты, непосредственно используемые в процессе производства, передачи электрической энергии, оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике и сбыта электрической энергии, в том числе объекты электросетевого хозяйства (ФЗ «Об электроэнергетике»)
- **Комбинированная выработка электрической и тепловой энергии** - режим работы теплоэлектростанций, при котором производство электрической энергии непосредственно связано с одновременным производством тепловой энергии (ФЗ «Об электроэнергетике»)
- **Электрические сети** – «объекты электросетевого хозяйства - линии электропередачи, трансформаторные и иные подстанции, распределительные пункты и иное предназначенное для обеспечения электрических связей и осуществления передачи электрической энергии оборудование» (ФЗ «Об электроэнергетике»)

Принцип параллельной работы электростанций, впервые осуществлен в Пятигорске в 1913 году 26 марта параллельно работали две электростанции — «Тепловая» и «Белый Уголь».



Гидроэлектростанция на реке Подкумок. Введена в действие в 1903 г. Установлены два генератора по 400 кВт.



Пятигорская тепловая электростанция общей мощностью 800 лошадиных сил ( $\approx 588,4$  кВт). Была введена в действие в 1913 г.

**Объединение электростанций дало ряд экономических преимуществ:**

- унификация частоты и напряжения, а, следовательно, унификация параметров приемников;
- уменьшение потребности в резервах отдельных станций, возможность ремонта оборудования без отключения потребителей;
- возможность перераспределения нагрузки между гидро-, тепловыми электростанциями и разделения их на базисные и пиковые.





**Кржижановский Глеб  
Максимилианович  
(1872-1959 г.)**

В декабре 1920 года VIII Съезд Советов утверждает "план ГОЭЛРО".

Планом ГОЭЛРО предусматривается построить 30 новых электростанций общей мощностью 1,75 млн. кВт, достичь выработки в 8,8 млрд. кВт-ч в год, построить сети на 35 и 110 кВ для передачи мощности к узлам нагрузки и соединения электростанций в параллельную работу.

Декабрь, 1921 год. Совет народных комиссаров принимает Декрет об утверждении плана ГОЭЛРО. Районные электростанции и линии высоковольтных передач остаются в собственности государства. Кооперативы, местные органы и частные лица наделяются правом сооружать электростанции. На Главэлектро возлагаются функции "особого полномочного органа, объединяющего как все работы по исполнению общего плана электрификации, так и всю электротехническую промышленность и все электроснабжения РСФСР".

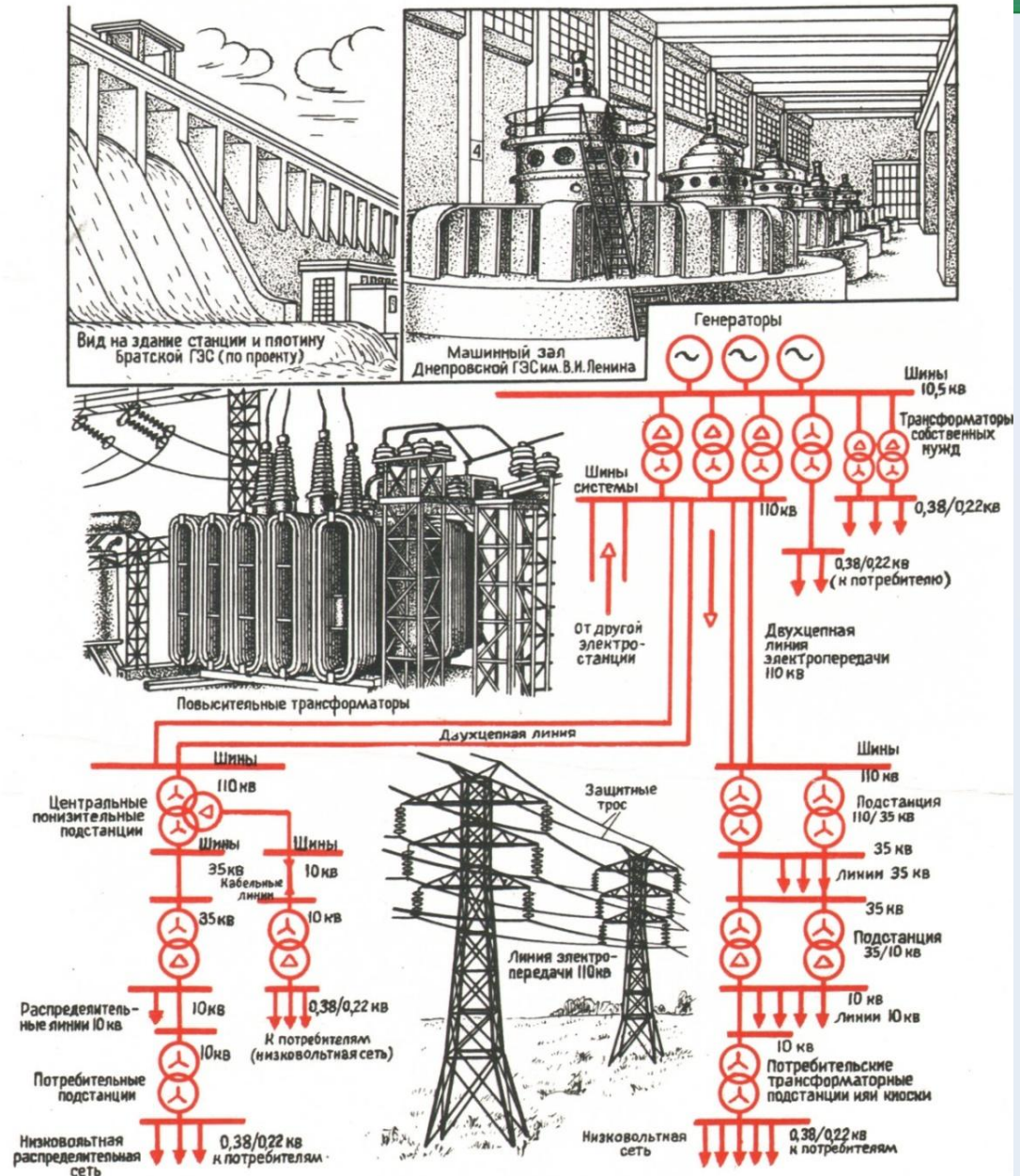


Электрические станции:  
ТЭС, ГЭС, АЭС, на основе ВИЭ

ПЕРЕДАЮЩИЕ СЕТИ:  
Линии электропередачи (ЛЭП) и подстанции напряжением 750 – 220 кВ

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ:  
ЛЭП и подстанции напряжением 110 – 0,4 кВ

ПОТРЕБИТЕЛИ





**ГЕНЕРИРУЮЩИЕ КОМПАНИИ**  
Производство электроэнергии



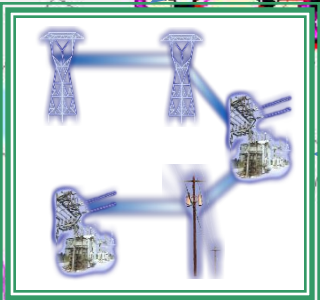
**СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР –**  
**ОАО «СО ЕЭС»**  
Управление режимами работы объектов электроэнергетики



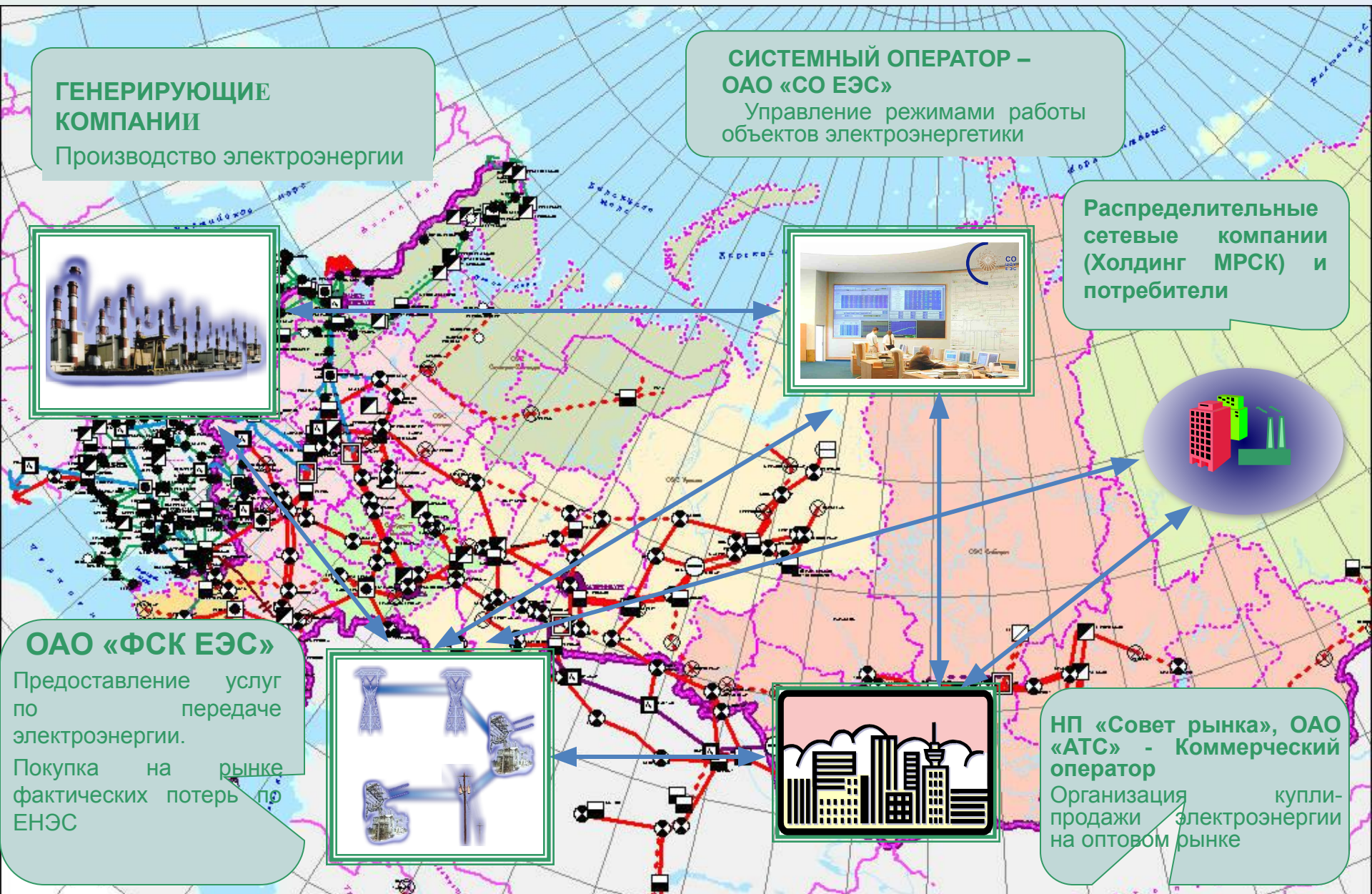
**Распределительные сетевые компании (Холдинг МРСК) и потребители**



**ОАО «ФСК ЕЭС»**  
Предоставление услуг по передаче электроэнергии.  
Покупка на рынке фактических потерь по ЕНЭС

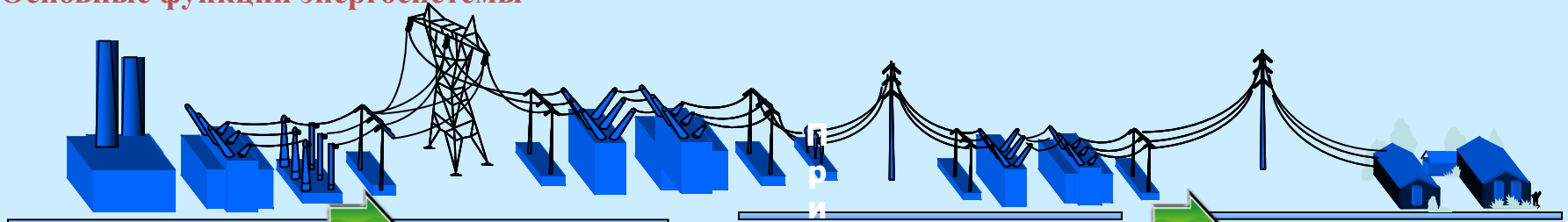


**НП «Совет рынка», ОАО «АТС» - Коммерческий оператор**  
Организация купли-продажи электроэнергии на оптовом рынке





### Основные функции энергосистемы



Генерация: генераторы переменного тока

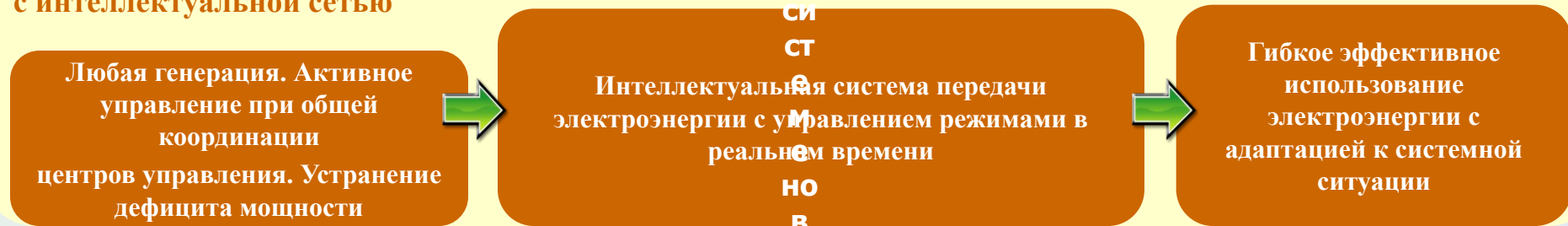
Передача, распределение: электрическая сеть

Потребление: приемники электроэнергии

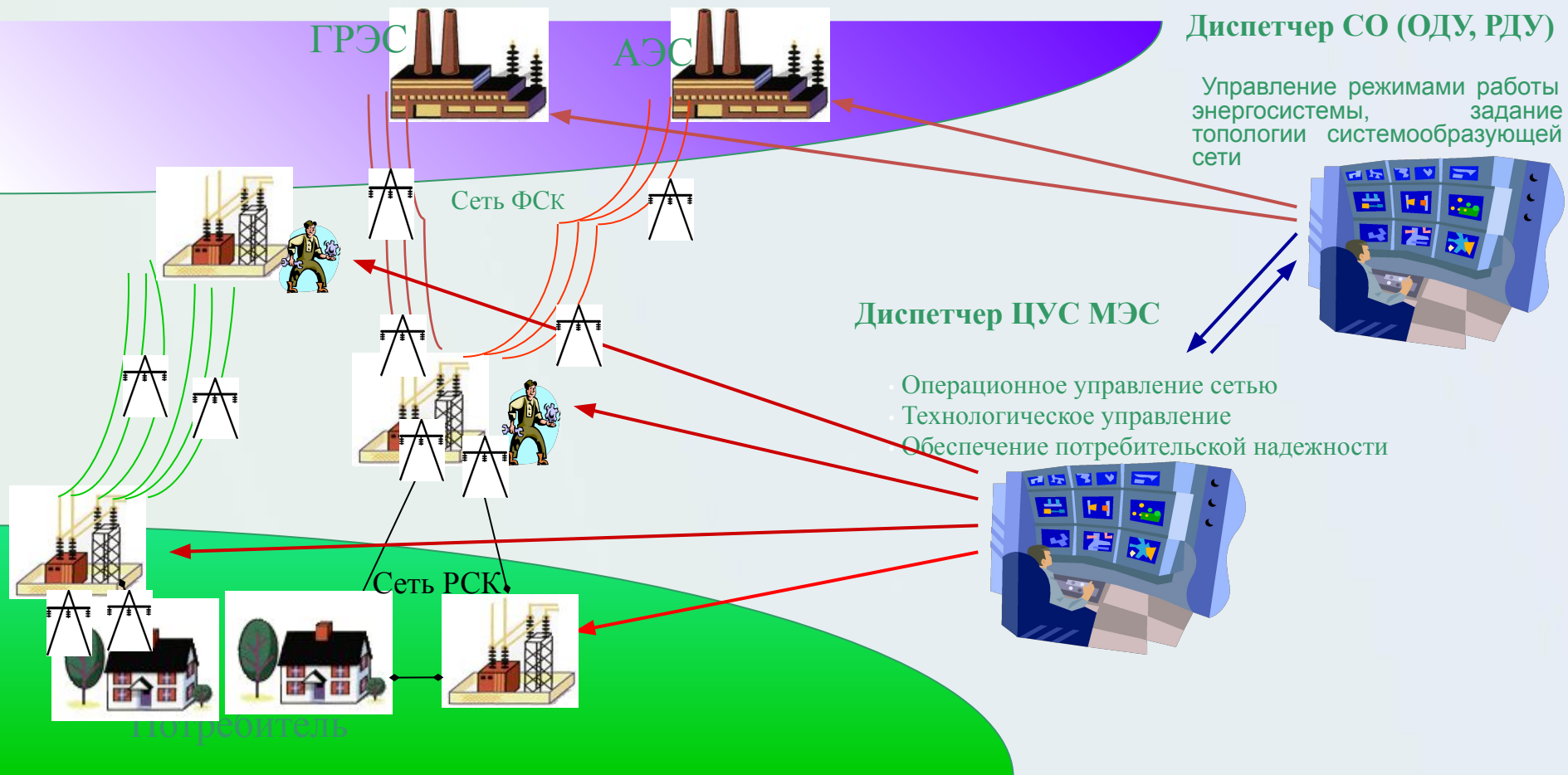
### Существующая энергосистема



### Целевая модель: энергосистема с интеллектуальной сетью



Г  
р  
и  
д  
а  
н  
и  
е  
с  
у  
щ  
е  
с  
т  
в  
я  
ю  
щ  
е  
й  
э  
н  
е  
р  
г  
о  
с  
и  
с  
т  
е  
м  
е

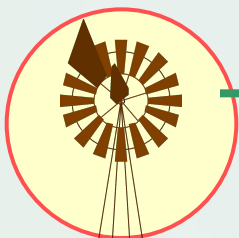
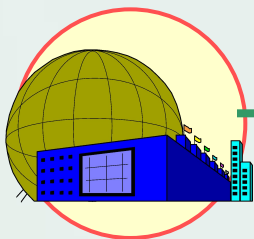
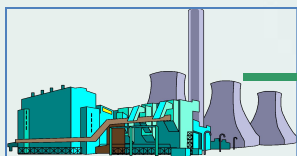




## ПОСТАВЩИКИ :

## ПОТРЕБИТЕЛИ:

Оптовые и территориальные генерирующие компании, импортеры



## ИНФРАСТРУКТУРА

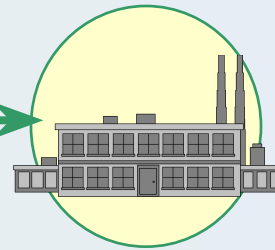
Администратор торговой системы



Системный Оператор



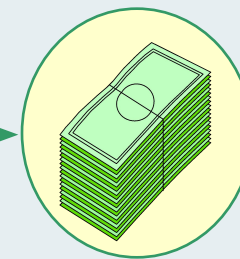
Федеральная и региональные сетевые компании



Крупные потребители



Сбытовые компании (включая ГП):  
покупка для розничных потребителей

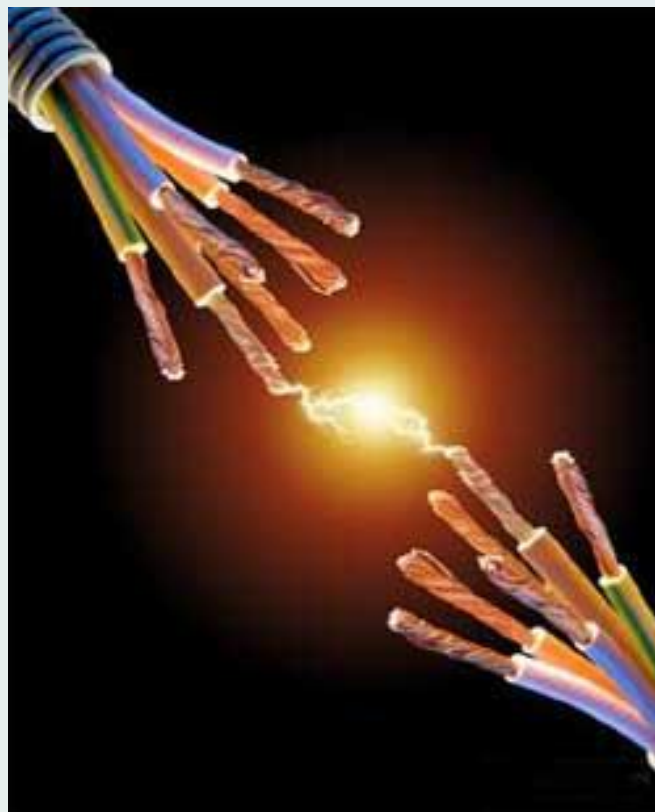


Экспортеры



1. Какие проявления электричества Вы знаете?
2. В каких единицах измеряется напряжение?
3. В каких единицах измеряется электрический ток?
4. Назовите примеры теплового действия электрического тока
5. Дайте определение постоянного и переменного тока (применительно к практическим применениям)
6. С чем связано понятие «активное сопротивление» в электрической цепи?
7. Что такое активная мощность в цепи переменного тока?
8. Что такое реактивная мощность, с какими элементами электрической цепи она связана?
9. Что такое полная мощность?
10. Почему необходимо стремиться к повышению коэффициента мощности у потребителей электрической энергии?

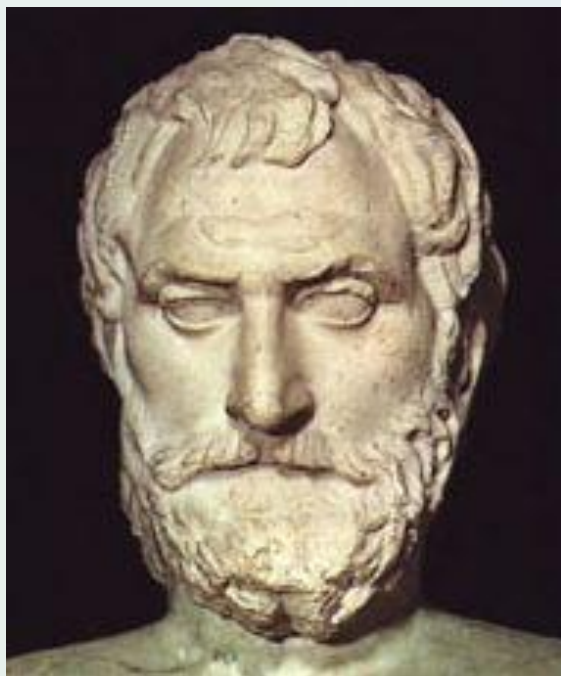
Спасибо за  
внимание!





## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Из истории познания электричества и магнетизма



*Фалеса из Милета*

640/624 — 548/545 до н. э

Само свойство электризации (от греческого названия янтаря — **электрон**) при трении тела о шерсть было известно ещё древним грекам (его первооткрывателем считают философа **Фалеса из Милета**, жившего в 640—550 годах до нашей эры), но только после становления физики как экспериментальной науки, заложенной Галилео Галилеем, это явление стало изучаться как средство для исследования и использования свойств физических тел.



**Вильям Гилберт**  
**(1544-1603)**

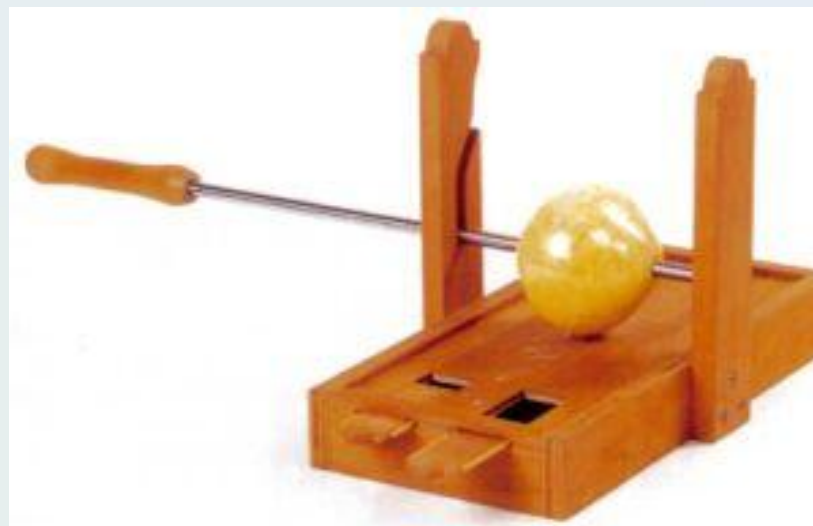
*Электризация — это накопление на теле заряда одного типа, причём заряды одного знака отталкиваются, а заряды разного знака притягиваются друг к другу и компенсируются при соединении, делая тело нейтральным (незаряженным).*

Термин электричество (electricity) введён английским естествоиспытателем, лейб-медиком королевы Елизаветы Тюдор **Вильямом Гилбертом** в его сочинении «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле» (1600 год), в котором объясняется действие магнитного компаса и описываются некоторые опыты с наэлектризованными телами.



**Отто фон Герике  
(1602-1686 гг.)**

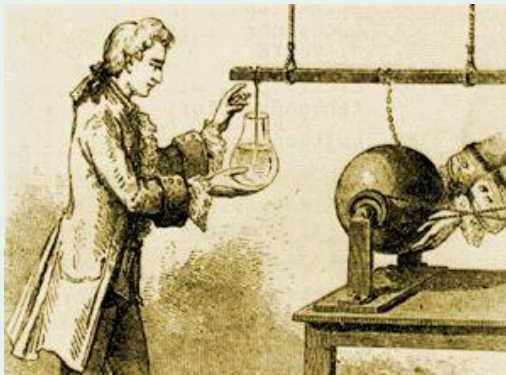
**Магдебургский бургомистр Отто фон Герике** в 1659 г. изготовил шар из серы, насадил его на железную ось, укрепленную на деревянном штативе. При помощи ручки шар мог вращаться и натираться ладонями рук или куском сукна, прижимаемого к шару рукой. Это была первая электростатическая машина. О. Герике удалось заметить слабое свечение электризуемого шара в темноте.



**Электростатическая машина. О. Герике**



Питер Мюсхенбрук  
(1692-1761 гг.)



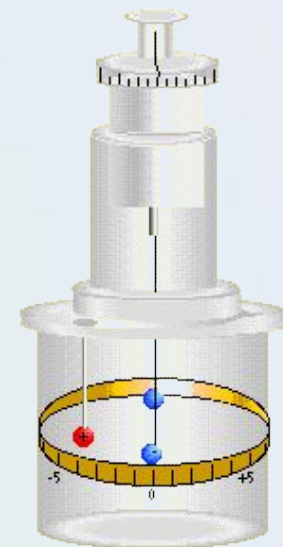
Голландский профессор из г. Лейдена Питер Мюсхенбрук (Мушенбрук) в 1745 г. взял стеклянную банку (колбу), наполненную водой (которая являлась проводником), опустил в неё медную проволоку висевшую на кондукторе электростатической машины, и попросил своего помощника вращать шар машины. При этом он правильно предположил, что заряды, поступившие в кондуктора, будут накапливаться в стеклянной банке. После того, как по его мнению, в банке накопилось достаточное количество зарядов, он решил левой рукой отсоединить медную проволоку. При этом ощутил сильный удар.



Шарль Огюстен де Кулон  
(1736-1806 гг.)

Таким образом сложилась электрическая теория вещества, согласно которой физические тела представляют собой комплексы взаимодействующих частиц, имеющих электрические заряды, и многие свойства физических тел определяются и могут быть описаны с помощью законов, математическими соотношениями количественно выражающих их взаимодействие и движение.

Закон взаимодействия зарядов был экспериментально изучен в 1785 году Шарлем Кулоном с помощью разработанных им чувствительных **крутильных весов** — он нашёл, что сила взаимодействия между заряженными телами обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, и это поставило науку об электричестве в ранг точных дисциплин, в которых можно применять математические методы.



Крутильные  
весы



**Луиджи Гальвани  
(1737–1798)**

Луиджи Гальвани препарировал лягушку, а неподалеку стояла электростатическая машина. Когда острое скальпеля коснулось бедренных нервов, то, как писал Гальвани, «немедленно все мышцы конечностей начали так сокращаться, что казались впавшими в сильнейшие тонические судороги». Помощник Гальвани заметил, что в этот самый момент между полюсами машины проскочила искра.

Такие же результаты были впоследствии получены и на других животных и не только холоднокровных. Электрическую машину в опыте с лягушкой вполне мог заменить разряд в лейденской банке и, как впоследствии выяснилось, атмосферный разряд – молния. Гальвани объяснил это необычное явление существованием некоего «животного электричества».



Алессандро Вольта  
(1745–1827)



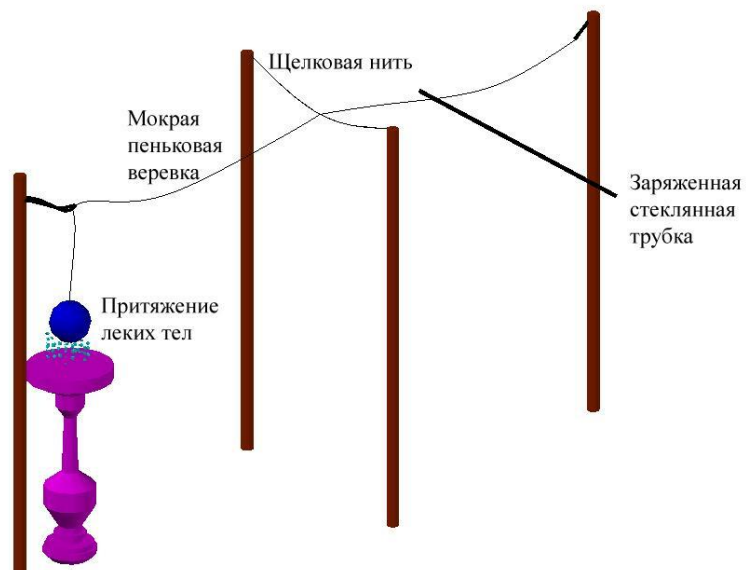
Раскрыть природу открытого Гальвани явления удалось итальянскому физику Алессандро Вольта. Вначале он вообще не поверил Гальвани, но, повторив его опыты, убедился в том, что явление действительно существует. Однако опыты с проволокой он объяснил совершенно иначе: электричество возникает при контакте разных металлов, а лягушка – это просто очень чувствительный прибор для измерения и к образованию электричества как такового отношения не имеет. Опытным путем Вольта расположил металлы в ряд таким образом, что чем дальше друг от друга отстоят они в этом ряду, тем более сильный эффект производят. Химики с удивлением обнаружили, что в таком же порядке изменяется и химическая активность металлов. В настоящее время этот ряд называется рядом напряжений или, точнее, рядом **электродных потенциалов**. В основных чертах он имеет вид  $\text{Li...Mg...Zn...Fe...Sn...H...Cu...Ag...Au}$ .

В память о Гальвани, умершем в 1798, Вольта назвал свои элементы гальваническими.





Первые публичные опыты иллюстрирующие принципы проводимости и изоляции электрической энергии продемонстрировал *Stephen Gray* (1666-1736) приблизительно в **1730** году. В качестве проводника статического электричества использовалась мокрая пеньковая веревка, а в качестве изолятора – шелковая нить. Протяженность такой линии электропередачи составила 800 английских футов ( $\approx 243,84$  метра).



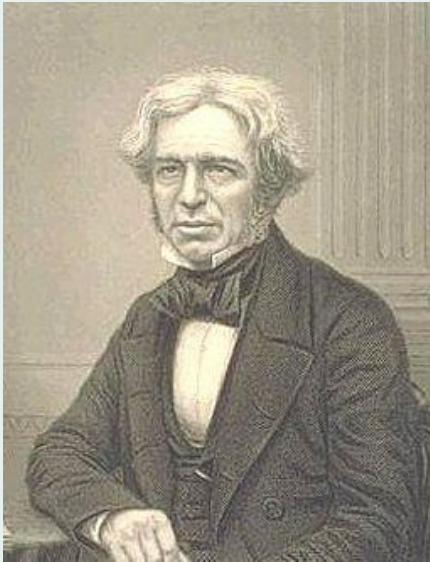
Когда пеньковая веревка была заменена на металлический провод, протяженность линии увеличилась до нескольких миль (1 миля=**1609,344** м).



**Осень 1812** - Шиллинг производит взрыв на Неве подводной мины. В качестве проводника электрического тока использовались медные провода покрытые двумя слоями изоляции: сначала шелковой нитью, а затем, после пропитки шелковой обмотки смолистым составом, второй обмоткой из пеньковой пряжи и вторично пропитывать обмотку смолистым составом. В качестве смолистого состава использовался – **озокерит**. Из изолированных таким образом проволок сплетался двухпроводный шнур, соединявший батарею Шиллинга (вольтов столб) с западом.

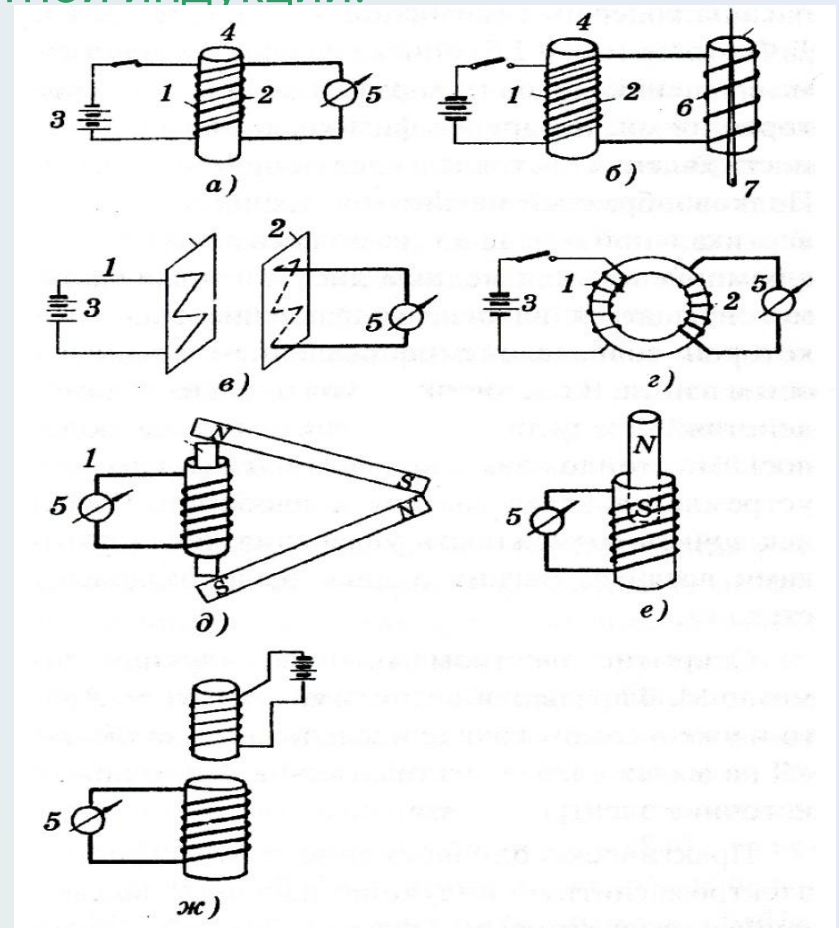
Проводники такого же типа использовались Шиллингом при создании одного **из первых телеграфных аппаратов в 1832 году**. Телеграфная линия соединяла Зимний дворец и здание министерства путей сообщения.

**Озокерит** (от греч. ozo — пахну, и keros — воск) (горный воск) — природный углеводород из группы нефти, по другим данным — из группы нефтяных битумов, иногда условно относимый к минералам. **Очищенный озокерит** называется **церезином**.



**МАЙКЛ ФАРАДЕЙ**  
(1791 — 1867)

В ноябре 1831 года Майкл Фарадей сделал доклад в Королевском обществе в котором была изложена сущность явления электромагнитной индукции.



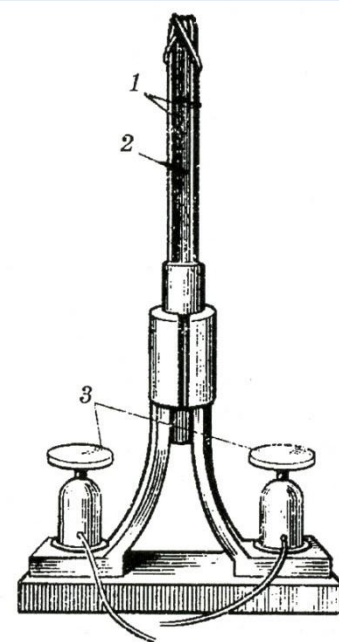


**Яблочков**  
**Павел**  
**Николаевич**  
**(1847-1894 гг.)**

В 1802 году В.В. Петров установил, что при помощи электрической дуги «темный покой довольно ясно освещен быть может».

В 1876 году П.Н. Яблочков создает свою знаменитую свечу. В отличие от ранних дуговых ламп, он располагает угольные стержни не на встречу друг другу, а параллельно. Время горения одной свечи около 2 часов.

В это время впервые введено стандартное напряжение 110 В. Связано это было с расширением количества электроприемников – дугов

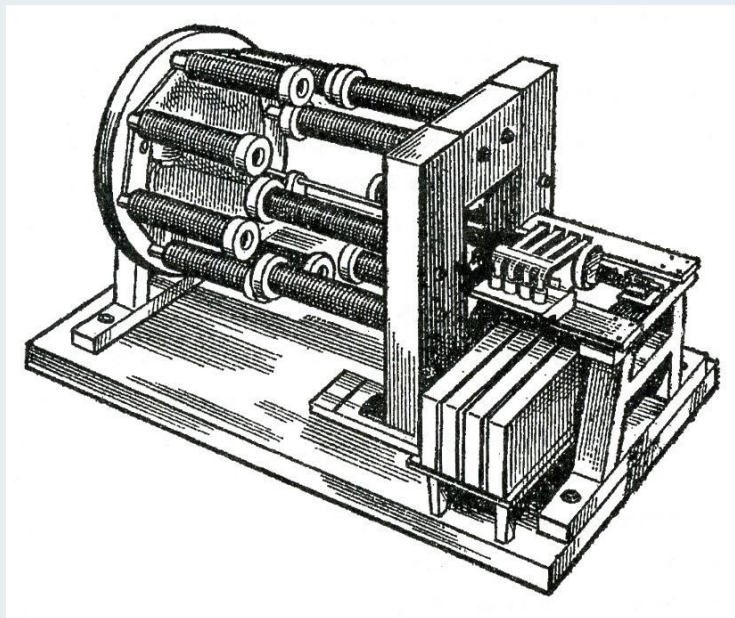


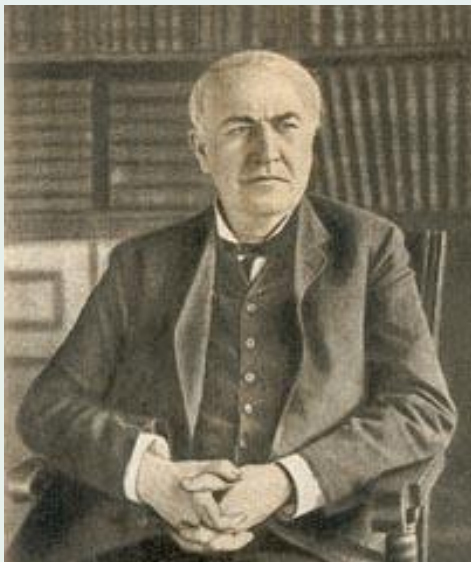
**Электрическая свеча**



**Борис Семенович  
Якоби  
(1801-1874)**

В 1834 году Борис Семенович Якоби сконструировал первый электродвигатель. Этот электродвигатель работал по принципу взаимодействия двух комплектов электромагнитов, один из которых располагался на подвижной раме, другой на неподвижной. Источником питания являлась гальваническая батарея.





**Эдисон  
Томас  
Алва**  
(1847-1931 гг.)

В 1882 г. Томас Алва Эдисон и Дж. Гопкинсон совместно разработали трехпроводную систему, в которой два генератора постоянного тока по 110 В соединялись последовательно и от средней точки выводился нейтральный или компенсационный провод. Между ним и основными проводами было напряжение 110 В, а между основными проводами – 220 В. При равенстве нагрузок в нейтральном проводе ток был равен нулю, а при неравенстве ток определялся как разность токов в основных проводах. Это давало возможность иметь нейтральный провод меньшего сечения (до  $1/2$ ,  $1/3$  от сечения основных проводов). Применение такой системы позволило увеличить радиус экономичной передачи энергии до 1200 м.

По аналогии с этой системой стали создаваться многопроводные линии с большим числом последовательно соединенных генераторов, вплоть до четырех в пятипроводной линии. Это давало экономию меди проводов и позволяло увеличить радиус до 1500 м. Так исторически сложились величины напряжений 220, 330, 440, 550 В. Некоторые из них применяются редко (330 В), другие нашли узкую область применения. Так, городской трамвай имеет напряжение 550 В.



**Доливо-  
Добровольский  
Михаил  
Осипович**  
(1862-1919 гг.)

В 1891 г. на Франкфуртской электротехнической выставке была представлена система передачи энергии на трехфазном токе из Лауфена на реке Некар (приток Майна) во Франкфурт на Майне. Длина линии 170 км, провода воздушные, расстояние между опорами около 60 м.

В состав системы входили:

- водяная турбина мощностью 304 л.с.;
- трехфазный синхронный генератор 230 кВА, 95 В, соединение обмоток статора в «звезду», частота 30-40 Гц, 150 об/мин;
- повышающий и понижающий трансформатор;
- трансформаторы для питания освещения и асинхронный короткозамкнутый двигатель мощностью 100 л.с. с числом полюсов, равным восьми, что соответствовало синхронной скорости 450-600 об/мин. Двигатель приводил во вращение гидронасос. На выставке имитировался водопад на реке Некар, приводивший во вращение турбину.

Напряжение в линии передачи вначале было 15 кВ, а затем после установки новых трансформаторов оно было доведено до 28,3 кВ.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

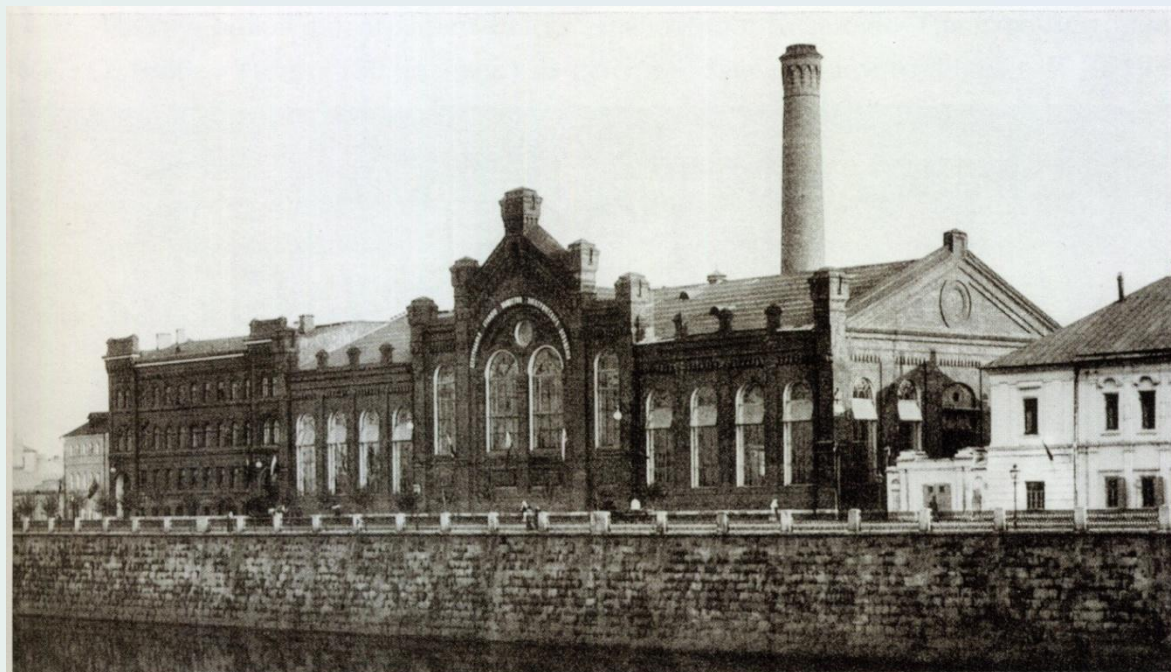
Из истории создания электроэнергетических систем





*Георгиевская электростанция*

В Москве «Обществом Электрического Освещения 1886» в 1888 г. построена электростанция «Георгиевская» мощностью 600 кВт номинальным напряжением 100 В. Электроэнергия передается по подземным КЛ сечением 600 мм<sup>2</sup>. Общая протяженность сети 50 км.



*Общий вид станции на Раушской набережной, 1900 год. - такая была электростанция*

1897 г. – на Раушской набережной построена электростанция переменного тока напряжением 2 кВ мощностью 3,3 МВт; 1902 г. – мощность 6,5 МВт; 1905 – 10,5 МВт; 1917 – 57 МВт.

Первые годы электроэнергия распределялась по трехжильным кабелям с джутовой изоляцией (напряжение 2 кВ).

1912 г. – трехжильные КЛ с бумажной поясной изоляцией на напряжение до 20 кВ;

Пропускная способность не удовлетворяла потребностям поэтому напряжение подняли сначала с помощью трансформаторов, а затем заменив генераторы, до 6 кВ.