

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального  
образования

---

Северо-Западный государственный заочный технический университет

Т. Е. Харламова

# **ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ**

## **ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**

Санкт – Петербург  
2006

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия

УДК 621.31.000.93 (075)

Харламова Т. Е. История науки и техники. Электроэнергетика. Учеб. пособие.

– СПб.: СЗТУ, 2006. –126 с.

Учебное пособие соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

Содержание учебного пособия включает описание: основных этапов развития науки и техники; истоков электростатики и магнетизма; первых законов электротехники и формирования ее научных основ; развития электротехники и влияния на нее потребностей промышленности; работы ученых и изобретателей, внесших большой вклад в развитие электротехники и электроэнергетики; начало массового производства, распределения и использования электрической энергии; экологических проблем развивающейся электроэнергетики.

Пособие предназначено для студентов специальности 140211.65 третьего курса, а также для студентов электроэнергетических специальностей, изучающих дисциплину «История науки и техники. Электроэнергетика», и может быть интересно и полезно всем тем, кто интересуется историей развития электроэнергетики.

Рецензенты: кафедра электроснабжения СЗТУ (заведующий кафедрой Г. З. Зайцев, канд. техн. наук, проф.), С. И. Джаншиев, канд. техн. наук, доц.; А. И. Рудской, д-р техн. наук, проф. СПбГПУ; М.И. Божков, канд. техн. наук, генеральный директор НПЦ АПЭС

## ПРЕДИСЛОВИЕ

История есть наука о будущем. Чтобы управлять нашим будущим и направлять его к нужным целям в областях науки, техники, электроэнергетики, надо знать историю их развития, уметь пользоваться ее уроками.

В соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования данное учебное пособие содержит изложение основных этапов развития науки и техники (разд. 1), энергетики (разд. 2), электротехники и электроэнергетики (разд. 3). В разделе 3 рассматриваются наиболее известные открытия, изобретения, труды ученых и изобретателей в области электростатики и магнетизма (п. 3.1); первые законы электротехники и формирование ее научных основ (п. 3.2); начальный период использования электричества и создание электрических машин (п. 3.3); исследование и применение электротехнических материалов (п. 3.4).

Истории создания первых электрических станций посвящен п. 3.5. Он включает в себя краткое описание электростанций на невозобновляемых и возобновляемых источниках энергии, а также перспективные источники электроэнергии; начало массового производства, распределения и использования электрической энергии.

В п. 3.6. и 3.7. приводится история развития электроэнергетики и энергосистем в России.

В разделе 4 рассматриваются вопросы воздействия электроэнергетики на окружающую среду и возникающие при этом проблемы.

В конце учебного пособия приводятся 4 приложения, включающие в себя авторов основных понятий и терминов электроэнергетики (прил.1); отечественных ученых и специалистов, внесших большой вклад в создание и теорию электрических машин и устройств в XX в. (прил.2); перечень первых учебных заведений в России с преподаванием электротехники (прил.3); хронологию открытий и изобретений в области электричества и электроэнергетики (прил. 4).

Перед оглавлением приводится краткий предметный указатель.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 140211.65 – «Электроснабжение».

*Чтобы знать предмет,  
надо знать историю предмета.  
А.А. Гегель*

## **ВВЕДЕНИЕ**

В данной работе рассматриваются вопросы исторического развития науки и техники, электроэнергетики.

Знания эти важны как для студентов, получающих образование в этом направлении, так и для специалистов, работающих в электроэнергетике.

Знание истории развития науки и техники, этого важнейшего направления деятельности любого государства, позволяет правильно оценить существующую обстановку в электроэнергетической отрасли, учесть опыт предыдущих поколений и развивать отрасль с учетом этих факторов.

Развитие электроэнергетики есть мощная сила, которая влияет на жизненный уровень людей, изменяет характер общества, является причиной социальных перемен и направляет общественное развитие.

Содержание данной дисциплины построено таким образом, чтобы изучающий ее мог первым делом сразу охватить круг основных вопросов дисциплины, ознакомиться с ключевыми словами и понятиями, их происхождением и значениями сначала в общем виде, а затем несколько подробнее изучить содержание каждого из понятий – история, наука, техника, технология, прогресс, инженер, энергия, энергетика, электроэнергетика и т. п.

Для удобства изучения дисциплины в первой части работы даны краткие определения узловых слов, их основные понятийные значения, а затем каждому из названий посвящен отдельный параграф, раскрывающий более или менее подробно их суть.

В последующих разделах приводится история научных открытий и изобретений в смысловом и хронологическом порядке, их техническое использование в области электричества и электроэнергетики.

Обращается внимание на перспективы дальнейшего развития некоторых направлений в области получения электроэнергии на нетрадиционных источниках энергии.

В конце пособия кратко освещаются вопросы влияния работы электроэнергетических устройств на окружающую среду.

## **Ключевые слова и понятия в дисциплине**

История (гр. historia) – исследование: 1) действительность в ходе ее развития, движения; 2) прошлое, сохраняющееся в памяти человечества; 3) наука о развитии человеческого общества, области знания, природы, техники, прогресса, культуры и т. п.

Наука – 1) то, что поучает, дает опыт, урок; 2) выработка и систематизация объективных знаний о действительности; 3) система знаний о закономерностях в развитии природы, общества, мышления, техники, культуры и др.

Прогресс – (лат. progressus) – 1) движение вперед, к более совершенному состоянию; 2) изменение к лучшему; 3) переход на более высокую ступень развития.

Техника – (гр. techne) – ремесло, мастерство, искусство.

Технология – (гр. techne + logos (учение)) – совокупность знаний о способах и средствах проведения процессов.

Инженер – (лат. ingium – выдумка, изобретательность; фр. ingénieur) – острый изобретательный ум.

Энергия — (гр. energeia – деятельность) – 1) одно из основных свойств материи – мера ее движения; 2) деятельная сила; 3) общая количественная мера различных форм движения материи (поля).

Энергетика – методы и средства применения и эксплуатации различных видов энергии для промышленных, транспортных, сельскохозяйственных и других нужд.

Электроэнергетика – ведущая отрасль энергетики, – сложное техническое образование, тесно взаимодействующее с топливным хозяйством и основными отраслями добывающей и перерабатывающей промышленности, транспортом и сельским хозяйством.

## **1. ИСТОРИЯ. НАУКА. ТЕХНИКА. ЭНЕРГЕТИКА**

### **1.1. История**

История – исследование, совокупность фактов, событий, относящихся к прошедшей жизни человечества, какой-то отрасли науки или техники, объекта, культуры и т. п. Это память о прошлом, о выдающихся событиях, людях. Понятия «история», «исторический факт» включают в себя не только прошедшие события, но и то, что имеет отношение к человеку, к его внутреннему миру. История воспитывает и формирует человека, она великий учитель человека и общества.

Назначение каждого поколения людей в том, чтобы:

- освоить то, что им оставлено прошлыми поколениями;
- внести своим трудом новое – создать, построить, исследовать, усовершенствовать;
- передать это все будущему поколению.

Сообщая знания в том виде, в каком они впервые были получены, история показывает приемы работы и ход творческой мысли, учит смелости и инициативе, воспитывает чувство нового и побуждает к действию. Правомерно сказать, что история есть наука о будущем. Если мы хотим управлять своим будущим и направлять его к нужным целям, то одним из главных средств для этого служит изучение истории – чтобы выявить, как развивалось и развивается, например, наше общество, или наука и техника, и как воспользоваться в наше время полезнейшими уроками истории.

Изучение исторического прошлого имеет практическое значение, так как его итоговые выводы подводят нас вплотную к практическим потребностям текущего момента.

История неисчерпаема и бесконечна. Она продолжается и сейчас. Мы являемся современниками и свидетелями многих изобретений, открытий, которые вносят и еще внесут много изменений в материальную, социальную, культурную и духовную жизнь человечества, в мировое знание – это радио, телевидение, ядерная и термоядерная энергетика, компьютерная техника, нанотехнологии и т. п.

Развитие электротехники и электроэнергетики – наших с вами областей исследования – связано с работами очень многих людей: гениев, изобретателей, любознательных людей, ученых – равнодушных, мыслящих, трудолюбивых, нравственно богатых людей.

Изучение истории электроэнергетики является своего рода приобщением, затрагивает побудительные и мотивационные стороны личности, экономические потребности. При этом возникает эффект присутствия, который позволяет быть как бы соучастником рассматриваемых событий.

**Опираясь на духовный и нравственный опыт веков, проникаясь историческим чувством, человек исподволь вырабатывает в себе персональную ответственность за все прошедшее и происходящее в мире. В нем укрепляется чувство нравственного долга, которое является ядром истинной личности.**

История науки и техники внушает веру в преодолимость трудностей, в безграничные возможности человека.

## 1.2. Наука

Наука в каждый рассматриваемый момент времени представляет собой итог – совокупность знаний о природе, обществе, мышлении, накопленных в ходе общественно-исторической жизни людей.

Цель науки – вскрывать объективные законы явлений, давать им объяснение.

Задачи науки – за случайным, хаотичным найти и исследовать объективные законы, скрытые от поверхностного взгляда, и вооружить знанием этих законов людей для их практической деятельности.

В истории человечества наблюдаются четыре стадии познания природы.

Первая стадия начинается с древнейших времен (Архимед, Фалес Милетский и др.) и заканчивается примерно XV в. В ней формируется *синкретическое*, то есть *недетализированное* представление об окружающем мире; но уже в XIII-XIV веках зарождаются идеи и догадки, ставшие началом становления естественных наук.

Вторая стадия – XV-XVI в.в. – называется аналитической, поскольку в этот период мышление начинает ориентироваться на расчленение понятий и выделение частных, что привело к возникновению и развитию наук: астрономии, физики, химии, биологии, и других.

Третья стадия – XVII-XX в.в.; ее называют синтетической. В это время происходит постепенное воссоздание целостной картины природы на основе ранее накопленного опыта.

Четвертая стадия – конец XX в., начало XXI в. Здесь начинает формироваться интегрально-дифференциальный подход к познанию природы, то есть рассматривается единая наука о природе. Вселенная, Жизнь, Разум – трактуются как единый, но очень многогранный объект естествознания.

Прогноз дальнейшего – ведущая роль в дальнейшем познании природы принадлежит синтезу знаний, интеграции наук, в центре которых будет находиться человек.

Наука – многоаспектный, многогранный и сложно устроенный феномен. Наука – это и *экспериментальные средства*, необходимые для изучения явлений – в их число входят приборы и установки, с помощью которых эти явления фиксируются и воспроизводятся; это и *методы*, посредством которых выделяются и познаются предметы исследования; это и *люди*, занятые научными исследованиями; это и *системы знаний, зафиксированные с помощью текстов* и т. п.

**Общей основой перечисленных явлений служит технология человеческой деятельности по производству знаний, то есть наука – это определенная человеческая деятельность, которая направлена на получение знаний.**

Развитие науки и техники всегда происходит в конкретных исторических и культурных условиях, определяемых прежде всего производительными силами общества, способом производства. Достижения науки и технический прогресс одновременно с этим способствуют эволюции общества, генерируя и определяя уровень производительных сил.

Сначала наука многое взяла у мастеров – инженеров эпохи Возрождения, затем, в XIX-XX в.в. инженерная деятельность стала строиться уже в соответствии с наукой. Специализация и профессионализация науки и техники привели к технизации науки и гуманизации техники.

Вся история человечества показывает, что наука развивается под влиянием практических потребностей и, в первую очередь, потребностей производства. Однако потребности производства не определяют всей сложной динамики формирования знаний, создания новых идей, теорий, выводов. Здесь действуют свои собственные законы. Например, история развития естественных наук дает много примеров научных открытий, которые не порождались непосредственно запросами жизни:

- открытие электричества,
- дифракции,
- магнетизма,
- поляризации,
- периодической системы элементов и многое другое.

Научные фантасты, художники, писатели иногда способны вторгнуться в неведомое будущее и разглядеть контуры грядущих веков. Приведем этому несколько примеров.

Англичанин Роджер Бэкон в XIII в. (примерно 1240-е гг.) занимался языками, математикой, астрономией, физикой, химией и сделал многочисленные важные открытия. Он писал о колесницах,двигающихся с невероятной быстротой без помощи животных, о летающих машинах, о свойствах вогнутых и выпуклых стекол для глаз (очки), создал теорию телескопа и многое другое. Один из величайших умов человечества!



В XVI веке (1560-е гг.) Френсис Бэкон (однофамилец Роджера) – создал одно из блестящих творений человеческого разума – произведение «Новая Атлантида», в котором он изложил проект государственной организации науки, описал основы логики обновления науки, указал на возможность полезного применения наблюдаемых в природе явлений, предсказал создание подводных лодок, самолетов, кино, радио, телевидения, бионики, термоядерного реактора и многое другое.

В романе русского фантаста Н. Шелонского «В мире будущего» (1892 г.) идет речь о превращениях элементов, о синтетических материалах, о передаче мыслей на расстоянии, об антигравитации и многом другом.

А. Толстой в произведении «Гиперболоид инженера Гарина» подробно описал проект лазера.

Рассказ И. Ефремова «Тени минувшего» (1945 г.) натолкнул ученого Ю. Денисюка на открытие объемной голографии.

Из 86 предсказаний писателя-фантаста Г. Уэллса сбылось более 30-ти, а у фантастов Жюль Верна и А. Беляева сбылось 90 % прогнозов.

В связи с вышеизложенным считаем уместным привести мудрую народную пословицу: «Новое – это давно забытое старое». Это важно помнить каждому поколению и проявлять интерес и уважение к трудам и фантазиям людей, живших до нас.

Далее рассмотрим некоторые законы развития науки.

Первый закон. Он называется законом относительной самостоятельности развития науки.

Такая относительная самостоятельность включает в себя *внутреннюю логику развития, потребность в систематизации знаний, борьбу мнений, взаимное влияние наук, взаимодействие с разными формами общественного сознания, преемственность идей* и т. п. – то есть все те факторы, от которых, если не считать потребности производства (или бытовые), зависит развитие науки.

Второй закон. Следующий закон отражает такие явления, как критика и борьба мнений в науке. То есть развитие науки происходит на основе борьбы новых и старых идей. Без учета эмоциональных дискуссий нового знания со старым, без правильного понимания традиций в науке невозможно понять прогресс науки в целом.

История науки есть история смены различных теорий и их борьбы. Неполнота, несовершенство знаний неизбежно приводит к тому, что один и тот же ряд наблюдаемых фактов получает разное объяснение у разных ученых, они видят эти факты как бы с различных ракурсов. Это зависит от различия взглядов, склада мышления, дарования и т. п. Однако с течением времени наука неизбежно приходит к единому взгляду на них.

Третий закон. Этот закон выражает взаимодействие наук и имеет сейчас особенно важное значение для понимания происходящих процессов научно-технического прогресса.

Наука представляет собой единое целое. Существующее разделение науки на отдельные области обусловлено различием природы вещей и закономерностей, которым эти вещи подчиняются в процессе движения и развития. Различные области науки развиваются, взаимодействуя друг с другом разными путями:

- через использование знаний, полученных другими науками;
- посредством использования методов изучения других наук;
- через технику и производство;
- через изучение общих свойств различных видов материи.

Четвертый закон характеризует процесс *математизации* практически всех научных дисциплин. Математика проникает сейчас даже в такие области знания как история, лингвистика, биология и др. С помощью ЭВМ расшифровываются древние рукописи Майя и т. п. Во многих разделах физики, астрономии – математика является незаменимым аппаратом.

Пятый закон относится к дифференциации и интеграции наук, которые неизменно присутствуют в развитии современного естествознания.

Процесс *дифференциации* – *перерождение различных ветвей науки в самостоятельные научные дисциплины*. Вместе с тем этот процесс сопряжен с процессом *интеграции*, *связывающим разные отрасли естествознания*, так как наблюдается бурное развитие пограничных наук: генная инженерия, молекулярная геология, биогеохимия, инженерная психология и др.

Шестой закон – преемственность в науке. Наука представляет собой продукт деятельности многих поколений. Ее объективное содержание не ликвидируется вместе с ликвидацией общественного строя, а развивается и накапливается на протяжении всей истории человечества. Использование и развитие знаний, накопленных предыдущими

поколениями, то есть *преемственность*, представляет собой *объективный закон развития* науки. Без него просто невозможно никакое развитие!

Седьмой закон, открытый Ф. Энгельсом, – ускоренное развитие науки – действует и сейчас. Достижения XIX века во много раз превосходят достижения XVIII века, а достижения XX века (даже второй его половины) превосходят достижения предыдущих времен.

Восьмой закон свидетельствует о неизбежности научных революций. Анализ истории развития естествознания показывает, что оно развивалось очень неравномерно. Периоды относительной стабильности, постепенного накопления знаний неизбежно с течением времени сменялись более кратковременными периодами революций, когда происходит коренная ломка теоретических представлений, считавшихся ранее незыблемыми.

Девятый закон описывает усиление связи науки с производством, что в итоге привело к пониманию науки как одного из важнейших элементов производительных сил. В результате возникла *техногенная* цивилизация, на смену которой идет *антропогенная* цивилизация или *постиндустриальное* общество.

***Наука есть создание жизни. Из окружающей жизни научная мысль человека берет приводимый в форме научной истины материал. Наука есть проявление действия в человеческом обществе совокупной человеческой мысли.***

***В. И. Вернадский.***

### 1.3. Техника

Техника – (гр. – искусство, ремесло, мастерство). *Развитие техники*, в том числе энергетики и электроэнергетики, – *есть мощная сила, которая влияет на жизненный уровень людей, изменяет характер общества, его общественный строй* – первобытный, рабовладельческий, феодальный, крепостнический, капиталистический, социалистический и т. д. *Развитие техники является причиной социальных перемен и направляет общественное развитие.*

Техника в конце XIX-XX веков находилась в фокусе изучения различных дисциплин как технических, так и естественных, а также общественных.

*Технику можно отнести к сфере материальной культуры.* Своими приспособлениями, устройствами она усилила наш слух, зре-

ние, силу и ловкость; она сокращает расстояние и время, увеличивает производительность труда. Облегчая удовлетворение потребностей, она тем самым порождает новые потребности.

Техника подарила человечеству пространство и время, материю и силу, и сама служит той силой, которая неудержимо гонит вперед колесо прогресса.

Но! *Материальная культура тесно связана у человека с духовной культурой самыми неразрывными узами, и поэтому техника имеет и нематериальный аспект в виде совокупности знаний.*

Наука и техника строятся из фактов и опыта. Но не организованное творческой мыслью простое собрание фактов, опытов, наблюдений так же мало заслуживает названия науки и инженерии, как груда кирпичей заслуживает названия дома.

Техника имеет свои объективные законы строения и развития (как и наука). В связи с неизбежным развитием и усложнением мира техники, ускоряющимся научно-техническим прогрессом все большую актуальность приобретают знания о самой технике в целом – единые представления о строении и развитии самых различных машин, приборов, аппаратов. Поэтому требуется расширение общетехнической и фундаментальной подготовки инженеров.

***Исследование и формулировка объективных законов строения и развития техники по аналогии с законами природы – одно из главных и мало разработанных направлений общетехнической фундаментализации инженерного образования.***

***Ак. И. Ф. Образцов.***

Становление единой системы научных знаний вводит в область техники понятие «техносфера» (по аналогии с биосферой, ноосферой, атмосферой и т. п.). Это понятие фиксирует некоторые целостные параметры происходящих в технике и технологии естественных процессов.

Техносфера может быть определена как *система отношений между человеком и природой*, в которой техника выступает как посредник и источник формирования определенного типа взаимодействия – между *техникой* – как *искусственной средой*, и *природой* – как *естественной средой*.

Техника – 1) это совокупность средств труда, орудий, с помощью которых создают что-то; 2) это машины, механические орудия, всевозможные устройства; 3) это совокупность знаний, средств, способов, используемых в каком-нибудь деле.

Техника может быть интерпретирована:

- как совокупность технических устройств – от отдельных простейших орудий до сложнейших технических систем;
- как совокупность различных видов технической деятельности, по созданию этих устройств и систем;
- как совокупность технических знаний, научно-теоретических, а также системотехнических.

Развитие технических знаний необходимо рассматривать в единстве с прогрессом естественно-научных знаний. Однако следует принимать во внимание относительную самостоятельность развития технического знания и его обусловленность прогрессом естествознания и техники.

Можно выделить четыре этапа в развитии технических знаний.

I этап. Донаучный (от первобытно-общинного строя и кончая эпохой Возрождения), когда технические знания существовали как эмпирическое описание средств трудовой деятельности и способов их применения.

II этап. Начало использования научных знаний (от второй половины XV века до начала XIX века), когда для решения практических задач начинают использовать научные знания. В это время продолжается становление естествознания.

III этап. Охватывает период с XIX века до середины XX века. Это так называемый классический период в истории естествознания и технических наук, когда между ними складываются устойчивые взаимосвязи.

IV этап – от середины XX века до начала XXI века. В этот период происходит интеграция технического и естественно-научного знания, к которому начинают подключаться и социально-гуманитарные знания. Это происходит в результате становления автоматизированных производств, развития информатики, космонавтики, новых технологий – информационной, биотехнологии, нанотехнологии и др. Возникает, по аналогии с биосферой и ноосферой, область техники – техносфера.

Техносфера представляет собой систему отношений:

- между человеком и природой;
- между техникой и природой;
- между человеком и техникой;
- техники и основ цивилизации и культуры.

Существует мнение, что техносфера сейчас занимает не только приоритетное место, но и поработает человека, подчиняя его законам своей эволюции.

Нужно иметь в виду, что *человеческое общество еще не научилось адекватно использовать достижения технического прогресса, так как психологические и культурные процессы идут медленнее научно-технических.*

#### 1.4. Технология

Технология (techne – искусство, мастерство, умение, и logos – слово, знание) – совокупность приемов и способов получения, обработки или переработки сырья, материалов, полуфабрикатов или изделий, а также информации, осуществляемых в различных отраслях промышленности, строительстве, производстве, образовании и т. д. Также технологией называется *научная дисциплина, разрабатывающая приемы любого вида деятельности человека.*

Развитие технологических знаний необходимо изучать в единстве с прогрессом естественнонаучных знаний.

#### 1.5. Инженер

Слово «инженер» вошло в мировой обиход с XIX века. Этим словом стал называться человек, занимающийся постройкой какого-либо сооружения, устройства, моста, машины, приспособления и т. п. в качестве руководителя. В старину в Англии такого человека называли капитан; во Франции – мэтр; в Германии – мейстер (мастер), а в России – размысл (розмысл).

Размысл обязан был размыслить поставленную перед ним задачу со всех сторон, опираясь не только на свой опыт, но и на опыт, накопленный его предшественниками, на свой ум, изобретательность, мечту, фантазию.

Таким образом, русское название «размысл» по своему существу предвосхитило то понимание роли руководителя в разрешении технических задач, которое установилось в значительно более позднюю эпоху – в XIX веке – и воплотилось в понятии «инженер».

Раскопки древних городов, крепостей дают множество доказательств существования инженерного дела (дела размыслов) в очень далекие времена – XII – XIV века. Например, первый наплавной мост в мире через Днепр около Киева, упоминаемый в летописях в 1115

году, был построен при Владимире Мономахе, а деревянный мост через Волгу был построен при Дмитрии Донском – в 1380 году.

Наука, техника, искусство – различные области творчества человека. Техника стоит в какой-то мере между наукой и искусством, как и инженер в какой-то мере объединяет в себе и художника и мыслителя.

### 1.6. Энергия, энергетика, электроэнергетика

*Материальная жизнь человечества связана с двумя основными началами – веществом и энергией.* Поэтому все техническое творчество человека на всех этапах развития общества сводилось, по существу, к видоизменениям и превращениям как вещества, так и энергии.

Энергия (гр. *energeia* – деятельность) – способность тел (сущест) совершать работу. Это действие, общая количественная мера различных форм движения материи. Энергия связывает воедино все явления природы.

Энергетика, энергетическая наука – это наука о закономерностях процессов и явлений, прямо или косвенно связанных с получением, преобразованием, передачей, распределением и использованием различных видов энергии.

Электроэнергетика в целом рассматривается как сложное техническое образование, тесно взаимодействующее с топливным хозяйством и основными отраслями добывающей и перерабатывающей промышленности, транспортом, сельским хозяйством и т. п.

Электрическая энергия является вторичной энергией и не заменяет первичную, например, тепловую, гидравлическую, ветровую, термоядерную, солнечную, приливную, ядерную, но в то же время стимулирует их развитие.

Электроэнергетика – это ведущая отрасль энергетики. Применение электричества, использование электрической энергии – одно из величайших открытий и достижений XIX века. Этому предшествовали усилия многих и многих людей. Сейчас электрическая энергия является самым удобным видом энергии.

Энергетической системой электроэнергетики называют совокупность электрических станций, электрических и тепловых сетей, соединённых между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической энергии и теплоты при общем управлении этим режимом.

Энергетика является определяющим фактором и для экономики, и для экологии. От нее зависит экономический потенциал государства и благосостояние людей. Она же оказывает наиболее сильное воздействие на окружающую среду, экосистемы и биосферу в целом.

*Наша планета наполнена энергиями, которые взаимодействуют с ней, с человеком на ее поверхности, с Космосом. Все – энергия! Дух – энергия, материя – энергия, мельчайший атом – энергия.*

*Эволюция приближает к Планете высокие энергии, несущие и созидательные и разрушительные потенциалы. Какая из них реализуется – зависит от самого человечества, от его энергетического, духовного и нравственного потенциала...*

*Н. К. Рерих.*

### **1.7. Научно-технический прогресс**

Прогресс – движение вперед к более совершенному состоянию; изменение к лучшему.

Но всегда ли так бывает?!

В настоящее время – начале XXI века – общий, а особенно научно-технический прогресс, достиг такого высокого уровня, что, например, энергетика, электроэнергетика и промышленность оказывают весьма существенное и далеко не положительное влияние на биосферу и окружающую среду из-за соизмеримости мощностей в созданных человеком системах и глобальных процессов в природе.

В своей последней статье один из создателей водородной бомбы в России академик Андрей Дмитриевич Сахаров писал:

*Научно-технический прогресс не принесет счастья, если он не будет дополняться чрезвычайно глубоким положительным изменением социальной, нравственной и культурной жизни человечества.*

*Внутреннюю духовную жизнь людей, внутренние импульсы их активности трудней всего прогнозировать, а именно от этого зависит в конечном итоге и гибель и спасение человечества.*

Несмотря на свойственный человеку консерватизм, научно-технический прогресс не остановить. Его главным двигателем является труд, стремление сделать жизнь лучше. История показывает, что люди нелегко воспринимают новые идеи, истины, и что, напротив,



они тем упорнее отвергают их, чем более эти истины выходят за пределы сферы чувств, привычного, обычного.

Надо понимать и помнить, что труд – неисчерпаемый источник сил и утешение человека в любых ситуациях.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какое значение имеет знание истории (в конкретной области) ?
2. Каковы цели и задачи науки? Ее стадии развития?
3. Под влиянием каких факторов развивается наука?
4. Каковы основные законы развития науки?
5. Какую роль играет техника в общественном развитии?
6. Какие этапы можно выделить в развитии техники?
7. Какое значение имеют технологии в деятельности человека?
8. Какую роль играет электроэнергетика в жизни человеческого общества?

*С тех пор как существует мирозданье  
такого нет кто б не нуждался в знаньи.*

*Какой мы не возьмём язык и век,  
всегда стремился к знанью человек.*

*А. А. Д. Рудаки*

## 2. ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

### 2.1. Общая энергетика

С древнейших времен люди нуждались в силе, в двигателях, которые помогали бы выкорчевывать деревья, приводили бы в действие приспособления для подачи воды на поля, пахали землю, вращали жернова, мелющие зерно и т.п.

В странах Древнего Востока, в Египте, Индии, Китае для этой цели уже в 3-м тыс. до н.э. использовались животные и рабы. Затем на смену живым двигателям пришло водяное колесо – два диска на одном валу, между которыми помещались дощечки – лопасти. Поток воды в реке давил на лопасти, поворачивая колесо, а через вал колеса движение передавалось жерновами (рис. 1).

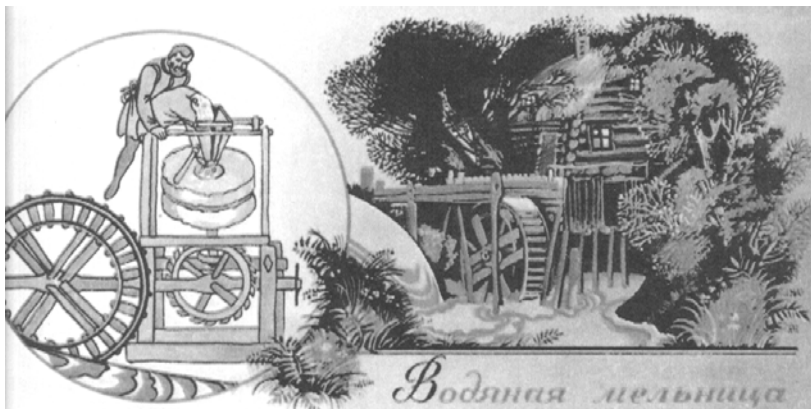


Рис.1. Водяная мельница



Рис.2. Ветряная мельница

В 3-м тысячелетии до н.э. люди использовали паруса для движения лодок, но только в VII в. н. э. персы изобрели ветряную мельницу с крыльями (рис. 2). Началась история ветряных двигателей.

Водяные колеса использовались на Ниле, Евфрате, Янцзы для подъема воды, вращали их рабы. Затем древние греки и римляне использовали водяные колеса в качестве двигателя для привода насосов и мельниц, для выжимания масла. Позднее водяные колеса стали широко использоваться в ремесле, затем в промышленности.

Римский писатель Марк Витрувий Полион в I в. до н. э. впервые опи-

сал водяное колесо. Водяные колеса и ветряные мельницы вплоть до XVII века являлись основными типами двигателей.

В конце XVII – начале XVIII веков в Италии, Франции, Англии, России, Испании и других государствах делались неоднократные попытки создать двигатель, не зависящий от движущейся воды рек и ветра. Идея использования пара для создания двигателя возникла благодаря размышлениям и опытам древних мыслителей.



Рис. 3. Архимед

Архимед (ок. 287 – 212 гг. до н.э.) (рис. 3), один из гениальных исследователей античного периода, творец древней механики, великий математик. Открыл гидростатический закон, теорию рычага. Создал начала математического

анализа, придумал катапульту, паровую пушку, водоподъемный «архимедов винт», зубчатый редуктор, приборы для измерения размеров удаленных тел и многое другое.

Герон из Александрии еще в 70-е гг. н.э. изобрел простейшую паровую турбину – эолипил Герона (рис. 4).

Сила пара, вырывающегося из шарообразного сосуда, в котором кипела вода, через Г-образные трубки, вращала этот сосуд.

В середине XVIII века человечество вплотную подошло к одному из важнейших моментов в истории технического творчества – использованию водяного пара для приведения в действие различных механизмов

В истории попыток использования пара записаны имена многих ученых и изобретателей: итальянцев – Леонардо да Винчи, Порта; французов – де Ко, Папена; англичан – Т. Сэвери, Т. Ньюкомена; русских – И.И. Ползунова, отца и сына Черепановых и многих других.

Леонардо да Винчи (1452 -1519) – гениальный мыслитель, многогранный талантливый изобретатель, художник (рис. 5).

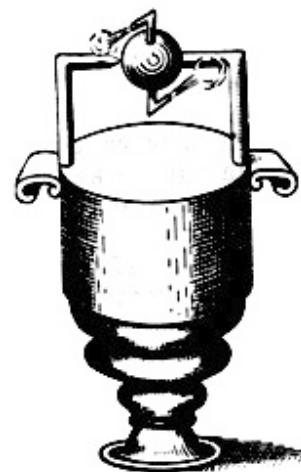


Рис. 4. Эолипил Герона

Он оставил 5000 страниц научных и технических описаний, чертежей, эскизов: шлюзовые ворота со створками, текстильные станки,



Рис. 5. Леонардо да Винчи

роликовые подшипники, центробежный насос, паровая пушка, пистолет с колесным затвором, гидравлический пресс, механизмы, преобразующие возвратно-поступательное движение во вращательное и наоборот, и многое другое.

Джамбаттиста делла Порта (1538-1616) исследовал образование пара из воды, что было важно для дальнейшего использования пара в паровых машинах, исследовал свойства магнита.

Инженер де Ко в 1615 году описал паровые устройства для подъема воды.

Отто фон Герике (1602-1686) поставил и описал опыты, демонстрирующие силу атмосферного давления на «магдебургских полушариях», из которых был удален воздух, а разрежение это достигалось с помощью конденсации пара. Для того, чтобы разъединить эти полушария, использовали восьмерку лошадей.

Дени Папен (1647-1714) построил первую технически реализованную пароатмосферную примитивную машину, представляющую собой паровой котел в виде цилиндра с поршнем, который поднимался при помощи пара, а опускался под действием атмосферного давления. Цилиндр был и котлом, и рабочим механизмом одновременно.

Томас Сэвери (1650-1715) создал паровой насос, в котором паровой котел был отделен от цилиндра (рис.6). Царь Петр I купил насос Сэвери для приведения в действие фонтанов в Летнем саду.

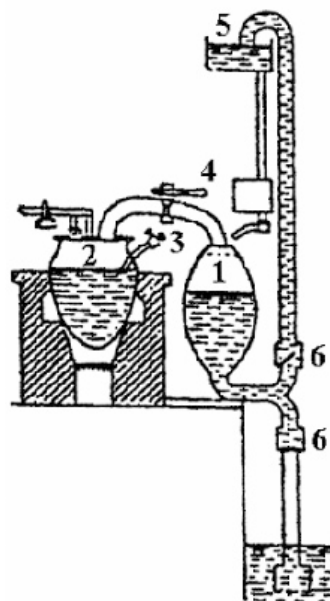


Рис. 6. Схема насоса Сэвери:  
1 – охладительный сосуд; 2 – котел;  
3 – соединительная труба;  
4 – кран; 5 – нагнетательная труба;  
6 – клапаны

Томас Ньюкомен (1663-1729) усовершенствовал паровой насос, связал поршень с балансиром и штангой водоотливного насоса. Охлаждающая вода подавалась в цилиндр сверху для опускания поршня (рис. 7).

Машины Ньюкомена были приобретены Петром I для откачки воды из дока в Кронштадте.

Пароатмосферные машины и Сэвери и Ньюкомена были громоздки и имели малый коэффициент полезного действия ( $\approx 0,3\%$ ).

Иван Иванович Ползунов (1729-1766), талантливый русский механик, сконструировал и построил первую паровую машину с универсальным тепловым двигателем, (рис. 8). Она имела два

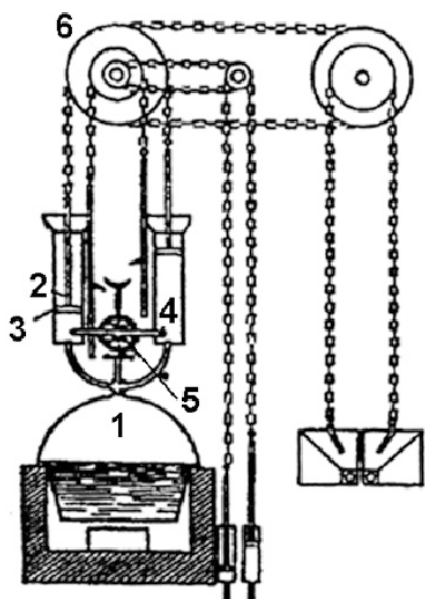


Рис. 8. Схема двигателя И. И. Ползунова

цилиндра с поршнями и отдельный паровой котел, из которого пар поочередно поступал в цилиндры через автоматический распределитель – это первое применение автоматики в подобных машинах. Рабочее усилие непрерывно подавалось на общий шкив, вал которого передавал момент на привод заводских механизмов – насоса или воздуходувного меха.

Это была первая универсальная паровая машина, но все же она имела малый КПД ( $\approx 1\%$ ), потребляла большое количество топлива; она проработала около года на рудниках; после смерти создателя сломалась и была забыта.

Первые паровые устройства и машины имели низкий КПД, так как не было теоретических знаний о теплоте, давлении пара и др.

Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765) – гениальный русский ученый, мыслитель, экспериментатор, поэт (рис. 9).

Ломоносов много сделал в области различных наук и в каждой из них исследовал самые фундаментальные вопросы. Он изучал агре-

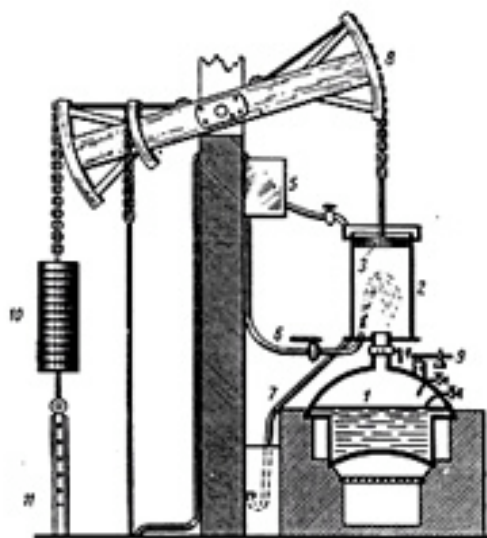


Рис. 7. Устройство машины Ньюкомена

гатное состояние вещества, изучал термометрию, внедрял физические и химические методы исследования. Он экспериментально доказал и сформулировал в 1748 г. закон сохранения вещества. Это было за 18 лет до подобных опытов француза Лавуазье, которому мировая наука приписала открытие закона сохранения материи.



Рис. 9. М. В. Ломоносов

Ломоносов впервые дал правильное объяснение теплоте, как движению мельчайших частиц – корпускул.

М. В. Ломоносов был не только выдающимся и разносторонним учёным, но и страстным пропагандистом научных знаний. Он понимал необходимость обучения для народа и уделял этому большое внимание, помня завет Петра I : «...науки производить и оные распространять.»

Приведем обращение Ломоносова в стихотворной форме к своим ученикам:

*О вы, которых ожидает  
Отечество от недр своих  
И видеть таковых желает,  
Каких зовет от стран чужих.  
О, ваши дни благословенны!  
Дерзайте ныне ободренны  
Раченьем вашим показать,  
Что может собственных Платонов  
И быстрых разумом Невтонов  
Российская земля рождать.*

О Ломоносове гениальный поэт и философ А.С. Пушкин писал: “Соединяя необыкновенную силу воли с необыкновенной силой понятия, Ломоносов объял все отрасли просвещения. Жажда науки была сильнейшею страстью его души. Историк, ритор, механик, химик, минералог, художник и стихотворец – он всё испытал и во всё проник.”

Ученые, изобретатели, гениальные самоучки, механики продолжали работать над устройством и совершенствованием паровых машин и их применением, имея уже какое-то представление о теплоте.

Джеймс Уатт (1736-1819), (рис. 10), английский механик, создал паровую машину двойного действия, рабочий ход поршня в ней производился не атмосферным давлением, а давлением пара.

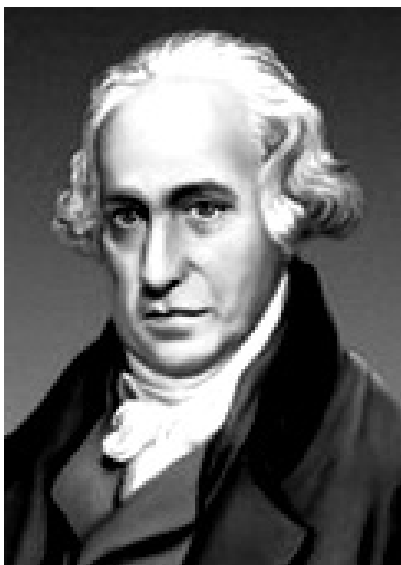


Рис.10. Джеймс Уатт

Машина Уатта управлялась золотниковым устройством, (центробежным регулятором пара). Содержала маховик и шатунно-кривошипный механизм, совершала непрерывное вращательное движение. Конденсация пара производилась в отдельном устройстве – конденсаторе. Общий КПД машины равнялся 8 %. Во второй половине XVIII в. устройство паровой машины было отработано, она нашла широкое применение в промышленности крупных стран. В честь Д. Уатта единица мощности была названа “Ватт”.

В России паровые машины начали строиться в Петербурге (на Галерном острове), на Олонецком и других заводах.

Американец Р.Фултон в 1803 г. установил паровой двигатель на судне; такие суда стали называться парходами.

В Петербурге с 1800 по 1825 г. было изготовлено более 100 паровых машин заводских и 11 паровых. Первый российский паровоз “Елизавета” совершал рейсы «Петербург – Кронштадт» уже в 1815 г.

Черепанов Ефим Алексеевич вместе со своим сыном Мироном Ефимовичем – механики нижнетагильских заводов – с 1820 г. по 1835 г. построили 20 различных паровых машин, а в 1833 году построили первый в России паровоз, (рис. 11), который двигался по чугунному рельсовому пути.



Рис. 11. Паровоз Черепановых

Первая железная дорога в России “Петербург – Царское село” была построена в 1837 году.

Д. Стефенсон в Англии, начиная с 1829 года, построил серию паровозов.

Создавались и изобретались различные конструкции паровых машин, появилась необходимость в теории и машин, и теплоносителя.

Французский ученый Сади Карно (1796-1832) в 1824 г. разработал основы теории паровых машин – циклы Карно. Он установил, что, чем больше разность температур подводимого и отводимого тепла у теплоносителя, тем выше эффективность тепловой машины. Со времен С. Карно тепловые (паровые, газовые и др.) машины стали развиваться в направлении повышения параметров теплоносителя – температуры и давления. Этими вопросами занимались Р. Стирлинг, Эрикссон и др.

Водяные колеса и паровые двигатели совершенствовались, все больше внедрялись в промышленность, но они имели довольно низкий коэффициент полезного действия и сравнительно небольшую мощность. Требовалось создание новых машин с большим числом оборотов, с большей мощностью и большим КПД. Такими машинами стали различные модификации водяных, паровых, а позднее и газовых турбин (“турбо” – волчок).

Теорией турбин занимался Д. Бернулли (1700-1782), который исследовал динамику различных потоков энергии.

Во многих странах ученые, исследователи, механики предлагали различные варианты конструкций турбин. Был объявлен конкурс на лучшую теорию и лучшую конструкцию турбины.

Б. Фурнейрон (1802-1867) сконструировал быстроходную турбину с подводом воды на лопатки радиально от центра турбины, (рис. 12). Такая турбина получила широкое использование.

Подобные активные турбины различного рода строили И. Сафонов в России, Ховд в США, Жирар во Франции и др.

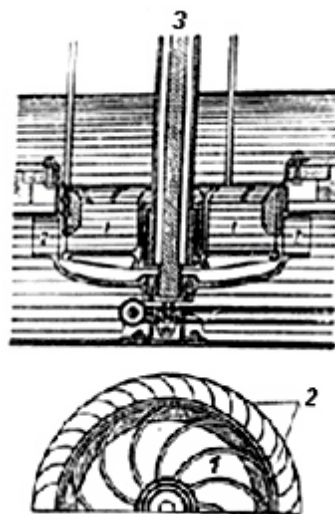


Рис. 12. Турбина Фурнейрона:  
1-направляющий аппарат;  
2-лопатки рабочего колеса;  
3-вал



Д. Френсис (1815-1892) построил радиально-осевую реактивную турбину со специально изогнутыми лопатками (рис. 13), получившую

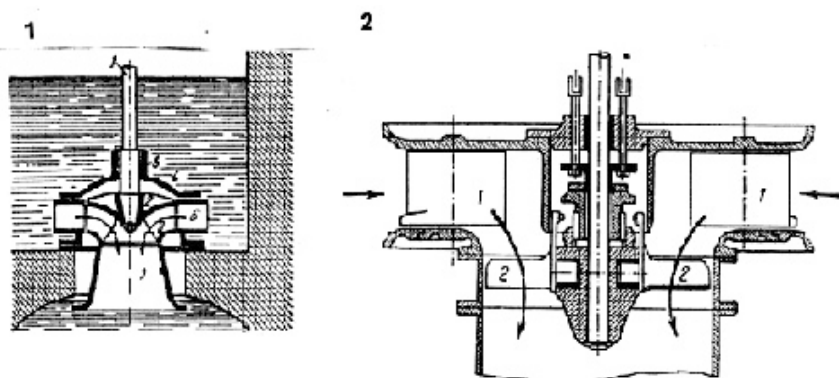


Рис.13. Радиально-осевая турбина Френсиса (1) и осевая поворотно-лопастная турбина Каплана (2)

широкое применение.

А. Пельтоном (1829-1908) была создана активная ковшовая турбина для больших напоров воды. Ж. Понселе (1788-1867) создал теорию турбин. Она послужила толчком

к созданию новых типов машин.

Современные гидравлические турбины созданы на основе отбора и совершенствования турбин, построенных многими талантливыми изобретателями и конструкторами. Турбины вращались под действием движущейся воды. Затем появились паровые турбины, в которых использовался перегретый пар, подаваемый на лопатки турбин под повышенным давлением. Прообразом таких турбин был эолипил Герона Александрийского рис. 4. Паровые турбины имели целый ряд преимуществ по сравнению с паровыми поршневыми машинами: быстрота, равномерность вращения, экономичность. Появились идеи и конструкции целого ряда новых турбин.

К. Лаваль (1845-1913) разработал одноступенчатую активную турбину с четырьмя паровыми соплами, пар из которых подавался на лопатки турбины (рис. 14), но использование ее было экономически невыгодно, хотя принцип очень ценен.

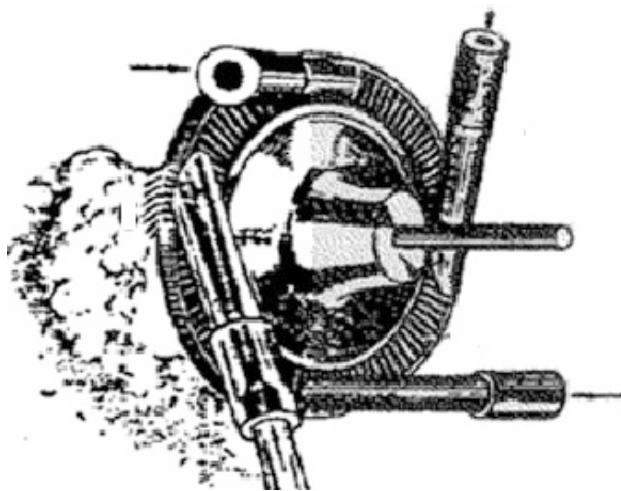


Рис.14. Турбина Лавалья

Ч. Парсонс (1854-1931) изобрел многоступенчатую осевую реактивную турбину большой мощности с особыми группами лопаток – подвижными и неподвижными. Такая конструкция была более удачной и получила дальнейшее развитие в работах конструкторов многих стран (Франции, Англии, Рос-

сии, Америки и др.). Дальнейшее развитие паровых турбин было связано помимо прочего с повышением температуры пара.

Паровые машины и турбины требовали устройства, в котором была бы топка, котел, охлаждающий агрегат. Они выполняли свое назначение, однако были очень громоздки и неудобны в эксплуатации.

Уже в конце XVII в. появилась идея создания двигателя внутреннего сгорания – ДВС, в котором не нужен котел и топка, так как газообразное рабочее тело получает энергию от сжигания топлива внутри рабочего цилиндра.

В двигателях внутреннего сгорания главная часть – цилиндр с поршнем, но на поршень давит не пар, а раскаленный сжатый газ, образовавшийся в результате сжигания топлива внутри цилиндра – отсюда и название ДВС – двигатель внутреннего сгорания.

В основе первой попытки создания ДВС легла идея Х.Гюйгенса (1629-1695) – пороховая машина. Однако она не была построена, так как в то время еще не было подходящего топлива. В последующие годы было много разработано моделей различных ДВС, но все они по тем или иным причинам не были реализованы.

Французский механик Э.Ленуар (1822-1900) изобрел горизонтальный двигатель внутреннего сгорания двойного действия. Он работал на смеси светильного газа и воздуха, имел КПД около 4 % и требовал хорошего охлаждения. Двигатель Ленуара получил довольно высокое распространение, хотя был далек от совершенства и требовал серьезных доработок.

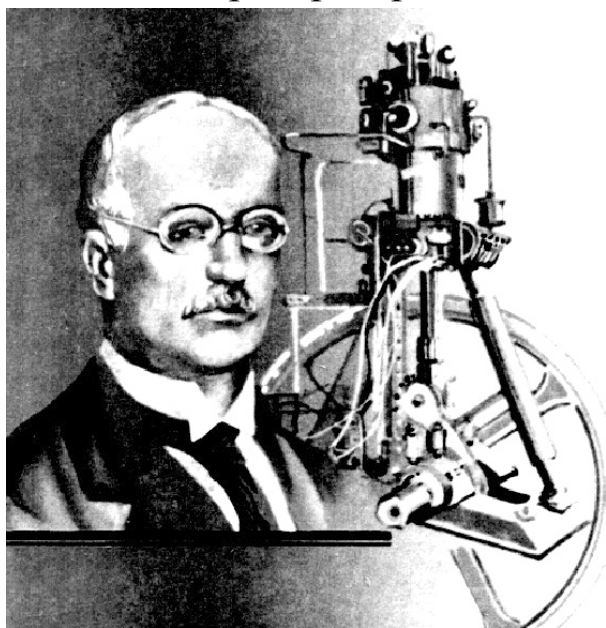


Рис.15. Р. Дизель

Первый четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания был построен немцем Николаем Отто в 1876 году, затем он был усовершенствован русским инженером О.Костовичем, который разработал карбюратор для сжигания легких фракций продуктов перегонки нефти. Этими же вопросами занимались немецкие изобретатели Даймлер и Бенц (основатели концерна «Мерседес»).

Немецкий инженер Рудольф Дизель (1858-1913) (рис. 15), разработал ДВС на тяжелом топливе – мазуте, соляровом масле. Работал он по принципу самовоспламене-

ния. Двигатели внутреннего сгорания, работающие по принципу самовоспламенения топлива в цилиндре, называются дизельными, по имени их изобретателя. Первый дизель-мотор был изготовлен в 1897 году, он содержал все основные элементы современного мотора, являлся самым экономичным из ДВС.

Г.В.Тринклер – инженер Путиловского завода, усовершенствовал процесс сжигания топлива, создал в 1889 г. двигатель со смешанным сгоранием, и с начала XX в. завод Нобеля («Русский дизель») стал выпускать в России дизельные моторы.

Большой вклад в развитие энергетики, создание двигателей, работающих на органическом топливе, вносили ученые, открывающие и разрабатывающие законы и теорию различных процессов в области химии и физики.

Дмитрий Иванович Менделеев (1834-1907) (рис. 16) – выдающийся русский ученый, автор фундаментального периодического закона химических элементов, открытие которого способствовало развитию химии, атомной и ядерной физики. Д.И. Менделеев разработал теорию горения топлива, которая позволяла определить теплотворную способность топлив различного состава, выбрать оптимальные режимы горения и многое другое. Помимо этого, Д.И. Менделеев разработал промышленные способы разделения нефти по фракциям – бензин, керосин, мазут, открыл и сформулировал положение о критическом состоянии вещества и многое другое. Он был разносторонним ученым, патриотом своей страны, пропагандистом научных открытий, профессором Петербургского университета и других учреждений. Учебник Д.И.Менделеева “Основы химии” (1868) переиздавался много раз и является одним из лучших учебников по химии.



Рис.16. Д. И. Менделеев

Работы ученых способствовали развитию прогресса, промышленности, энергетики.

В XX веке появляется турбореактивный двигатель и газовая турбина. Начало развитию таких двигателей положил англичанин Д. Барбер еще в 1791 году, когда он получил патент на тепловой двигатель, в котором продукты сгорания смеси воздуха и газа подавались на лопатки турбины.

Первый работающий газотурбинный двигатель был сконструирован и испытан в 1897 году русским изобретателем инженером П.Д. Кузьминским (1840-1900), топливом для этого двигателя служил керосин; в том же году им была построена газо-паровая турбина с постоянным давлением сгорания.

Работы по созданию турбореактивных двигателей, газовых турбин велись в Германии (Штольце), в США (Мосс), во Франции (Арменго), в России (Н. Герасимов, В.И. Базаров и др.).

Однако строительство такого рода двигателей и их длительная работа требовали жаропрочных материалов и разработки теории газовых турбин. Этими вопросами, а также созданием высокоэффективного компрессора, необходимого для этих двигателей, занимались в Англии, Германии (фирма Хейнкеля), Советском Союзе (А.А. Саблуков, Б.С. Стечкин), Франции, Италии, Швейцарии и других странах.

Газотурбинные двигатели нашли себе широкое применение в авиации, на парогазовых электростанциях и др.

После того как были изобретены различного рода двигатели – ветровые, водяные, паровые, турбореактивные, внутреннего сгорания – встал вопрос о передаче энергии на расстояние.

Передачи придумывали самые разные – ременные (с помощью ремней), гидравлические (с помощью жидкости), пневматические (с помощью воздуха, газов). Все они могли передавать энергию, но на небольшие расстояния и со значительными потерями. Развитие промышленности, строительство фабрик, заводов, рост крупных городов требовали все большей энергии и передачи ее на дальние расстояния.

Важнейшим этапом в развитии энергетической базы промышленности, сельского хозяйства, бытовых удобств явилось изобретение и применение электрических двигателей.

Электрические двигатели удобнее и надежнее других двигателей – паровых, ветряных, водяных. Они всегда готовы к работе, могут управляться на расстоянии, позволяют регулировать скорость и т.п.

Благодаря электрическим двигателям появились: высокопроизводительные машины, станки, заводы-автоматы, электрифицированный инструмент, электрический транспорт (электрички, трамваи, метро, троллейбусы), бытовые приборы (холодильники, стиральные машины, швейные машины) и многое другое.

Открытие электричества и использование электрической энергии было одним из величайших событий. Этому предшествовали усилия многих и многих людей, начиная с древних времен и до наших дней.

Для передачи энергии на большие расстояния и распределения ее между потребителями – самой удобной является именно электрическая энергия.

Считается, что полезной электрической энергии в природе нет, хотя существуют такие электрические атмосферные явления как молнии, северные сияния, имеют электрические заряды некоторые морские обитатели, например, электрический угорь, электрический скат.

Энергия движущейся воды, ветра, энергия топлива, производящего пар и газы, использовалась уже давно и продолжает использоваться человеком. Совершенствуются установки, устройства, двигатели, но увеличивается и энергопотребление. Этим обусловлена необходимость совершенствования методов использования энергоисточников и поиск новых возобновляемых природой источников.

Рост потребления человеком энергии в целом ряде случаев приводит к вредным итоговым воздействиям производства энергии на окружающую среду. Это касается органических видов топлива – угля, нефти, мазута, газа, которые при сгорании загрязняют воздух, воду, почву; это касается и ядерного топлива, загрязняющего атмосферу радиоактивными выбросами и требующего для своих радиоактивных отходов сооружения специальных могильников длительного хранения. В результате всего этого человечество все большее внимание обращает на использование энергии солнца – гелиоэнергетику, энергию морских приливов и биологическую энергетику, которая реализуется в результате переработки органических отходов – биомассы, общая масса которой составляет примерно 3,2 млрд т в год.

В дальнейшем изложении рассмотрим историю появления электричества и развития энергетики.

### Вопросы для самопроверки

1. Какое значение имеет знание истории?
2. С чем связана материальная жизнь общества?
3. Какое значение имеет энергия в жизни людей?
4. Что собой представляет энергетическая система?
5. Первые двигатели, искусственно созданные руками человека.
6. Первые двигатели, используемые человеком несколько тысячелетий тому назад.
7. Имена древних мыслителей и изобретателей, их работы.
8. Первые изобретатели паровых машин.
9. Работы М.В. Ломоносова и их значение для мировой науки.
10. Первые изобретатели паровых и газовых турбин.
11. Работы Д.И. Менделеева и их значение.
12. Первые изобретатели и разработчики двигателей внутреннего сгорания.

### 3. ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Каждое поколение застаёт технику на том уровне, до которого она была доведена в предыдущий период, дополняет ее своими открытиями, изобретениями, устройствами, а затем передает следующему поколению.

Применение электричества и использование электроэнергии было великим открытием XIX века.

Следует заметить, что электрическая энергия является вторичной энергией и не заменяет первичную (тепловую, гидравлическую, водяную и др.), но стимулирует развитие первичной энергии, а для ее передачи и распределения – самой удобной признана именно электрическая энергия.

Электричество является очень концентрированной энергией:

$$1 \text{ кВт.ч} = 1000 \text{ Дж/с} \times 3600 \text{ с} = 3600000 \text{ Дж};$$

$1 \text{ кВт.ч} = 102 \text{ кг.м/с} \times 3600 \text{ с} = 367000 \text{ кг.м}$  – это эквивалентно поднятию 367 т груза на высоту 1 метр.

Развитие электроэнергетики носит интернациональный характер. В этом мы убеждаемся на протяжении всей истории ее развития. В создании энергетики и ее внедрении принимали и принимают активное участие люди самых разных национальностей, разных стран, разных классов.

Например, первые открытия, научные и практические разработки, законы в электроэнергетике являлись вкладом итальянцев, англичан, русских, французов, американцев, венгров, бельгийцев, югославов, датчан и др. В этом можно убедиться, рассматривая историю развития электроэнергетики.

Широкое и разнообразное применение электроэнергии во всех областях народного хозяйства и быта объясняется рядом весьма существенных преимуществ ее по сравнению с другими формами энергии, а именно: 1) возможностью экономичной передачи на значительные расстояния; 2) простотой преобразования в другие формы энергии (тепловую, механическую, световую, химическую и др.); 3) простотой распределения любой мощности (от многих киловатт до микроватт) между любым числом потребителей.

Большое значение имеет возможность использования для производства электроэнергии местных видов топлива (угля, торфа, сланца), энергии рек, водопадов, приливов, солнечной энергии и энергии ветра, геотермальной, атомной и др.

Однако, и раньше, и в настоящее время существуют многочисленные проблемы электроэнергетики:

- создание экономичных конструктивных источников электричества – генераторов, электродвигателей, трансформаторов, фабрик электричества (электростанций), электрических линий передач (ЛЭП), подстанций, распределительных устройств;

- прокладка проводников, кабелей, их защита;

- изоляция токоведущих проводов, частей устройств;

- методы расчета электросетей, их защита от коротких замыканий;

- другие вопросы, которые решались и решаются учеными, инженерами, практиками, изобретателями.

### **3.1. История открытий в электроэнергетике**

Открытие и применение электричества было одним из величайших достижений человечества. Этому предшествовали усилия многих и многих людей разных профессий в разные эпохи. Попробуем перечислить в исторической последовательности некоторые наиболее известные открытия, изобретения, примеры применения электричества и вспомнить их создателей.

В античной Греции на стыке VII-VI вв. до н.э. купец, философ и ученый Фалес Милетский натирал меховой шкуркой кусок окаме-

невшей смолы – янтарь, который после этого получал способность притягивать к себе различные легкие предметы: перо птицы, сухие листочки и т.п.

Спустя много столетий элементарную заряженную частичку (несущую единичный электрический заряд) стали называть электрон (по-гречески – янтарь).

В V в. до н.э. вблизи древнего города Магнезия (территория современной Турции) находили удивительные путеводные продолговатые камни. Они, подвешенные на длинных нитях, всегда указывали одно направление. Это были куски магнитной руды, которая впоследствии получила свое название в честь города, где была найдена.

Первые сведения о применении электричества для металлизации сосудов относятся к III в. до н.э. (применение в ремесле). Использовались электроды из меди и железа, а электролитом являлось вино. Электродвижущая сила такого химического источника электричества достигала  $\sim 0,8$  В.



Рис. 17. У. Гильберт

Потом эти открытия были частично или полностью утеряны (или забыты), человечество изобретало и открывало их вновь.

Основоположником науки о магнетизме является англичанин У. Гильберт (1540-1603), (рис. 17). В 1600 г. вышел труд У. Гильберта “О магните, магнитных телах и большом магните – Земле”, в котором он описывает разные полюса у магнита (северный и южный), поведение одинаковых и разноименных полюсов, способы намагничивания железа. Он первый указал на наличие магнитного поля Земли, посвятив этому от-

крытию 18 лет жизни и поставив около 600 опытов, создал первое электроизмерительное устройство – электроскоп и назвал электрическими тела, способные электризоваться.



Первым источником электроэнергии уже нашей эры стал электростатический генератор (трибоэлектрический), изобретенный в 1663 г. мэром Магдебурга Отто фон Герике (рис. 18).

Он изготовил шар из серы, который вращали вручную (трением поверхности руками). В результате на шаре накапливался электрический заряд. Мощность шара была менее 1 Вт. Казалось бы – пустяк, однако с его помощью были открыты многие важные явления и свойства электричества.



Рис.18. Отто фон Герике

В 1675 г. И. Ньютон описал электризацию тел.

Может возникнуть впечатление, что XVII век немного внес в развитие науки об электричестве, но именно тогда был заложен ее фундамент и дан мощный импульс к разнообразным исследованиям электрических явлений следующих столетий.

Ф. Хауксби в 1705 г. создал электрический генератор, используя вместо серного шара стеклянный. В 1743 г. в такую машину был введен скользящий контакт, который снимал заряд, и машина смогла при вращении непрерывно отдавать электрическую энергию.

С. Грей в 1729 г. заметил, что одни вещества проводят электричество, а другие не проводят.

Ш. Дюфе в начале XVIII в. открыл электрическое взаимодействие заряженных тел – притяжение разноименных и отталкивание одноименных тел.

В середине XVIII в. в Лейдене была создана «лейденская банка» – прообраз электрического конденсатора. Открытие этого конденсатора принадлежит преподавателю физики голландцу Мушенбруку и немецкому священнику фон Клейсту. Заряжалась «лейденская банка» с помощью серного шара фон Герике.

«Лейденская банка» представляла собой стеклянную банку с остатками ртути на внутренней поверхности. Через пробку в нее вставлялся гвоздь, а снаружи банка обертывалась металлической фольгой. Гвоздь и фольга служили электродами, а стекло (диэлектрик) накапливало заряд от серного шара Герике.

Опыт с заряженной “лейденской банкой” демонстрировался в присутствии большого скопления народа на площади во Франции. 180 гвардейцев короля становились в круг, взявшись за руки. Один из гвардейцев притрагивался к фольге “лейденской банки”, а последний в цепи притрагивался к металлическому стержню. По всей цепи гвардейцев мгновенно протекал ток и все люди получали электрический удар, который тут же вызывал реакцию людей – вскрики, прыжки, взмахи рук и т.п. Ученые регистрировали воздействие электричества на человека, проводимость человеческого тела, а также электрический удар.

Пытаясь зарядить “лейденскую банку” от небесного электричества (молнии), в 1753 году погиб товарищ М.В. Ломоносова Г.В. Рихман.

Михаил Васильевич Ломоносов, родоначальник отечественной науки, в 1753 г. поставил задачу перед учеными: “... сыскать подлинную электрической силы причину и составить ее точную теорию”.

М.В. Ломоносов много занимался “небесным электричеством”, описывал электрические явления и способ получения электричества искусственным путем – труд “Об электрической силе...”.

Со своим другом Г. В. Рихманом они проделали множество наблюдений и опытов с небесным электричеством – молнией, северным сиянием. Ломоносов высказал очень важную мысль **о возможности передачи электричества на большие расстояния** и о практическом использовании электричества для металлизации поверхности металлов (1747 г.); только через 100 лет Б.С. Якоби открывает и применяет гальванопластику.

Георг Вильгельм Рихман (1711 – 1753) создал в Петербурге лабораторию по исследованию электрических явлений, изготовил целый ряд электроизмерительных приборов.

Параллельно с М.В. Ломоносовым проводил опыты с «небесным электричеством» в Америке Б. Франклин (рис. 19), ученый, поэт, дипломат, который внес большой вклад в изучение электрических явлений и в 1752 г. изобрел громоотвод (вернее бы его назвать молниеотвод).



Рис.19. Б. Франклин

Молниеотвод от шаровых молний был изобретен русским инженером Б. Игнатовым в XX в.

В 1759 г. академик Российской Академии Ф. Эпинус (1724 – 1802) открыл и объяснил электрическую поляризацию, существование силовых магнитных линий, взаимодействие электрических и магнитных масс.

Из перечисленного выше невольно напрашивается жизненно важный вывод (над которым мы редко задумываемся): первые и очень важные открытия в любой области знаний нередко совершают специалисты других разделов науки или деятельности.

Подтвердим это высказывание еще некоторыми примерами.

Итальянец Луиджи Гальвани (1737-1798) (рис. 20), заведующий кафедрой анатомии, в 1791 г. опубликовал труд "Трактат о силах электричества при мышечном движении".

Он открыл существование электрических токов внутри живых существ, препарировав железным скальпелем лежащую на медном блюде лягушку (разные металлы!).

Это открытие через 121 год дало толчок исследованиям человеческого организма с помощью биоэлектрических токов. Обнаруживались больные органы при исследовании их электрических сигналов. Работа любого органа (сердца, мозга) сопровождается биологическими электрическими сигналами, имеющими для каждого органа свою форму. Если орган заболевает, сигналы изменяют свою форму, и при сравнении «здоровых» и «больных» сигналов обнаруживаются причины заболевания.



Рис.20. Л. Гальвани

Опыты Гальвани натолкнули на изобретение нового источника электричества профессора Тессинского университета Алессандро Вольта (1745-1827) (рис. 21).

В 1800 г. А. Вольта объявил Лондонскому Королевскому обществу об изобретении вольтова столба. Свой источник электричества он



Рис. 21. А. Вольта

назвал в честь Гальвани гальваническим элементом. Это был источник электричества более мощный, чем генератор Герике.

Этот источник состоял из большого количества малых элементов, каждый из которых содержал две пластинки из пары разных металлов: медь – свинец или серебро – цинк, между которыми находилась пористая, пропитанная кислотой (или щелочью), прокладка.

Набирая последовательно большое количество таких эле-

ментов, Вольта получал электрохимический источник электричества напряжением до 2 кВ. Этого было уже достаточно для исследования электричества, получения электрической дуги, электродуговой свечи, сваривания металлов и т.п. А. Вольта в это время было 56 лет. Наполеон за это открытие вручил ему в 1801 г. Большую Золотую медаль. Батарейки, которыми мы сейчас пользуемся в часах, приемниках и др. – это те же, но усовершенствованные, вольтовы столбики – гальванические элементы.

В 1821 г. был изобретен еще один источник электричества – термоэлемент. Профессор Т.И. Зеебек (1770-1831) обнаружил, что, если один спай двух разнородных металлов А и В (например, медь-константан) нагреть ( $T_2$ ), а второй спай охладить ( $T_x$ ), или просто не нагревать, то возникает термоэлектродвижущая сила.

$$U_{AB} = \frac{k}{q} \ln \frac{n_A}{n_B} (T_2 - T_x),$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $q$  – заряд электрона,  $n$  – плотность электронов.

Ж. Пельтье (1785-1845) открыл противоположное явление в 1834 году. Если к одному из спаев двух разнородных проводников приложить постоянное электрическое напряжение, то один из спаев будет нагреваться, а другой охлаждаться.

$$Q_{II} = PI\tau,$$

где  $Q_{II}$  – теплота Пельтье,  $P$  – коэффициент пары металлов,  $I$  – ток,  $\tau$  – время.

С изобретением каждого нового источника электричества ученые с интересом обнаруживали, что таинственное электричество возникает под действием совершенно разнородных сил, например, тепла, химических реакций, механического трения, света и т.п. Лишь проникновение в структуру вещества, в атомную и молекулярную природу материи позволило позднее понять, что объединяет эти столь различные внешние явления.

### 3.2. Первые законы электротехники

Проследим, как устанавливались основные законы электричества. Происходило это очень своеобразно, иногда по аналогии с другими явлениями, иногда умозрительно, усилиями мысли разных ученых в разных странах. Верные взгляды на природу электричества пробивали себе дорогу постепенно. Не достигая полного понимания причин физических явлений, исследователи устанавливали закономерности, формулировали законы.

Первый важный закон электричества был установлен французским физиком Шарлем Кулоном (1736-1806) в 1785 г., задолго до изобретения гальванических элементов. Формулировкой этот закон напоминает закон всемирного тяготения – **сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними**. Притяжение или отталкивание двух зарядов означало их различность или их идентичность.

Школьный учитель физики Георг Ом (1787-1854) открыл закон, имеющий очень большое значение: **сила тока на участке однородной электрической цепи прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению этого участка**.

Следует отметить, что XIX в. воспринимает прекрасную традицию XVIII в. и оставляет память об удивительно разносторонних ученых.

Ханс Кристиан Эрстед (1777-1851) получил золотую медаль за литературное эссе «Границы поэзии и прозы» и одновременно представил работу по химическому исследованию свойств щелочей. Его докторская диссертация посвящена медицине и философии, он вел исследования в области фармацевтики. В 1813 г. Эрстед публикует работу о влиянии электричества на магнит, а в 1820 г. – работу о прямой связи магнитного эффекта и электрического тока в проводнике – магнитный эффект возникает вокруг проводника, по которому протекает ток. Публикации Эрстеда побуждали других ученых, исследователей к новым открытиям.

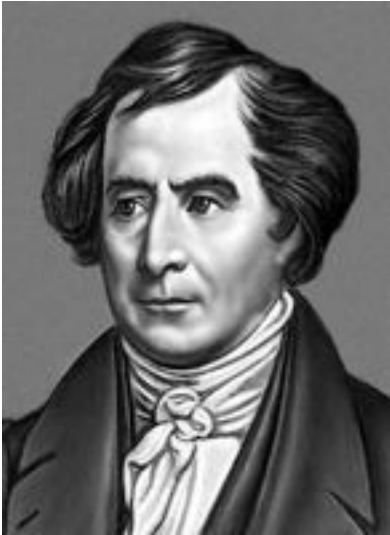


Рис. 22. Д. Араго

На заседании Французской Академии ученый секретарь Д.Ф. Араго (1786-1853) (рис. 22) в 1820 г. докладывает об открытиях Эрстеда.

У математика Андре Мари Ампера (1775-1836) (рис. 23), присутствующего на докладе Араго, рождается мысль о возможности взаимодействия двух проводников с током. Изготовив совместно с Араго из проводников соле-ноиды и пропустив через них ток. Ампер находит, что они ведут себя подобно двум магнитам. Кроме того, он высказывает мысль (1822 г.), что магнит в свою очередь являет собой совокупность токов.

Пройдет много лет и открытия этих ученых и их имена лягут в основу методов определения, превратятся в названия единиц: электрического тока (ампер, А), количества электрического заряда (кулон, Кл), напряжения (вольт, В), сопротивления (ом, Ом) и др.

Создание магнитного поля электрическим током установили экспериментально в 1820 году Ж. Био (1774-1862) и Ф. Савар (1791-1841), а математически это явление описал П. Лаплас (1749-1827).

Майкл Фарадей (1791-1867) (рис. 24), первоначально имел профессию переплетчика. Он много читал статей в переплетаемых им



Рис. 23. А.М. Ампер

журналах и очень заинтересовался описываемыми там свойствами электричества. Поставил множество опытов и впоследствии сделал целый ряд открытий в области электромагнетизма. Его открытия лежат в основе создания электродвигателей и электрогенераторов, трансформаторов, электролиза, оптических и других явлений. Фарадей сумел далеко опередить свое время. Он доказал, что электричество и магнетизм неразрывно связаны. Обнаруженное им явление получило название электромагнитной индукции; его описание было опубликовано в 1831 г.

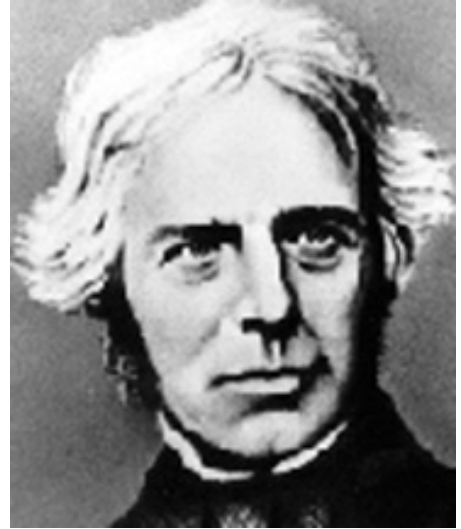


Рис. 24. М. Фарадей

Фарадей первым из ученых ввел понятия электрического и магнитного полей, окружающих магниты и проводники с током. Эти поля представляют собой электромагнитные волны, распространяющиеся в пространстве.

Открытие Фарадеем электромагнитной индукции относится к наиболее выдающимся событиям XIX в. Работа миллионов трансформаторов, электрогенераторов и электродвигателей во всем мире основана на принципе электромагнитной индукции.



Рис. 25. Э.Х. Ленц

Открытия Фарадея основаны на исследованиях предыдущих ученых, а его исследования, в свою очередь, побудили к новым открытиям других ученых, инженеров, исследователей. Очень часто ученые открывают новое, оглянувшись в прошлое.

Современники М. Фарадея английский физик Д. Джоуль (1818-1889) и русский ученый Э.Х. Ленц (1804-1865) (рис. 25), одновременно и независимо друг от друга вывели закон, определяющий тепловое действие электрического тока – закон Джоуля-Ленца:

$$Q_{д-л} = 0,24 I^2 R \tau.$$

В 1832 г. Э.Х. Ленц установил закон о направлении индуцированного тока и сформулировал принцип обратимости генераторного и двигательного режимов электрических машин. В 1845 г. он открыл и описал явление реакции якоря электрических машин. Ленц сформу-

лировал важнейшее положение о постоянстве теплопроводности и электропроводности у металлов при одной и той же температуре.



Рис. 26. П.Л. Шиллинг

Открытие электромагнетизма привело П.Л. Шиллинга (1786-1837) (рис.26) к изобретению электромагнитного телеграфа в 1829 г.

Электромагнитным телеграфом занимались: К. Гаусс (1777-1855), В. Вебер (1804-1891), Б.С. Якоби (1801-1874), С. Морзе (1791-1872).

Г.Р. Кирхгоф (1824-1887) в 1845 г. написал работу о протекании электрического тока через плоскую пластину и сформулировал в этой области два фундаментальных закона.

Несколько десятилетий спустя Джеймс Клерк Максвелл (1831-1879) (рис. 27), развил идею Фарадея, облек ее в ясную точную математическую форму. Дж.К. Максвелл создал математический фундамент теории электромагнитных взаимодействий – четыре уравнения, четыре аксиомы, которые вот уже более ста лет не подвергаются сомнению в ученом мире.

Приведем ниже упрощенный вид этих уравнений:

1) Круговое изменение вектора напряженности магнитного поля  $\vec{H}$  порождает электродвижущую силу – электрическую индукцию  $\vec{D}$ , а, следовательно, и определенную плотность тока  $j$ :

$$\text{rot}\vec{H} = \frac{4\pi}{c} j \quad (c - \text{скорость света}).$$

2) Круговое изменение вектора напряженности электрического поля  $\vec{E}$  порождает магнитную индукцию  $\vec{B}$ :  $\text{rot}\vec{E} = -\frac{1}{c} \dot{\vec{B}}$ .

3) Электрическая индукция  $\vec{D}$  зависит от диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и вектора напряженности электрического поля:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}.$$

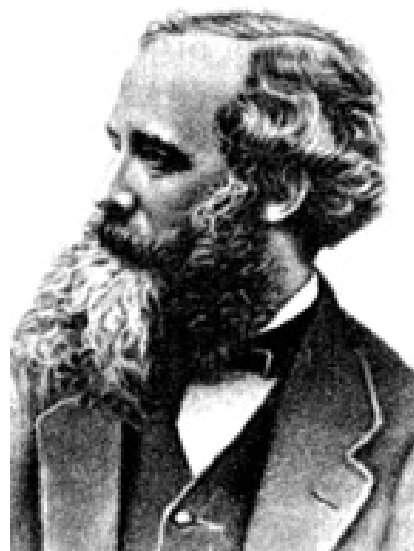


Рис. 27. Дж. К. Максвелл



4) Магнитная индукция  $\vec{B}$  зависит от магнитной проницаемости  $\mu$  и вектора напряженности магнитного поля  $\vec{H}$ :

$$\vec{B} = \mu \vec{H}.$$

Концепция электромагнитного поля заняла положенное ей по праву важнейшее место во всех разделах физики, электротехники, медицины.

Еще в глубокой древности врачи иногда прописывали больным лечение “ударами” электрического ската в воде. Таким способом удавалось избавить больного от паралича. Вокруг возбужденного нерва возникало электромагнитное поле. Электрические “удары” электрического ската приводили возбужденный нерв в норму. Электрический скат и электрический угорь – живые фабрики электрического тока.

В России А.Т. Болотов (1738-1833) (рис. 28) и И.П. Кулибин (1735-1818) (рис.28) создавали переносные емкостные электрические

машины – «лейденские банки» для лечения больных и проведения психологических опытов. Много лет спустя были найдены электромагнитные поля у человека, возникающие в результате биоэлектрических сигналов.



Рис. 28. А.Т. Болотов

Ниже мы приведем некоторые сведения о замечательном русском человеке Андрее Тимофеевиче Болотове и других талантливых людях. Это мы делаем с целью осветить деятельность некоторых больших тружеников науки и практики, внесших неоценимый вклад в движение прогресса.

А.Т. Болотов так писал о своем жизненном кредо:

«Работать, не думая о вознаграждении, делать добро, не ожидая благодарности».

Перечислим только основные труды А.Т. Болотова:

– он дал человечеству главный принцип науки о лесе и его использовании, который лежит в основе всего мирового лесостроительства – рубить леса столько, сколько возможно его посадить;

– опубликовал работу в 1766 г. о том, как сажать, выращивать и употреблять в пищу картофель (в то время о картофеле в России мало кто знал), мало того, он сам занялся выращиванием картофеля, чтобы накормить голодающий в то время в России народ, и получал урожай

900 центнеров с гектара. Французский картофелевод лишь через 17 лет поставил свои опыты с картофелем, получил урожай 400 центнеров с гектара, и за это только во Франции ему поставили четыре памятника, а о Болотове все забыли;

– в 1770 г. А.Т. Болотов публикует статью «Об удобрении земель», где пишет: «Все растения состоят из веществ, кои принадлежат к царству минералов... надобно в земле сим вещам и в довольном количестве находиться». Только через 70 лет, в 1840 г. Либих, который считается отцом агрохимии, публикует свою книгу, где излагает основы минеральной теории питания растений;

– Болотов – основоположник науки о яблоках – *помологии*;

– Болотов был врачом, знатоком трав и фармацевтом – составлял лекарства и успешно ими лечил. Одним из первых среди врачей он применял электрические устройства, созданные совместно с талантливым русским изобретателем Иваном Петровичем Кулибиным для лечения больных.

– А.Т. Болотов был выдающимся журналистом. Его перу принадлежат многочисленные статьи по сельскому хозяйству, медицине. Он много писал для детей, им написана первая детская научно-популярная книга «Детская философия», в которой содержатся сведения по физике, минералогии, ботанике, астрономии, космогонии и др.

Умение размышлять – важнейшее качество специалиста, инженера, ученого; отыскивать закономерность, уметь увидеть, четко сформулировать проблему и стремиться найти ее решение – неотъемлемые черты работы исследователя.

Открытия, которые осуществляются людьми, не являются им свыше, они – плод тяжелого, упорного каждодневного труда.

Приведем очень важное для каждого человека, особенно в наше время, высказывание А.Т. Болотова:

«Быть счастливым – это великое умение! Это внутреннее состояние души. И ежели трудом и размышлением, умением радоваться каждой секунде быстротекущей жизни человек овладеет, а не истратит жизнь на поиски материальных благ или на поиски счастья вне себя, то он сумеет не только прожить достойно и радостно, но и окружающих сделает счастливыми».

Все в мире взаимосвязано! Изучая неодушевленную материю, живые организмы, устанавливая законы Природы, человек в то же

время все глубже проникает в самые сокровенные уголки самого себя.

Иван Петрович Кулибин (рис. 29) – главный механик Петербургской Академии наук, человек острого, ясного и технически изощренного ума. В 1773 году он создал знаменитый проект деревянного одноарочного моста через Неву (300 метров) из решетчатых ферм; первый выдвинул идею постройки мостов из железных ферм; создал водоходное судно, самодвижущийся экипаж, оптический телеграф и множество других конструкций.



Рис. 29. И.П. Кулибин

Здесь необходимо сказать несколько слов о царе Петре I.

Петр Алексеевич – Петр I (1671-1725) – государь Руси, удивительный по своим талантам человек. Государь-просветитель, строитель государства, правитель-«технар», умевший охватить своим разумом множество разных сторон деятельности человека, его жизни.

По указу Петра I в 1714 году были организованы цифирные математические школы в целом ряде городов России. Их закончили в свое время И.И. Ползунов, К.Д. Федотов и другие замечательные изобретатели.

Создавая Академию Наук, государь заботился о том, чтобы в ней развивались технические науки; приглашал для обучения способной молодежи талантливых ученых из заграницы – братьев Бернулли, Эйлера и других; ратовал за распространение грамотности в народе, за развитие отечественной промышленности и ремесел.

Знание истории техники, энергетики, науки не только расширяет интеллектуальный кругозор человека, но и имеет большое практическое значение, особенно для специалиста. Знакомство с многообразием научных и технических решений прошлого стимулирует творческую активность, экономит силы и время инженера, исследователя, студента. Дает возможность использовать плодотворно те изобретения и открытия, которые не нашли в свое время практического применения из-за отсутствия потребности в них.

### 3.3. Начальный период использования электричества

#### 3.3.1. Гальванопластика, освещение и электротермия

Гальванопластика. Одним из первых практических применений электричества была металлизация – осаждение тонкого слоя металла на поверхность изделия с помощью электрического тока.



Рис. 30. Б.С. Якоби

Эту идею высказал в середине XVIII века М.В. Ломоносов, а применил практически через 100 лет, в 1847 г., Б.С. Якоби (1801-1874), (рис. 30). С тех пор гальванопластика стала широко внедряться в промышленность.

Б.С.Якоби, талантливый инженер и ученый, физик, электротехник, изобрел и создал электрический двигатель с вращательным движением, создал гальванотехнику, несколько типов электромагнитных телеграфов, применил электричество в минном деле и др.

Электрическое освещение – первое массовое энергетическое применение электрической энергии – сыграло исключительно важную роль в становлении электроэнергетики и превращении электротехники в самостоятельную отрасль техники. Электрическое освещение явилось одной из первых областей применения электричества после гальванопластики.

У истоков освещения с помощью электричества стоял Василий Владимирович Петров (1761-1834), профессор медицинско-хирургической Академии в Петербурге. Он был преемником и продолжателем трудов М.В. Ломоносова.

Исследуя световые явления, вызываемые электрическим током, В.В.Петров сделал свое знаменитое открытие – электрическую дугу, сопровождающуюся появлением яркого свечения и высокой температуры. Это произошло в 1802 г. и имело огромное историческое значение. Наблюдения и анализ Петровым свойств электрической дуги легли в основу создания электродуговых ламп, ламп накаливания, электросварки металлов и многого другого.

В 1803 г. В.В. Петров первым в мире показал возможность применения электрического тока (электродуги) в металлургии. Петров исследовал электропроводимость различных жидких и твердых тел, высказал мысль о возможности разложения воды электрическим током, открыл реакцию окисления и восстановления металлов, открыл принцип аккумуляции электричества.

В 1875 г. Павел Николаевич Яблочков (1847-1894) (рис. 31), создает электрическую свечу, состоящую из двух угольных стержней, расположенных вертикально и параллельно друг другу, между которыми проложена изоляция из каолина (глины). Чтобы горение (свечение) было более продолжительным, на одном подсвечнике помещалось четыре свечи, которые горели последовательно (во времени).



Рис. 31. П. Н. Яблочков

В 1876 г. свеча П.Н. Яблочкова получила признание за границей; он становится миллионером. Улицы Парижа, театры Лондона стали освещаться «русским светом». Только после этого свечи Яблочкова стали внедряться в России.



Рис. 32. А.Н.Лодыгин

Александр Николаевич Лодыгин (1847-1923) (рис. 32), в 1872 г. предложил вместо угольных электродов в свече Яблочкова использовать нить накаливания (сначала угольную, а затем из тугоплавкого металла), которая при протекании электрического тока ярко светилась. Это было безопасное для людей, яркое и дешевое освещение посредством электричества.

А.Н. Лодыгин писал, что электрический свет должен быть единственным искусственным светом как по своей силе и ровности, так и по безопасности и дешевизне.

Список изобретений А.Н. Лодыгина очень велик. В него входят электрические индукционные печи и печи сопротивления, сварочные аппараты, аккумуляторы, электрические приборы, извлечение из руд

алюминия и других металлов, электровертолет, скафандр и многое, многое другое.

Дмитрий Александрович Лачинов (1842-1902) изобрел много различных приборов: регулятор напряжения, оптический динамометр, способ центробежной отливки рефлекторов. В 1880 г. Д.А. Лачинов написал книгу “Электромеханическая работа”, которая содержала исследование работы электрических машин; в ней было приведено математическое доказательство, что на большие расстояния может передаваться любое количество электроэнергии путем увеличения электрического напряжения.

Вопрос передачи электрической энергии по проводам на большие расстояния поставил впервые в 1760 году М.В. Ломоносов; Д.А. Лачинов и М. Депре провели теоретические разработки электропередачи; Ф.А. Пироцкий и Фонтен впервые осуществили передачу с помощью изолированных проводов и используя обычные рельсовые пути.

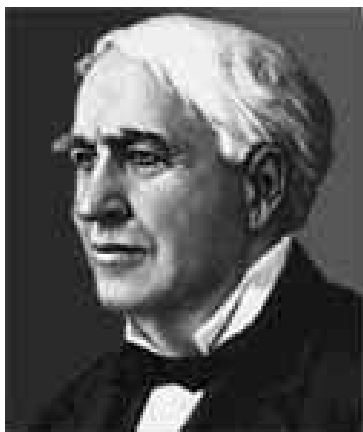


Рис. 33. Томас Эдисон

Томас Эдисон (1847-1931) (рис. 33), талантливый американский инженер-электротехник, изобретатель, который свои идеи и идеи других быстро претворял в жизнь. Им была усовершенствована лампа накаливания Лодыгина (откачал из баллона лампочки воздух, придумал цоколь с винтовой нарезкой и т. п.); заводы Эдисона стали выпускать лампы накаливания миллионами штук во всем мире.

Александр Ильич Шпаковский (1823-1881) создает в 70-х годах XIX в. дуговую лампу с электромагнитным и механическим регулированием, а в 1864 году создает первый автоматический регулятор давления пара прямого действия.

Владимир Николаевич Чиколев (1845-1898) (рис. 34), создает регулятор для стабилизации горения электрической дуги. Он же применил систему дробления света дуги, раздробив свет дуговой лампы в 3000 свечей на 60 источников света с помощью системы



Рис. 34. В. Н. Чиколев

линз, зеркал и трубок с отражающими внутренними стенками – световодами. С помощью такого устройства был освещен Охтинский

пороховой завод. В.Н.Чиколев усовершенствовал прожекторы, применив кольцеобразные стекла и зеркала. Он является основоположником отечественной светотехники, применения фотографии для определения скорости полета снарядов и многого другого. Принимал активное участие в создании первых электростанций.

Николай Николаевич Бенардос (1842-1905) применил электрическую дугу для сварки металлических листов, резки металлов, отверстий. Разработал технологии сварки в среде защитных газов и точечной сварки.

Николай Гаврилович Славянов (1854-1897) (рис. 35), создал конструкции электрических машин и аппаратов, динамомашин и регуляторов электрической дуги. Использовал электрод и как средство для создания электрической дуги, и как носитель металла для создания шва при сваривании листов или деталей. Он же применил электроподогрев металлических отливок для равномерного остывания по всему объему.



Рис. 35. Н. Г. Славянов

Н.Н.Бенардос и Н.Г.Славянов использовали открытие В.В.Петрова по плавлению и свариванию металлов в электрической дуге.

Один из первых русских профессоров электротехники Михаил Андреевич Шателен писал:

«Первая половина XIX в. была особенно богата результатами изучения электрического тока: была открыта электрическая дуга (В.В. Петров), были открыты термоэлектрические явления (Т. Зеебек,

Ж. Пельтье); найден закон тепловых действий тока (закон Джоуля-Ленца), были определены законы химического действия тока (законы М. Фарадея), были установлены законы Г.Ома и Г. Кирхгофа, внесшие большую ясность в понимание явлений тока; были обнаружены свойства тока намагничивать железо и действовать на магниты; были найдены законы взаимодействия токов между собой и тока с магнитами; были открыты законы электромагнитной индукции».

С открытием вольтова столба ток стали применять для различных практических целей: для освещения, для нагрева, для разложения сложных химических веществ, для металлических покрытий и полу-

чения металлических оттисков (гальванопластика академика Б.С. Якоби), для целей связи (П.Л. Шиллинг, Б.С. Якоби), для двигателей (Э.Х. Ленц, Б.С. Якоби) и др.

Со временем вольтов появились другие источники электричества: гальванические, термоэлементы, динамо-машины, электрогенераторы.

Кроме постоянного тока появился однофазный переменный ток, получавшийся от электромагнитных генераторов, а позже – и трехфазный ток (М.О. Доливо-Добровольский).

### 3.3.2. Первые аккумуляторы электрической энергии

По мере развития электроэнергетики, внедрения ее в промышленность, транспорт, быт возникла потребность накопления электроэнергии. В.В. Петров в начале XIX в. создает предпосылки для создания аккумуляторов, проводит эксперименты.

Г. Планте создает свинцовый аккумулятор в 1859 г. К. Фор конструирует свинцово-кислотный аккумулятор в 1880 г. А.Н. Лодыгин разрабатывает теорию аккумуляирования электричества для проектируемого электровертолета.

В 1886 г. М. Депре создает буферную аккумуляторную батарею.

В 1984 г. были созданы серно-натриевые аккумуляторы, намного превышающие по технико-экономическим показателям свинцово-кислотные.

Приведем некоторые числовые данные для материалов, способных аккумулировать электрическую энергию, из расчета на 1 кг веса:

Pb	16 Вт·ч на 1 кг веса
Воздушно – Zn	160 Вт·ч — « —
Li – Ni	200 Вт·ч — « —
S – Na	300 Вт·ч — « —
Li – Cl	500 Вт·ч — « —
Бензиновый двигатель	2400 Вт·ч — « — .

Аккумуляция электрической энергии необходимо для работы автономного транспорта – электромобилей, электровертолетов, подводных лодок; для накопления энергии в периоды её низкого потребления и выдачи её во время пиковых нагрузок и в других случаях.

Чтобы научить силу электрического тока стать творить чудеса, нужны были генераторы и электродвигатели. Над этим думали мно-



гие изобретатели, в том числе и русские.

**Будущее – за электричеством!** – было убеждение изобретателей. И кто знает, не открой тогда, в конце XIX в. богатые и на первых порах дешевые залежи нефти, которые дали такие же богатые и дешевые бензиновые реки, смог бы одержать верх в соревновании с электродвигателем двигатель внутреннего сгорания?!

### Вопросы для самопроверки

1. Какие преимущества перед другими видами энергии имеет электрическая энергия (электромагнитная)?
2. С каких времен и кем были обнаружены или использованы электрические явления?
3. Какие известны первые источники электричества, кем изготовлены?
4. Назовите имена первых исследователей магнитных свойств тел и электрических свойств заряженных тел.
5. Какие открытия помогла сделать “лейденская банка”? Кто работал с ней?
6. Какой вклад внес М.В. Ломоносов в исследование и применение электричества? Кто из ученых работал в это же время в области природного и искусственного электричества?
7. Какое открытие сделал Л. Гальвани, и на что оно натолкнуло А. Вольта?
8. Какие появились источники электричества в первой половине XIX века?
9. Кто открыл первые основные законы в области электричества в XVIII-XIX в.в.? Какие это законы?
10. Какой вклад внес М. Фарадей в практику и теорию электромагнетизма?
11. Какой вклад внес в теорию электромагнетизма Дж. К. Максвелл?
12. Перечислите имена ученых, исследователей, практиков, стоявших у истоков практического использования электромагнитной энергии.
13. Назовите имена первых русских ученых и изобретателей, работавших в области гальванопластики, освещения, электротермии.
14. Кто участвовал в разработке первых аккумуляторов электрической энергии?

### 3.3.3. Электродвигатели, электрогенераторы, трансформаторы

Открытия и исследования Д. Араго, Г. Эрстеда, А. Ампера, Г. Ома, М. Фарадея и других изобретателей и ученых послужили толчком для изобретательской фантазии инженеров, которые стали называться электриками. Важнейшим этапом в развитии электроэнергетики явилось изобретение и применение электрических машин.

В технике основными устройствами, использующими явление электромагнитной индукции, являются генераторы электрического тока, электродвигатели и трансформаторы. Рассмотрим их основное современное устройство и назначение, чтобы затем проследить исторические вехи разработки этих устройств и указать их авторов.

Генератор. Состоит из *статора* и *ротора*. Массивный неподвижный статор представляет собой полый стальной цилиндр, на внутренние стенки которого уложено большое число витков металлического провода, покрытого изоляцией и ведущего электричество во внешнюю электрическую цепь к потребителю.

Ротор представляет собой цилиндр с пазами для проводов, являющийся большим подвижным электромагнитом, установленным внутри статора.

Под действием паровой турбины, гидротурбины, паровой машины или другого двигателя ротор начинает вращаться, а в проводах статора, благодаря электромагнитной индукции, возникает электрический ток.

Электродвигатель. В электродвигателях происходит другое явление: электрический ток, протекая через провода статора, заставляет ротор вращаться. С помощью механических приспособлений движение ротора можно передать ленте трансмиссии, станку, эскалатору метро и другим механизмам.

Трансформатор. Состоит из магнитного сердечника и двух или более катушек, которые имеют разное число витков. Если подвести переменный электрический ток к катушке с большим числом витков – ток большего напряжения, то со стороны катушки с меньшим числом витков можно снять больший ток, но меньшего напряжения.

Создание электрических генераторов, электродвигателей, трансформаторов требовало изучения свойств материалов: неметаллических, металлических и магнитных, создания их теории.

Первыми в этом направлении были работы профессора Московского Университета Александра Григорьевича Столетова (1839-1896)



Рис. 36. А. Г. Столетов

(рис. 36). В 80-х гг. им была обнаружена петля гистерезиса и доменная структура у ферромагнитных материалов.

Братья Гопкинсоны разработали теорию электромагнитных цепей.

В 1895 г. Пьер Кюри обнаружил существование у ферромагнетиков критической температуры, выше которой происходит исчезновение доменной структуры и потеря ферромагнетизма – точки Кюри.

Применение электричества для связи, освещения, двигательной силы потребовало создания электроизмерительных приборов, Системы единиц измерения.

К 80-м гг. появились гальванометры, амперметры, вольтметры, магазины сопротивления, а начало созданию электроизмерительных приборов положили М.В. Ломоносов, Г.В. Рихман, Б. Франклин еще в XVIII в.

В 1881 г. в Париже собрался первый Международный конгресс электриков. Было принято постановление о разработке единой системы единиц. В группу разработчиков входили: Г. Гельмгольц, Г. Кирхгоф, У. Томсон, Р. Клаузиус, А.Г. Столетов и др.

### **Электродвигатели**

История создания двигателей уходит в глубокую древность. Сложными путями шел человек к открытию и познанию законов физики, созданию различных механизмов, машин.

Впервые двигатель назвал машиной римский зодчий Марк Полион (1 в. до н. э.).

Важнейшим этапом в развитии электроэнергетики явилось изобретение и применение электродвигателей. Принцип действия электродвигателей основан на физическом явлении: виток проводника, по которому протекает электрический ток, будучи помещенным между магнитами, движется поперек силовых линий магнитного поля. Электродвигатель, как правило, компактнее других двигателей, всегда готов к работе, может управляться на расстоянии.

История электродвигателя – сложная и длинная цепь открытий, находок, изобретений. Проследим этапы развития электродвигателей.

I этап. Начальный период развития электродвигателя (1821-1834 гг.). Он тесно связан с созданием физических приборов для демонстрации непрерывного преобразования электрической энергии в механическую.

В 1821 г. М. Фарадей, исследуя взаимодействие проводников с током и магнитом, показал, что электрический ток вызывает вращение проводника вокруг магнита, или вращение магнита вокруг проводника. Опыт Фарадея показал принципиальную возможность построения электрического двигателя.

Многие исследователи предлагали различные конструкции электродвигателей.

Первые электродвигатели напоминали по устройству паровые машины: двигатель Дж. Генри (1832 г.) и двигатель У. Пейджема (1864 г.) имели коромысла, кривошип, шатун, а также золотники (переключатели тока в солено-идах, заменявших собой цилиндр).

П. Барлоу предложил «колесо Барлоу». Оно состояло из постоянного магнита и зубчатых колес, скользящий контакт осуществлялся с помощью ртути, а питалось колесо от гальванического элемента.

Дж. Генри предложил в 1832 г. модель двигателя с возвратно-поступательным движением: подвижный электромагнит поочередно притягивался к постоянным магнитам и отталкивался от них, замыкая и размыкая батареи гальванических элементов. Он совершал 75 качаний в минуту.

Было еще много попыток создания двигателей с качательным движением якоря. Однако более прогрессивными оказались попытки построить двигатель с вращательным движением якоря.

II этап. Второй этап развития электродвигателей (1834-1860 гг.) характеризуется конструкциями с вращательным движением явнополюсного якоря. Однако вращательный момент на валу у таких двигателей обычно был резко пульсирующим.

В 1834 г. Б.С. Якоби создал первый в мире электрический двигатель постоянного тока, в котором реализовал принцип непосредственного вращения подвижной части двигателя. В 1838 г. этот двигатель (0,5 кВт) был испытан на Неве для приведения в движение лодки с пассажирами (рис. 37), т. е. получил первое практическое применение.

Испытания различных конструкций электродвигателей привели Б.С. Якоби и других исследователей к следующим выводам:



Рис. 37. Бот Якоби

– применение электродвигателей находится в прямой зависимости от удешевления электрической энергии, т.е. от создания генератора, более экономичного, чем гальванические элементы;

– электродвигатели должны иметь по возможности малые габариты и по возможности большую мощность и большой коэффициент полезного действия.

III этап. Третий этап в развитии электродвигателей (1860-1887 гг.) связан с разработкой конструкций с кольцевым неявнополюсным якорем и практически постоянным вращающим моментом.

На этом этапе нужно отметить электродвигатель итальянца А. Пачинотти (1860 г.) (рис. 38). Его двигатель состоял из якоря кольцеобразной формы, вращающегося в магнитном поле электромагнитов.

Подвод тока осуществлялся роликами. Обмотка электромагнитов включалась последовательно с обмоткой якоря (т.е. электромашинка имела последовательное возбуждение). Габариты двигателя были невелики, он имел практически постоянный вращающий момент. В двигателе Пачинотти явнополюсный якорь был заменен неявнополюсным.

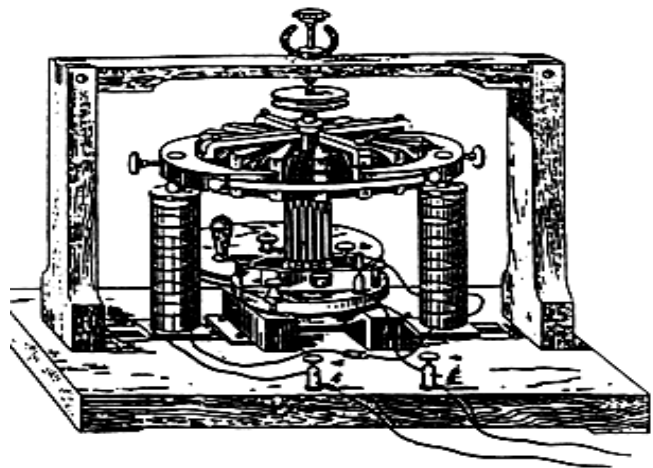


Рис. 38. Электродвигатель А. Пачинотти

Барабанный якорь, в котором рабочим является проводник, составляющий виток, был изобретен лишь в 1872 г. В. Сименсом. Еще через 10 лет в железе якоря появились пазы для обмотки (1882 г.). Барабанный якорь машины постоянного тока стал таким, каким мы его можем видеть в настоящее время.

Третий этап развития электродвигателей характеризуется открытием и промышленным использованием принципа самовозбуждения,

в связи с чем был окончательно осознан и сформулирован принцип обратимости электрической машины. Питание электродвигателей стало производиться от более дешевого источника электрической энергии – электромагнитного генератора постоянного тока.

В 1886 г. электродвигатель постоянного тока приобрел основные черты современной конструкции. В дальнейшем он все более и более совершенствовался.

По роду тока электродвигатели стали делиться на машины переменного и постоянного тока; по принципу действия машины переменного тока делятся на синхронные и асинхронные.

Асинхронные двигатели отличаются простотой конструкции, малой стоимостью, надежностью в работе. Они являются самым распространенным видом двигателей.

### Электрогенераторы

Прототип генератора электрического тока, основанный на принципе электромагнитной индукции, был сконструирован Фарадеем в 1831 г. Он состоял из медного диска, вращающегося вручную между полюсами постоянного магнита. При этом в диске индуцировалась электродвижущая сила (ЭДС); полюсами служили ось диска и неподвижная щетка, имеющая скользящий контакт с краем диска.

После этого были предложены различные конструкции электромагнитных генераторов. Магнито-электрические машины были изготовлены многими изобретателями: У. Риччи, И. Пикси, Ю. Кларком и др., но все они были трудно применимы для практического использования.

По заказу А.М. Ампера в 1832 г. И. Пикси (1808-1835) изготовил первый электрический генератор с коммутатором для получения постоянного тока. Он приводился в движение вручную.

В 1842 г. Д.С. Вулрич изготовил мощный генератор постоянного тока, соединив его ременной передачей с паровой машиной. Такой генератор использовали для питания гальванических ванн.

**1842 год считается годом рождения электроснабжения предприятий.**

В 1856-1866 годах появилась идея самовозбуждения электрогенератора (без гальванического элемента). Многие исследователи, инженеры независимо друг от друга, раньше или позже пришли к этому: венгр А. Йедлик (1800-1895); немец Э.В. Сименс (1816-1892); англи-

чане Г. Уайлд (1833-1919), С.А. Варли; американец М.Г. Фармер (1820-1893); датчанин С. Хьерт (1802-1870) и др.

Промышленное освоение электрогенераторов началось после 1870 г., когда француз З. Грамм создал генератор с кольцевым ротором (рис. 39), тороидальной обмоткой и коллектором почти современной конструкции. А. Пачинотти (1841-1912) на 10 лет раньше построил подобный электродвигатель.

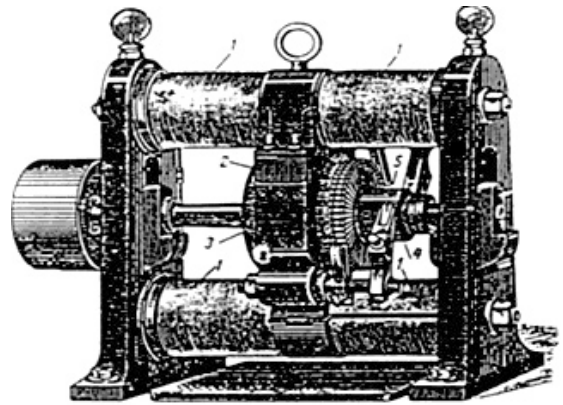


Рис. 39. Электромашина  
З. Грамма

В 1880 г. американец Т. Эдисон предложил делать магнитопровод якоря электрогенератора наборным из изолированных стальных листов. Это уменьшило потери и реакцию якоря.

В 1884 г. была предложена компенсационная обмотка, а в 1885 г. дополнительные полюса для уменьшения реакции якоря и улучшения коммутации.

Создание электрогенераторов и электродвигателей на постоянном токе решало многие вопросы существующей в то время энергетики, но передача энергии на дальние расстояния оказалась затруднительной.

В 1876 г. П.Н.Яблочков создал дуговые лампы, которые гораздо эффективнее работали на переменном токе. Для питания нескольких дуговых ламп от одного источника Яблочков использовал индукционные катушки с ответвлениями – прообраз трансформатора или простейший трансформатор с разомкнутым сердечником.

Введение переменного тока должно было позволить передавать электроэнергию с помощью повышающих трансформаторов напряжения на большие расстояния. Но теперь встал вопрос о создании генераторов переменного тока.

Впервые идею вращающегося электромагнитного поля высказал Д. Араго в 1821 г. В 1885 г. Г. Феррарис. (1847-1897) предложил использовать двухфазный ток (систему двух переменных токов, сдвинутых по фазе на  $90^\circ$ ), который дает возможность получить «вращающееся магнитное поле», и построил двигатель переменного тока.

Н. Тесла (1856 – 1943) (рис. 40), удалось построить систему из двухфазного генератора, трансформатора и двигателя.

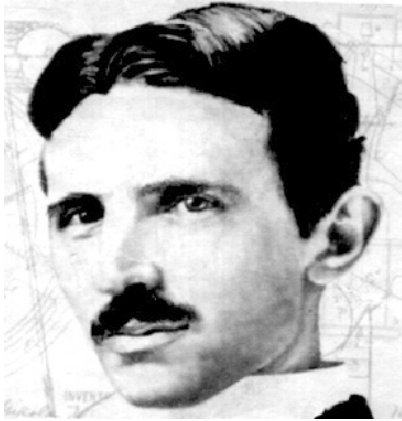


Рис. 40. Н. Тесла

Она была использована на Ниагарской гидроэлектростанции в США, система требовала четыре провода для передачи электроэнергии.

В 1888 году русский изобретатель М.О. Доливо-Добровольский (1862-1919) (рис. 41), создал трехфазную систему токов, которая затем получила признание и распространилась во всем мире как наиболее удобная и экономичная.

Вращающееся магнитное поле было получено путем сдвига фаз между токами одинаковой амплитуды на  $120^\circ$ . М.О. Доливо-Добровольский разработал ротор с обмоткой в виде беличьей клетки и создал короткозамкнутый асинхронный двигатель.

Трехфазная система, состоящая из трехфазного генератора, трехфазного двигателя (рис. 42), и трехфазного трансформатора, требовала для передачи и распределения электроэнергии всего три провода, являясь в то же время симметричной, уравновешенной и экономичной. Затраты металла были на 25 % меньше, чем в двухпроводной линии однофазной системы.

Трехфазный синхронный генератор был построен Доливо-Добровольским в 1890 г. Впервые передача трехфазного тока на расстояние 170 км была продемонстрирована на Международной электротехнической выставке во Франкфурте-на-Майне в 1891 г. во время Международного конгресса электротехников.

На базе электрических генераторов и электродвигателей стал конструироваться индивидуальный привод станков, механизмов и устройств.



Рис. 41. М.О. Доливо-Добровольский



Первое защитное заземление электрических машин предложили русский инженер Р.Э. Классон и француз М. Депре.

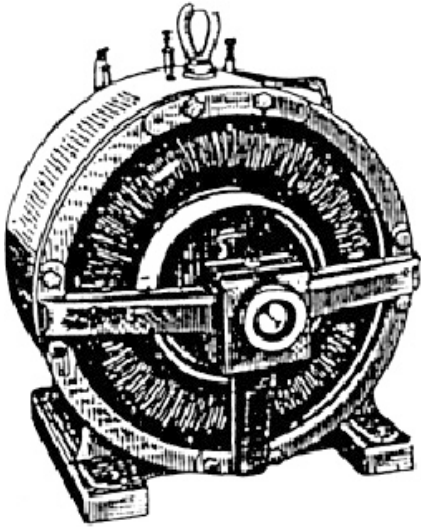


Рис. 42. Трехфазный двигатель

Генераторы электрического тока предъявили к первичному двигателю следующие требования: большое число оборотов, высокая равномерность вращения и непрерывно возрастающая мощность. Паровая машина уже не отвечала этим требованиям, Она имела 400-600 об/мин. Паровую машину вытеснила паровая турбина, которая имела большую скорость и более высокий КПД. Сейчас мощность паровых турбин достигает 1200 МВт. Турбина вместе с электрическим генератором называется турбогенератором.

## Трансформаторы

В 1848 г. французский механик Г. Румкорф изобрел индукционную катушку. Она явилась прообразом трансформатора.

П.Н. Яблочков, русский изобретатель, разработал систему «дробления» электрической энергии, впервые используя индукционную катушку в качестве трансформатора с разомкнутым сердечником для питания нескольких дуговых ламп. По существу он в 1889 г. создал первый силовой трансформатор.

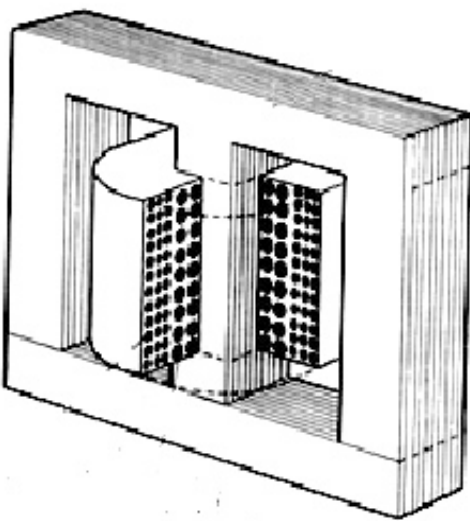


Рис. 43. Трансформатор

В 1882 г. русский электротехник И.Ф. Усагин, а в 1884 г. французский инженер Болард создали трансформатор напряжения (для повышения или понижения напряжения). Разработка силовых трансформаторов дала возможность передавать электричество на дальние расстояния, так как с возрастанием величины передаваемого напряжения уменьшаются потери электрической энергии, и появляется возможность уменьшить сечение проводов (рис. 43).

В 1885 году венгерские инженеры М. Дери и О. Блати вместе с К. Зиперовским разработали трансформаторы с замкнутым магнитопроводом. Появилась система распреде-

ления электроэнергии, основанная на параллельном подключении трансформаторов к питающей сети высокого напряжения.

В настоящее время на электрических станциях и подстанциях применяют понижающие и повышающие, двух- и трехобмоточные, трехфазные и однофазные силовые трансформаторы (рис.43).

Трансформаторы тока применяют в установках переменного тока всех напряжений для последовательных катушек измерительных приборов и реле защиты.

Первичную обмотку трансформатора тока включают в цепь последовательно, а ко вторичной обмотке также последовательно присоединяют катушки приборов и реле. Между первичной и вторичной обмотками трансформатора тока нет электрической связи, поэтому они надежно изолируют приборы и реле от напряжения установки.

Трансформаторы напряжения применяют в установках переменного тока для питания параллельных катушек измерительных приборов и реле защиты. Первичную обмотку трансформатора напряжения подключают параллельно к сети, а ко вторичной обмотке присоединяют параллельно катушки приборов и реле.

Трансформатор является одним из ключевых компонентов современной энергетической системы. Он преобразует напряжения в низкие или высокие с малыми потерями энергии. Является важным элементом многих электроприборов, механизмов и устройств: зарядных устройств, радиоприемников, телевизоров, подстанций, электростанций и т.п.

Размеры трансформаторов могут варьировать от горошины до громадин весом в 500 тонн.

Уменьшение габаритов трансформаторов достигается за счет более эффективного отвода тепла с помощью вентиляторов, внешних радиаторов, специальных насосов. Применяются системы испарительного охлаждения, однако они пока слишком дороги.

Процесс совершенствования системы изоляции и охлаждения трансформаторов продолжается: улучшаются конструкции трансформаторов, способы охлаждения, ведётся поиск возможности использования сверхпроводимости обмоток.

В настоящее время функции трансформаторов могут брать на себя полупроводниковые приборы. Однако трансформаторы еще будут выполнять свою службу довольно длительное время, эффективно и незаметно поддерживая функционирование электроэнергетических систем, от которых зависит так много в нашей современной жизни.

### 3.4. Исследование и применение электротехнических материалов

Развитие электроэнергетики, изготовление источников электрической энергии, всевозможных устройств для ее использования и передачи на большие расстояния, расширение области их практического применения требовало разработки и создания различных электротехнических материалов.

Все исследователи, изобретатели, электротехники понимали – для того, чтобы осуществить свои идеи – надо их материализовать, а для этого нужны материалы с определенными свойствами.

В.В. Петров создал одну из лучших в мире лабораторию, в которой насчитывалось более 630-ти приборов. Большинство этих приборов изготовил он сам. В этой лаборатории работали замечательные ученые Э.Х. Ленц, Б.С. Якоби и др.

В своей лаборатории В.В. Петров испытывал электропроводность различных твердых и жидких материалов, составлял справочные таблицы их свойств.

Материалы стали разделять на проводящие и изолирующие. Ток должен протекать по материалам с высокой электропроводностью, но в то же время эти каналы проводимости должны быть изолированы друг от друга.

Петров одним из первых стал изолировать проводники тока шелком, пропитанным смолой или маслом. Затем он делал изоляцию с помощью расплавленного сургуча.

В 1812 г. русский изобретатель П.Л. Шиллинг предложил гуттаперчивую изоляцию для проводов, прокладываемых под водой – подводный электрический кабель. В 1832 г. для электромагнитного телеграфа П.Л. Шиллинг применил каучук и пленку, пропитанную воском. В 1837 г. он создал подводную телеграфную линию с резиновой изоляцией между Петербургом и Кронштадтом.

В 1839 г. Б.С. Якоби изобрел пишущий электромагнитный телеграф, провода которого изолировал резиной и поместил их в свинцовую трубку.

Первые подземные телеграфные кабели предложили П.Л. Шиллинг и Б.С. Якоби. Кабель с изоляцией пропускаться через стеклянные или стальные трубки, которые в свою очередь укладывались в деревянные желоба, помещаемые в траншеи.

При введении серы в каучук получали резину. Если содержание серы в каучуке увеличивали, то получался эбонит – твердое вещество

для изготовления электроприборов. В начале 40-х годов XIX в. начинают широко применять резину и гуттаперчу.

В 1847 году В. Сименс (Германия) применил резиновую изоляцию проводов и кабелей.

С 1879 г. изолированный провод стали покрывать свинцовой оболочкой. В 1879 г. Ф. Борель (Швейцария) разработал технологию изготовления кабелей со свинцовой оболочкой. С 1890 г. начинают внедрять пропитанную маслом бумажную изоляцию.

Развитие электрических машин, генераторов вызвало необходимость разработки теплостойкой изоляции. Создаются теплостойкие пропиточные составы и покрытия, композиционные составы для изоляции пластин коллектора машин. В качестве изоляции стали использовать природную слюду (мусковит и флогопит), затем миканиты, микаленты, микафолии, микалексы.

В конце XIX и начале XX в.в. создаются новые материалы – синтетические высокомолекулярные соединения с хорошими изоляционными свойствами – полиэтилен, полистирол, винипласт, поливинилхлорид, полиметилметакрилат и др. Позже создаются высокотемпературные полимеры, такие как фторопласты и элементоорганические соединения, сшитый и облученный полиэтилены и др.

В конце 1906 г. были изобретены проходные, опорные, подвесные изоляторы на основе керамики, покрытой глазурью, позже эти изоляторы стали изготавливать из электротехнических стекол и специальных пластмасс.

Применение таких изоляторов было необходимо для передачи электрического тока по воздуху на большие расстояния, когда требовалось увеличение напряжения до сотен и тысяч киловольт.

Позднее возникает проблема передачи больших токов при относительно малых рабочих напряжениях. Для разрешения этих вопросов надо было уменьшать сопротивление линий электропередачи.

Существенно снизить сопротивление проводников можно путем их глубокого охлаждения. Такие проводники получили название гиперпроводников.

В 1911 г. голландский физик Камерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости, когда электрическое сопротивление проводников становится равным нулю (обычно при 1...8 К). Несколько десятков лет сверхпроводники не могли применяться на практике, так как нужно было создавать очень низкие температуры для перевода их в сверхпроводящее состояние.

После 50-х гг. XX в. были открыты сплавы (например, ниобия с оловом), которые переходили в состояние сверхпроводимости при более высоких температурах.

В настоящее время разрабатываются высокотемпературные сверхпроводники. В 1986 году А. Мюллер (США) и Г. Беднорц (Швейцария) открывают высокотемпературную сверхпроводимость керамических материалов на основе трехвалентной меди с температурой перехода в сверхпроводящее состояние 35 К и 78 К.

Совершенствование электрических генераторов, двигателей, трансформаторов требовало изучения свойств металлов, магнитных материалов и создания сплавов с высокими ферромагнитными свойствами. Решению этих задач способствовали работы П. Кюри, А. Г. Столетова, братьев Гопкинсонов, Т. Эдисона и др.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Исследования и работы каких авторов послужили созданию первых электрических машин?
2. Проследите основные этапы создания электродвигателей и назовите авторов разработок.
3. Для каких целей использовались первые электродвигатели и кем?
4. Назовите первых создателей электрических генераторов.
5. Какие конструкции электрогенераторов предлагались изобретателями?
6. Создание каких генераторов позволило передавать электрическую энергию на большие расстояния?
7. Кто разрабатывал многофазные системы переменных токов, какие из них получили широкое распространение?
8. Опишите путь создания трансформаторов разных типов и назовите их авторов.
9. Кто участвовал в разработке и создании электротехнических материалов?
10. Какие материалы использовались в качестве проводников, а какие в качестве изоляторов при изготовлении электроизделий и линий передач?

### 3.5. Электрические станции

Электростанции – фабрики по производству электрической энергии, подлежащей распределению между различными потребителями, появились не сразу.

В 1873 г. под руководством бельгийско-французского изобретателя З.Т. Грамма (1826-1901) была сооружена первая электростанция на несколько киловатт для питания системы освещения завода, так называемая блок-станция.

В 70-80 гг. XIX в. каждый более или менее солидный потребитель (завод, улица, дом) имел свой источник электроэнергии (свою электростанцию). В качестве первичных двигателей, приводивших в движение электрогенератор, применялись вначале поршневые паровые машины, иногда двигатели внутреннего сгорания или локомобили. От первичного двигателя к электрогенератору вела ременная передача.

Первая электростанция (блок-станция) в России была сооружена на Сормовском машиностроительном заводе для питания осветительных установок в 1876 г.

Первая блок-станция в Петербурге была сооружена в 1879 г. при участии П.Н. Яблочкова для освещения Литейного моста.

В 1879 г. была построена первая электростанция в США в г. Сан-Франциско на 30 кВт под руководством Ч.Ф. Брана.

Первые центральные станции возникли уже в 80-х годах XIX в. Они были более целесообразны и более экономичны, чем блок-станции, так как снабжали электричеством сразу много предприятий.

В то время массовыми потребителями электроэнергии были источники света – дуговые лампы и лампы накаливания.

Первые электростанции Петербурга вначале размещались на баржах, закрепленных у причалов на реках Мойке и Фонтанке в начале 80-х гг. Мощность каждой станции составляла примерно 200 кВт.

Первая в мире центральная станция была пущена в работу в 1882 г. в Нью-Йорке, она имела мощность 500 кВт.

В Москве первая центральная электростанция на 400 кВт (Георгиевская) была построена в 1888 году. Применялись паровые жаротрубные котлы системы Шухова, основным топливом служил каменный уголь.

Первая паровая турбина на электростанции в России была установлена в Петербурге в 1891 г. Все электростанции вначале работали на постоянном токе, а это ограничивало радиус обслуживания потребителей несколькими сотнями метров, так как потери составляли почти 20 %.

Увеличение радиуса действия электростанций могло быть осуществлено только при переходе электростанций на переменный ток, при котором можно было использовать повышающие трансформаторы.

В 1884 г. была построена электростанция переменного тока в Лондоне.

В России крупная электростанция однофазного переменного тока была построена в 1887 г. в Одессе для освещения театра.

В Царском Селе протяженность электрической сети в 1887 г. составляла 64 км. Царское Село было первым городом в Европе, который был освещен исключительно электричеством.

Крупнейшая в России электростанция однофазного тока на 800 кВт была построена на Васильевском острове в Петербурге в 1894 г. под руководством инженера Н.В. Смирнова.

Применение переменного тока позволило упростить и удешевить электрическую сеть. Сечение проводов с 400-600 мм<sup>2</sup> уменьшилось до 58 мм<sup>2</sup>, а потери уменьшились с 20 % на постоянном токе до 3 % – на переменном токе.

Начало современного этапа в развитии электроэнергетики относится к 90-м годам XIX в., когда была решена комплексная энергетическая проблема электропередачи и электропривода – применение трехфазного тока.

Основоположником системы трехфазных переменных токов считается по праву русский ученый М.О. Доливо-Добровольский.

Создание трехфазной системы явилось важнейшим этапом в развитии электротехники и открыло ей путь в промышленность.

Первым в России предприятием с трехфазным электроснабжением был Новороссийский элеватор (1893 г.), строителем электростанции был русский инженер А.Н. Шенснович.

Первая трехфазная установка в Америке была сооружена в Калифорнии на гидроэлектростанции в 1893 г.

Электрификация Охтинского порохового завода в Петербурге трехфазной системой тока была осуществлена инженерами электротехниками В.Н. Чиколевым и Р.Э. Классоном.

Р.Э. Классон (1868-1926) возглавлял строительство целого ряда электростанций в Петербурге и Москве, изобрел гидравлический способ добычи торфа и т. д.

Создание трехфазной системы явилось важнейшим этапом в развитии электротехники. Электрическая энергия из мест ее дешевого получения (река, залежи угля, торфа) могла теперь передаваться в удаленные промышленные и городские районы. Процесс электрификации стал захватывать все новые области производственной деятельности человека, способствовал развитию производительных сил. С 1897 г. началась электрификация крупных городов России.

В конце 1906 г. были изобретены подвесные изоляторы, что позволило увеличить величину передаваемого напряжения.

Первая энергетическая система в России была создана на базе двух электростанций в Баку. Эту систему создали инженеры электротехники Р.Э. Классон и Л.Б. Красин в 1902 г.

Более подробно электрификация России будет рассмотрена дальше. Следующий параграф посвящен различным видам электростанций, которые существуют или разрабатываются в настоящее время.

### 3.5.1. Виды электростанций

Электрические станции, которые стали интенсивно строиться в 70-80-х гг. XIX в. и продолжают строиться в настоящее время – т.е. в начале XXI века, можно классифицировать по первичной энергии на следующие виды:

- тепловые, включая атомные,
- гидравлические,
- ветровые,
- гелиостанции,
- геотермальные,
- приливные и др.

Тепловые электростанции, в зависимости от типа первичного двигателя (а электрическая энергия пока является только вторичной энергией), подразделяются:

– на электростанции с паровыми турбинами, конденсационные – КЭС или ГРЭС (государственная районная электростанция), вырабатывают только электрическую энергию;



- с теплофикационными турбинами – ТЭЦ, в которых одна часть тепловой энергии отдается потребителям в виде горячей воды или пара, а другая часть идет на выработку электроэнергии;
- с поршневыми машинами – локомотивами или дизелями;
- с газовыми турбинами;
- атомные и др.

Рассмотрим кратко, что собой представляют перечисленные виды электростанций.

### Тепловые электростанции

Они состоят из следующих основных крупных узлов (рис. 44).

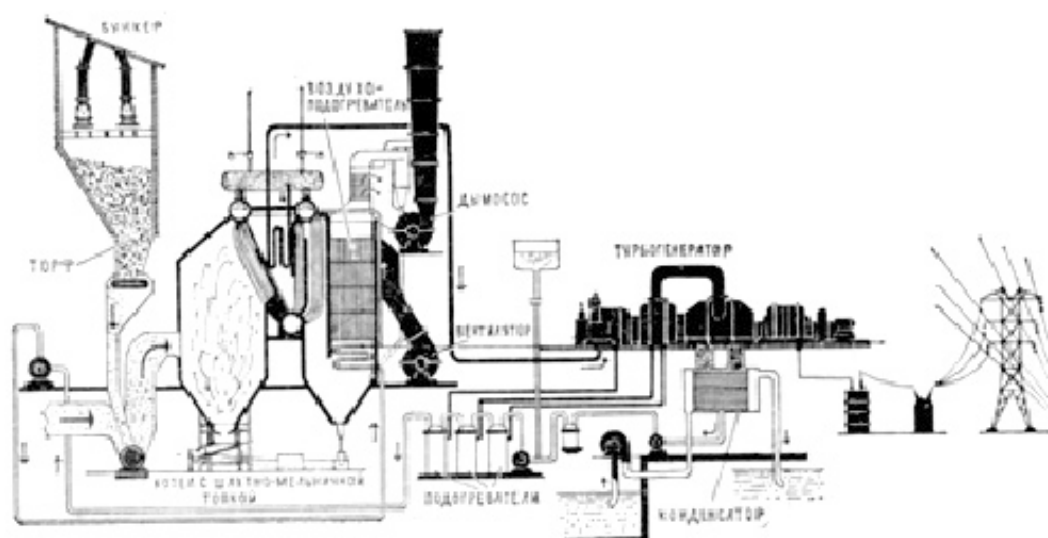


Рис. 44. Схема тепловой электростанции

1. Котельная установка – служит для выработки пара из воды за счет использования тепла топлива (угля, торфа, нефти, мазута и т.д.). В котельную установку входит топка, где происходит сжигание топлива, и паровой котел. Кроме этого в нее входит пароперегреватель, экономайзер – для подогрева питательной воды, воздухоподогреватель – для подогрева воздуха для топки. Котельная установка имеет также вспомогательное оборудование:

- тягодувное устройство – естественное, в виде высокой трубы, или дутьевые вентиляторы – искусственное;
- золоуловители (фильтры);
- водоподготовка – очистка воды.

2. Паровая турбина, (рис. 45). Она состоит из вала, на котором прочно насажены диски. На ободах этих дисков закреплены особо

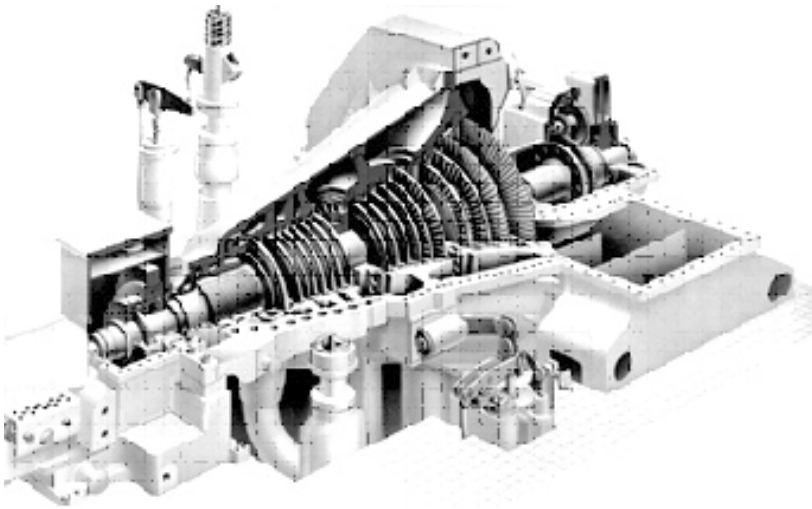


Рис. 45. Разрез турбины

изогнутые рабочие лопатки. Вал вращается на подшипниках. Пар из котла по соплам поступает на рабочие лопатки турбины и заставляет вал турбины вращаться. Выходя из пространства турбины, пар конденсируется, чтобы создать большой перепад в давлении, ускорить протекание пара и повысить эффективность цикла. Давление уменьшается со 100 до 0,4 атм.

ритель протекание пара и повысить эффективность цикла. Давление уменьшается со 100 до 0,4 атм.

3. Электрогенератор. Его ротор находится на одном валу с турбиной. Электрогенератор вырабатывает электрическую энергию, которая поступает на преобразовательную подстанцию.

### **Газотурбинные электростанции**

Они работают примерно по тому же принципу, что и паротурбинные, но в качестве рабочего вещества используется не водяной пар, а газ – продукт сгорания топлива или природный газ. Применение газовых турбин в настоящее время – одно из перспективных снижений затрат на получение электрической и тепловой энергии. Для них характерно блочно-модульное исполнение, высокие технические характеристики, малые габариты (так как не требуется паровой котел и паропроводы). Для повышения эффективности они укомплектовываются водяным котлом-утилизатором, КПД с таким котлом примерно равно 77 %.

## Гидроэлектростанции (ГЭС)

В гидростанциях для производства электроэнергии используется энергия движущейся воды (рис. 46).

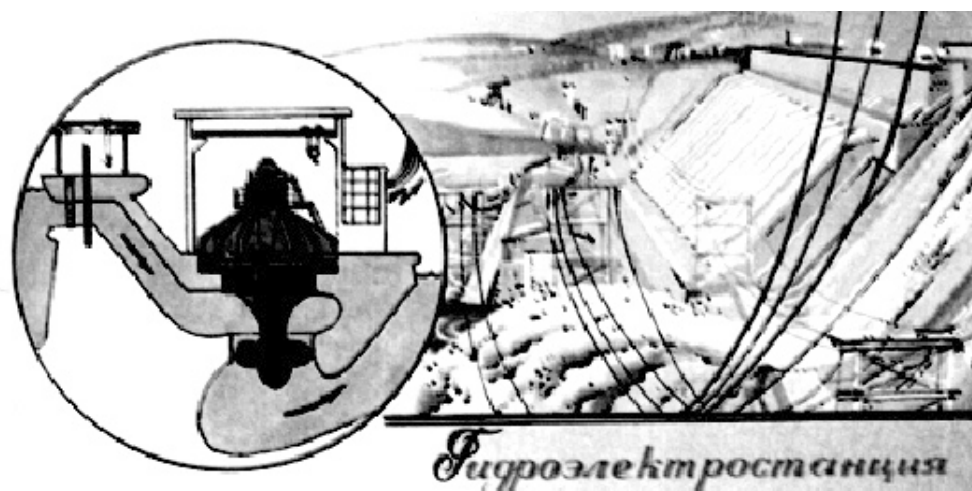


Рис. 46. Гидроэлектростанция

Первичными двигателями электрогенераторов являются гидротурбины, в которых потенциальная и кинетическая энергия воды преобразуется в механическую энергию для вращения ротора генератора.

Гидротурбина состоит из рабочего колеса и направляющего устройства. Рабочее колесо жестко закреплено на валу турбины, имеет на своем ободе по всему периметру ряд особо изогнутых лопаток.

Направляющее устройство придает движению воды нужное направление и регулирует количество воды, поступающее в турбину с помощью поворотных лопаток. Механизм разворота направляющих лопаток связан с регулятором турбины, поддерживающим постоянное число оборотов турбины и тем самым частоту тока. Из рабочего колеса вода отводится через всасывающую трубу в нижний бьеф гидроэлектростанции.

Мощность, развиваемая турбиной на валу,  $P_T$ , зависит от расхода воды  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), от напора воды  $H$  (м) (т.е. от разности высот воды между верхним и нижним бьефом реки) и от  $k$  – коэффициента полезного действия гидротурбины,

$$P_T = Q \cdot H \cdot k .$$

Гидроэнергетика России характеризуется высокой степенью концентрации мощностей. Крупнейшие ГЭС приведены в табл. 1.

## Крупнейшие гидроэлектростанции России

Электростанция	Река	Установленная мощность, МВт	Среднегодовая проектная выработка электроэнергии, млрд кВт·ч
Саяно-Шушенская	Енисей	6400	23,30
Красноярская	Енисей	6000	20,40
Братская	Ангара	4500	22,60
Усть-Илимская	Ангара	3840	21,62
Волгоградская	Волга	2541	11,10
Волжская	Волга	2300	10,90
Чебоксарская	Волга	1370	3,31
Саратовская	Волга	1360	5,40
Зейская	Зея	1330	4,91
Нижнекамская	Кама	1205	2,54
Воткинская	Кама	1020	2,32
Чиркейская	Сулак	1000	2,43
Загорская ГАЭС	Кунья	1000	1,20
Бурейская	Зея	2000	—



Рис. 47. Нурекская ГЭС

На рис. 47 показана схема высокогорной Нурекской ГЭС, высота ее плотины около 300 метров.

## **Геотермальные электростанции (ГТЭС)**

Они используют внутреннее тепло Земли, геотермическую энергию гейзеров, термальных источников для теплофикации и для производства электроэнергии.

В России геотермальные источники существуют на Камчатке, Курильских островах, в Сибири.

Впервые геотермальная станция на глубинном паре давлением 5 атм и температурой +200°C была построена в Италии в городе Лардерелло в 1904 г.

Геотермальные станции используются в Италии, Исландии, России, Японии, Новой Зеландии.

В России на Камчатке в 1967 году была построена Паужетская ГТЭС на 11 МВт, в начале XXI века Мутновская на 200 МВт, строится Паратунковская ГТЭС.

## **Гелиоэлектростанции (ГЛЭС)**

Они используют тепловую энергию солнечных лучей с помощью приемников двух видов:

– плоских, улавливающих солнечные лучи, направленные перпендикулярно плоскости (приемники отслеживают направление солнечных лучей, автоматически разворачивая свою плоскость);

– концентрирующих, в которых солнечные лучи с помощью зеркальных сферических поверхностей концентрируются в фокусе, где расположены тепловые элементы установки (например, паровой котел).

Сконструированы солнечные электростанции на полупроводниковых фотоэлементах (кремниевых, селеновых и др.). В таких установках солнечная энергия непосредственно превращается в электрическую энергию.

В конце XX в. в США и России был создан двухслойный полупроводниковый фотоэлемент из арсенида галлия, который преобразует в электричество видимую часть солнечного спектра, а инфракрасная часть спектра, проходящая через этот прозрачный слой, поглощается и преобразуется в электричество во втором слое – антимониде галлия или арсениде алюминия. В итоге КПД такого фотоэлемента составляет примерно 30-37 %, что сопоставимо с КПД современных тепловых и атомных электростанций (у обычных фотоэлементов в настоящее время КПД составляет где-то 10-12 %).

В Италии гелиоэлектростанция с паровой турбиной имеет мощность 200 кВт. В Армении была построена полупроводниковая солнечная электростанция мощностью 1200 кВт.

### **Приливные гидроэлектростанции (ПЭС)**

Такие станции вырабатывают электрическую энергию за счет использования потенциальной энергии приливов и отливов моря. Величина прилива (в результате притяжения Луны) в разных местах Земли неодинакова: у берегов Америки она составляет 21 м, у берегов Франции и Англии – порядка 15 м, у берегов России – 8...11 м на Белом и Охотском морях. Установлено, что использовать энергию приливов целесообразно уже при 3-4 м высоты прилива.

Приливные станции строят в бухтах с узким проходом. Перегораживают вход плотиной и в ней устанавливают гидротурбины. Во время прилива и отлива вода по трубам подходит к гидротурбинам и вращает их, а следовательно, и электрогенератор, сидящий на одном валу с турбиной.

Для ПЭС используют обратимые турбины, когда вращение непрерывно при любом направлении движения воды.

Приливы для вращения мельничных колес использовались 1000 лет тому назад в Испании, Франции, Англии.

ПЭС работают в Китае, во Франции, в России (Кислогубская ПЭС на Баренцевом море имеет мощность 1200 кВт) и других странах.

### **Ветровые электростанции (ВЭС)**

Эти станции используют энергию ветра. Энергия ветра используется человечеством уже несколько тысячелетий, но для выработки электроэнергии, в основном, в XX в.

Чаще всего изготавливают ветродвигатели крыльчатого типа. Диаметр крыльев бывает от 8 до 30 м и более, а мощность таких установок от 1 до 1000 кВт и более (рис. 48).

Мощность ветрового двигателя  $P$  определяют скорость ветра  $C$ , м/с и  $k$  – коэффициент полезного действия установки –

$$P=k \cdot C^3 \text{ (кВт).}$$

Николай Егорович Жуковский (1847-1921) предложил закон построения крыла ветряного двигателя.

В России работает несколько десятков тысяч ветродвигателей, и конструкции их непрерывно совершенствуются.



Рис. 48. Ветродвигатель крыльчатый

В период полной работы ветра электрическая энергия аккумулируется с последующей отдачей в период безветрия.

Россия в начале XX века была одной из ведущих стран в практическом применении энергии ветра. В 30-е годы была построена в районе Балаклавы ветроэлектростанция мощностью 100 кВт, с диаметром колеса 30 метров. Ее создание связано с именами ученых и инженеров – Г.Х. Сабининым, Н.В. Красовским, В.Р. Сектовым и др. Затем, в связи со строительством мощных электростанций, интерес к ветростанциям упал. Сейчас они снова набирают силу.

### Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС)

Для работы таких станций необходимо иметь два водохранилища

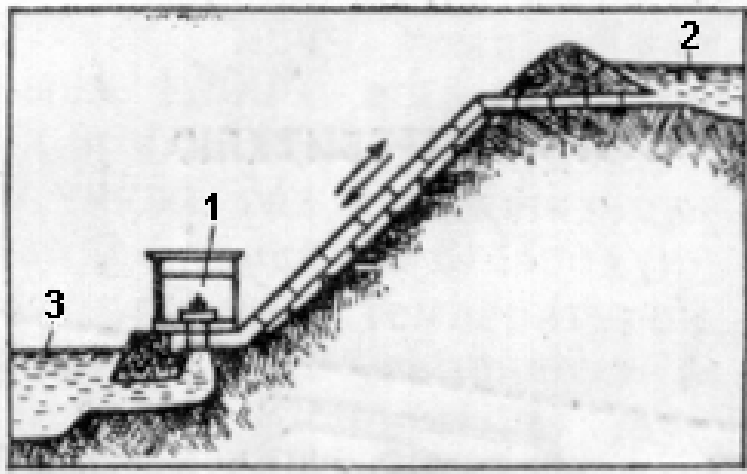


Рис. 49. Гидроаккумулирующая электростанция

– верхнее 2 и нижнее 3, расположенных друг от друга по высоте на 40-600 м. Между водохранилищами проложены трубы, по которым перекачивается вода с помощью насосов 1 (рис. 49). В часы малого потребления энергии, обычно ночью, свободная электрическая энергия станции тратится на работу электродвигателей насосов,

поднимающих воду из нижнего водохранилища в верхнее водохранилище.

В часы пик (большого потребления электроэнергии) гидроаккумулирующая электростанция работает в разрядном гидротурбинном режиме, когда вода из верхнего водохранилища по трубам переходит

в нижнее. Изменение режима из насосного в турбинное, или наоборот, происходит за 1,5-3 мин. КПД таких станций составляет 70-75 %.

### Атомные электростанции (АЭС)

АЭС для получения электроэнергии и тепла используют ядерное горючее. Вместо котельного агрегата на атомных станциях использу-

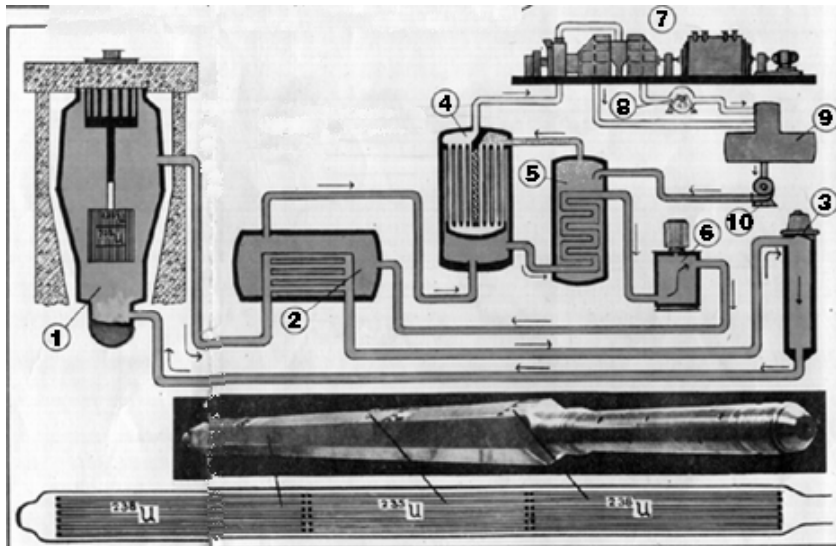


Рис. 50. Схема АЭС на быстрых нейтронах

ется ядерный реактор и особые парогенераторы (рис. 50).

В качестве топлива на АЭС применяется вещество, способное к самопроизвольному расщеплению ядер атомов с выделением энергии в виде тепла.

Важнейшим ядерным топливом являются тяжелые элементы: уран-235, уран-233, плутоний-239.

Расщепление ядер урана-235 происходит под воздействием нейтронов по цепной реакции, при этом выделяется большое количество тепловой энергии (~ 83 %) и так называемого ядерного излучения (~ 17 %).

На атомной станции (рис. 50) главным является ядерный реактор 1 – громадный металлический цилиндр. Внутри реактора находятся стержни с ядерным топливом – ТВЭЛы (нижняя часть рис. 50), графитовые стержни и трубы с водой. В урановых стержнях идет деление ядер, а графитовые стержни поглощают «лишние» нейтроны и удерживают реакцию деления ядер на нужном уровне.

Энергия, полученная при делении ядер, нагревает воду (или другой теплоноситель, например, металлический натрий). Насосы 3, 6, 8, 10 гонят горячий теплоноситель из реактора в парогенераторы 2, 4, 5.



Устройство парогенератора (пароперегревателя) – труба в трубе большего диаметра. Во внутренней трубе течет горячая вода из реактора, а по наружной трубе навстречу ей – вода из холодильника. Тепло от горячей воды передается холодной, она нагревается, закипает и превращается в пар.

Пар подается на лопатки турбины, она начинает вращаться и приводит во вращение вал (ротор) 7 электрогенератора.

Отдав тепло, реакторная вода снова возвращается в реактор, снова нагревается и снова идет в парогенератор. Кольцо, по которому она проходит, называется первым контуром. Пар, раскрутивший турбину, идет в холодильник 9. Там он охлаждается и превращается в воду. Вода опять поступает в парогенератор (наружную трубу), а затем снова превращается в пар. Это второе кольцо с водой и паром называется вторым контуром.

Управление цепной реакцией деления осуществляется с помощью регулирующих стержней из материалов, сильно поглощающих нейтроны. Это может быть бористая сталь.

При опускании таких стержней в активную зону реактора реакция замедляется вплоть до полного ее прекращения, и, наоборот, при поднятии стержней из зоны скорость реакции и мощность реактора увеличиваются.

Для обеспечения безопасности реактора существуют еще и аварийные стержни, которые в течение 1-2 секунд падают в активную зону и останавливают цепную реакцию.

Все ядерные реакторы имеют специальную биологическую защиту, чтобы предохранить обслуживающий персонал от опасных радиоактивных излучений, которые вызывают ионизацию молекул клеток.

Коэффициент полезного действия (КПД) АЭС на медленных нейтронах обычно составляет 25-35 %.

Первая в мире атомная электростанция вступила в строй в России в 1954 г. в г. Обнинске (под Москвой).

Первая в России АЭС на быстрых нейтронах сооружена в г. Шевченко (для опреснения морской воды и получения электроэнергии), схема её представлена на рис. 50.

По расчетам ученых 1 кг ядерного топлива при полном его использовании заменяет 2 000 тонн угля.

Топливо АЭС – обогащенный уран. В ядерном реакторе в процессе работы накапливается плутоний, который может делиться под воздействием нейтронов с выделением энергии. В результате реакции

в ядерном топливе накапливаются продукты деления и трансмутации, многие из которых высокорadioактивны, а некоторые имеют период полураспада десятки, сотни и даже тысячи и миллионы лет – это долгоживущие радиоактивные отходы, которые нужно захоранивать в надежных могильниках.

В инфраструктуру замкнутого ядерного топливного цикла входят следующие производства: 1) добыча и обогащение урановых руд и производство естественного урана; 2) радиохимическая переработка отработавшего ядерного топлива; 3) захоронение радиоактивных отходов.

### **Типы ядерных реакторов и их топливо**

В современных ядерных реакторах используется небольшая часть энергии, заключенной в атомах урана.

Дело в том, что природный уран состоит из двух частей (изотопов) – урана-235 и урана-238. Доля урана-238 равна 99,3 %, а урана-235 – всего 0,7 %. Атом урана-235 распадается на два осколка под действием медленных (тепловых) нейтронов. Чтобы увеличить продолжительность работы реактора без перегрузки атомного горючего, урановая руда предварительно обогащается. В результате содержание урана-235 увеличивается с 0,7 % до 3-5 %.

Впоследствии были созданы реакторы на быстрых нейтронах – бридеры. Их особенность в том, что в процесс деления ядер урана-235 вовлекается и уран-238.

У нас в стране строительство АЭС базируется на корпусных реакторах с водой под давлением ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) и кипящих канальных уран-графитовых реакторах РБМК (реактор большой мощности кипящий).

Принцип работы этих атомных реакторов одинаков – внутри реактора располагают тепловыделяющие элементы – ТВЭЛы, которые состоят из металлической трубки из сплава циркония, заполненной смесью урана-235 и урана-238 (нижняя часть рис. 50).

В реакторе ВВЭР все ТВЭЛы помещены в стальной корпус, заполненный водой, которая непосредственно соприкасается с ТВЭЛами и охлаждает их. Тепло атомного реактора нагревает воду под высоким давлением, она становится радиоактивной. Поэтому эта вода направляется в промежуточный парогенератор, где вода второго контура превращается в пар, направляемый в турбину.

Реактор РБМК заполнен графитовыми блоками, внутри которых сделаны отверстия. В них помещены тонкостенные трубы (рабочие каналы) из циркония, в которых устанавливаются ТВЭЛы. Через трубы циркулирует вода под давлением, она отводит тепло от ТВЭЛов и



Рис. 51. И. В. Курчатов

при этом частично испаряется. Это канальный реактор, а ВВЭР – корпусной. ВВЭР получили более широкое распространение, чем РБМК.

Преимуществом РБМК является возможность замены ТВЭЛов без остановки реактора. Первоначальные затраты при строительстве АЭС в 1,5-2 раза выше, чем при строительстве ТЭЦ, но себестоимость электроэнергии ниже в 1,3-1,7 раз. Первый атомный реактор был построен под руководством И.В. Курчатова (1902-1960) (рис. 51). В создании АЭС большие заслуги принадлежат ученым А.П. Александрову, Н.А. Доллежалю (рис.52) и др.

Главной особенностью энергетических реакторов на быстрых нейтронах является возможность получить не только тепловую и электрическую энергию, но и одновременно воспроизводить новое ядерное топливо. Основным топливом в реакторах на быстрых нейтронах является искусственный химический элемент плутоний-239 и «пассивный» уран-238.

Тепловая энергия в реакторе на быстрых нейтронах получается за счет деления ядер плутония, при этом часть образующихся нейтронов захватывается (поглощается) ураном-238 и он превращается в плутоний-239. Вновь образуемый плутоний является ядерным горючим. Кроме этого в реакторе образуется избыток нового плутония по сравнению с выгорающим, и он может быть извлечен из данного реактора и направлен для использования в другой реактор.

В результате этого процесса возможно использование почти всего урана -238.

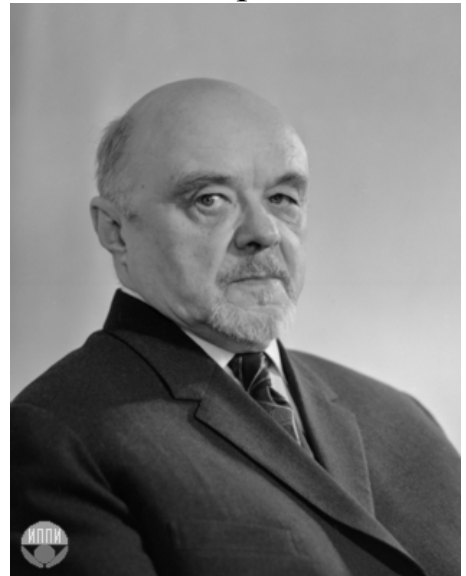


Рис. 52. Н.А.Доллежалъ

В 1972 г. первой в мире была введена в эксплуатацию АЭС в г.Шевченко с реактором БН-350 на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, мощностью 350 МВт.

На Белоярской АЭС пущен в эксплуатацию энергоблок на быстрых нейтронах БН-600 мощностью 600 МВт.

В качестве теплоносителя и охладителя реактора на БН применяется жидкий металл – натрий, который в последующем контуре отдает свое тепло воде, превращая ее в пар, поступающий в паровую турбину; далее цикл превращения энергии пара в электричество происходит обычным путем.

Теплоноситель натрий не должен нигде соединиться с водой, иначе произойдет взрыв. Вместо натрия проектируется в дальнейшем использовать гелий или диссоциирующий газ.

Приведем структуру производства электроэнергии в крупнейших странах мира на конец XX века.

Таблица 2

Производство электроэнергии в некоторых странах

Страна	Производство электроэнергии, ТВт·ч				
	Общее	Тепловыми электростанциями	Атомными электростанциями	Гидроэлектростанциями	Солнечными, геотермальными, ветровыми и прочими
Всего в мире	13720	8592,0	2415,6	2516,7	195,6
В том числе: США	3677,8	2518,7	720,8	353,1	85,2
Китай	1080,0	877,7	14,3	188,0	–
Япония	1012,1	601,2	304,6	81,0	25,3
Россия	847,2	577,4	109,0	160,8	–
Канада	570,7	118,1	93,0	356,1	3,5
Германия	555,3	361,5	161,6	22,2	10,0
Франция	513,1	43,1	401,2	65,7	3,1
Индия	435,1	367,5	8,4	59,0	0,2
Великобритания	347,9	243,5	95,0	3,5	5,9

### 3.5.2. Возобновляемые источники энергии – ВИЭ

Возобновляемые источники энергии – солнечная энергия, энергия ветра, энергия рек и водотоков, приливов, волн, энергия биомассы (дрова, бытовые и сельскохозяйственные отходы, отходы животноводства, птицеводства, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности), геотермальная энергия, а также

рассеянная тепловая энергия воздуха, воды, океанов, морей, водоемов.

Все это многообразие сводится к трем глобальным видам источников:

- энергии Солнца,
- тепла Земли,
- энергии орбитального движения планет.

Повсеместный переход на ВИЭ не происходит лишь потому, что промышленность, машины, оборудование и быт людей на Земле ориентированы в основном на органическое топливо. А еще потому, что некоторые виды ВИЭ непостоянны и имеют небольшую плотность энергии.

Основные преимущества ВИЭ по сравнению с невозобновляемыми источниками энергии (газ, нефть, уголь и т.п.) – это их неисчерпаемость и экологическая чистота. Их использование не изменяет энергетический баланс Планеты. Кроме того ВИЭ играют значительную роль в решении трех основных проблем, стоящих перед человечеством – это энергетика, экология, экономика.

Рассмотрим динамику использования ВИЭ в мире на конец XX в.

Ветроэнергетика (ВУ). Установленная мощность в мире: 1996 г. – 6172 МВт; 2000 г. – 17824 МВт; план 2006 г. – 36000 МВт. Лидирующие страны в этом направлении: Германия (6025 МВт); США (2495 МВт); Дания (2364 МВт); Испания (2538 МВт); Индия (1214 МВт); Россия (7,5 МВт)

Геотермальная энергетика (ГеоЭС). Установленная мощность в мире:

1970 г. – 678 МВт; 2000 г. – 8000 МВт. Страны лидеры: США (2228 МВт); Филиппины (1908 МВт); Италия (785 МВт); Индонезия (589 МВт); Россия (23 МВт).

Солнечная энергетика (ГелиоЭС). Установленная мощность в мире на 2000 год – 260 МВт. Страны лидеры: Япония – 80 МВт; США – 60 МВт; Германия – 50 МВт; Россия – 0,5 МВт.

Энергия биомассы (БЭ).

Использование энергии биомассы идет по нескольким направлениям:

- производство биогаза и биомассы на малых установках (Китай, Индия – 6 млн установок);
- на больших установках по переработке городских сточных вод (10000 установок) и на комбинированных установках сбрати-

вания городских и промышленных сточных вод (более 100 новейших установок);

- на мощных комбинированных установках (фабриках) по переработке отходов продукции сельского хозяйства, животноводства и пр. (в Дании находятся 18 таких установок из 50-ти во всей Европе).

Биогаз используется в быту, в водонагревателях, паровых котлах, дизель-генераторах, производящих электроэнергию и др.

Широкое распространение получили электростанции (США, Дания), на которых сжигаются твердые бытовые производственные отходы (ТБО) городов, а также электростанции, работающие на биогазе свалок (Италия, Франция).

Начинают внедряться электростанции, в топках которых сжигается древесина, отходы лесопереработки (страны Скандинавии) как при прямом сжигании этих отходов, так и через их газификацию с последующим сжигание полученного газа.

В России уже несколько лет ведется подготовка инженеров – специалистов по возобновляемым источникам энергии – в МЭИ, МГТУ им. Баумана, МГУ, СПбГПУ, вузах Екатеринбурга, Новосибирска, Хабаровска и др.

### **3.5.3. Перспективные источники электроэнергии**

#### **Термоядерный реактор – ТОКАМАК**

В процессе исследования ядерных реакций было обнаружено, что целесообразно не только делить атомное ядро урана или плутония, но также и соединять тяжелые атомы водорода (дейтерий, тритий). При этом образуется благородный газ – гелий. При слиянии (синтезе) тяжелых ядер водорода высвобождается громадная тепловая энергия, превышающая энергию деления атомного ядра в расчете на 1 кг атомов.

Принципиально возможно создание реакторов на водородном топливе, при этом в качестве отхода этой реакции будет газ гелий. Такие реакторы называются термоядерными и носят название ТОКАМАК (рис. 53) – тороидальная камера с магнитными катушками. Термоядерный процесс был открыт и осуществлен в водородной бомбе, но там он протекает мгновенно и неуправляем, а для использования в энергетике он должен протекать медленно и быть управ-

ляемым (этот процесс протекает при температурах около 100 млн градусов).

Установку ТОКАМАК можно сравнить с трансформатором, у которого вторичная обмотка выполнена в виде замкнутого полого кольца – тора.

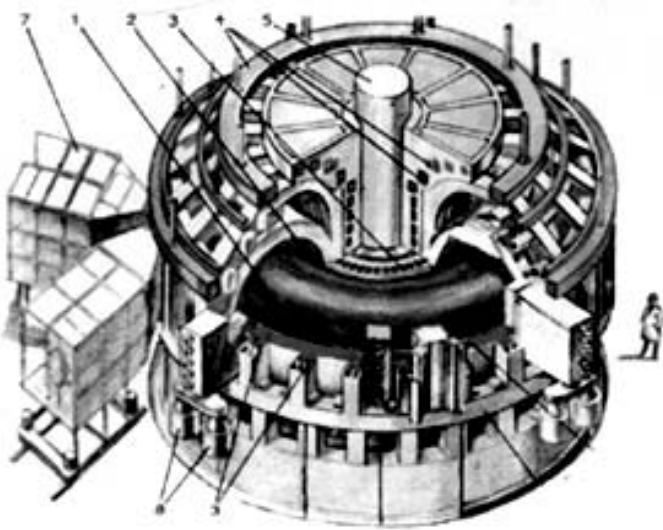


Рис. 53. Установка ТОКАМАК

Заполнение такой кольцевой камеры тяжелыми ядрами водорода – дейтерием осуществляется в глубоком вакууме. При пропускании тока по первичной обмотке в камере происходит пробой в газе, газ ионизируется и нагревается до высокой температуры.

Конечно, здесь возникает много проблем, среди них создание устройств, выдерживающих температуру многих

миллионов градусов. Это можно сделать при помощи магнитного поля, которое способно удерживать плазму (ионизированный газ) от соприкосновения со стенками устройства, предохраняя их от температурного разрушения. Существует и еще много проблем, которые пытаются решить и постепенно разрешают ученые всего мира.

### МГД – генератор

Это магнитогидродинамический генератор, который может тепло превращать непосредственно в электричество. При этом существенно повышается КПД, так как нет промежуточных преобразований, а значит, нет "лишних" потерь.

В МГД-генераторах газ, представляющий собой плазму, состоящую из множества положительно и отрицательно заряженных частиц (электронов и ионов), пропускается между магнитами, которые "сортируют" заряженные частицы. Положительные отклоняются в одну сторону, а отрицательные – в другую. Эти частицы накапливаются на двух пластинах – электродах и создают разность потенциалов, т.е. создают электрический источник энергии (рис. 54).

Напомним, что закон Фарадея об электромагнитной индукции говорит, что в проводнике, движущемся в магнитном поле, индуцируется электродвижущая сила. При этом проводник может быть твер-

дым, жидким или газообразным. В нашем случае плазма является газообразным проводником.

Область науки, изучающая взаимодействие между магнитным полем и токопроводящими жидкостями и газами, называется магнитогидродинамикой. Поэтому генераторы, работающие на плазменном проводнике, получили название магнитогидродинамических генераторов – МГД.

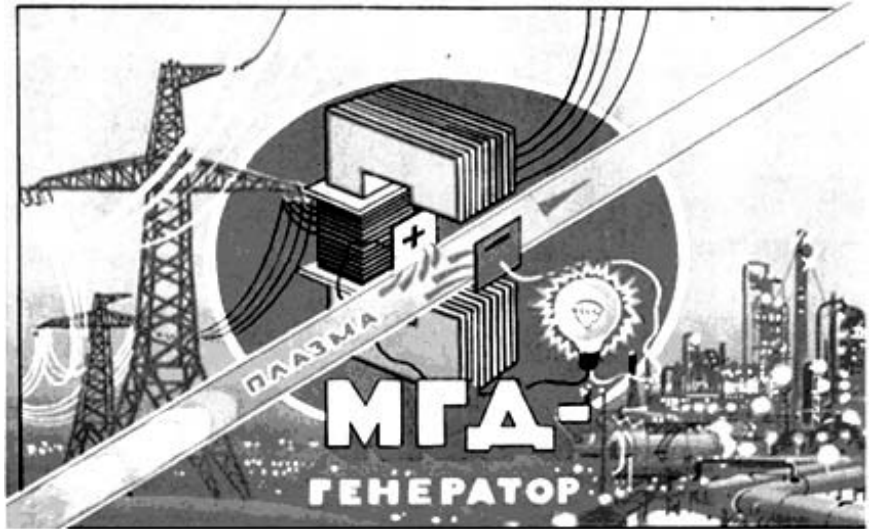


Рис. 54. МГД – генератор

Но! Здесь имеется много своих проблем, которые нужно решать совместными усилиями физиков, энергетиков, материаловедов и др. Трудно превратить большие массы газа в плазму. Для этого нужна высокая температура и высококалорийное топливо. При высокой температуре трудно сохранить материалы, из которых построен генератор. Существуют и другие подобные трудности.

### **Ионосферный МГД-генератор**

Жизнь на Земле во всем ее многообразии непосредственно связана с деятельностью Солнца. Миллиарды лет гигантские потоки солнечной энергии устремляются к Земле. Уже несколько веков насчитывает гелиотехника, занимающаяся вопросами использования солнечной энергии.

Не так давно возникла заманчивая перспектива: найти способ использования той части солнечной энергии, которая не доходит до нашей планеты, рассеивается в космосе.

1. Физические исследования в космосе показали, что за счет поглощения рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца в ионосфере Земли непрерывно вырабатывается (генерируется) электрический ток. Он проходит (течет) вокруг Земли в западном направлении в области экватора на удалении нескольких земных радиусов от поверхности Земли. Его энергия в виде джоулева тепла рассеивается в окружающем пространстве.



2. Земля обладает магнитным полем, а плазма ионосферы пересекает силовые линии этого поля и поэтому в плазме, как в проводнике, находится электродвижущая сила.

3. В теневой части, где Солнце в данное время не освещает Землю, плазма ионосферы охлаждается, концентрация ее частиц уменьшается за счет рекомбинации – образования из электронов и ионов нейтральных атомов, а из атомов – молекул. Через плазму ионосферы протекает круговой электрический ток, взаимодействующий с магнитным полем Земли, при этом происходит разделение зарядов: часть положительных ионов концентрируется на внутренней оболочке ионосферы, а часть электронов – на внешней. В результате на поверхности Земли создается отрицательный заряд.

Электропроводные Земля и ионосфера, разделенные между собой диэлектриком – слоем неэлектропроводного воздуха, представляют собой гигантский сферический конденсатор. При толщине слоя воздуха примерно в 100 км постоянно генерируемая разность потенциалов между Землей и ионосферой достигает примерно 100 млн вольт.

Поскольку в ионосфере существует круговой электрический ток, то можно сделать вывод, что в различных ее точках всегда существует разность потенциалов. Она равна произведению напряженности поля на расстояние между этими точками. Для использования этой разности потенциалов для совершения полезной работы на Земле необходимо иметь всего два проводника, соединяющих участки ионосферы с соответствующими точками на поверхности Земли, и полезную нагрузку, подключенную к этим проводникам.

Основной проблемой для такого способа использования энергии Солнца является создание проводников, соединяющих полезную нагрузку с ионосферой.

### **Водородная энергетика**

Термин «водородная энергетика» предполагает широкое использование водорода в энергетических системах и других секторах ближайшего будущего.

Для того, чтобы оценить преимущества водорода по сравнению с другими видами топлив приведем следующие данные.

При сгорании одного килограмма перечисленных ниже топлив выделяется тепла:

20000 кДж тепла	—	сухая древесина;
13000	«	бурый уголь;
25000	«	антрацит;
42000	«	нефть и нефтепродукты;
45000	«	природный газ;
120000	«	водород.

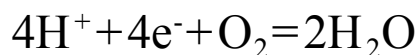
Рассмотрим в качестве примера использование водорода в топливных элементах для получения электрической энергии. В отличие от тепловых электростанций, которые химическую энергию топлива вначале преобразуют в тепло, а уж затем в электроэнергию, в топливном элементе происходит непосредственное преобразование химической энергии в электрическую. Основная сложность состоит в том, что и топливо, и окислитель должны быть вначале превращены в ионы. Топливом в этих элементах служит водород, а окислителем – либо кислород, либо воздух.

Принципиальная схема включает водородный анод, кислородный катод и электролит, проводящий ионы.

Например, в топливном элементе (со щелочным электролитом), который служит источником энергии для космических аппаратов, происходит на аноде диссоциация и ионизация молекулярного водорода:



В качестве электролита обычно используется раствор щелочи КОН. Ионы водорода  $\text{H}^+$  под действием разности потенциалов между анодом и катодом диффундируют через слой электролита к катоду. Электроны, образовавшиеся на аноде  $\text{e}^-$  при замыкании внешней электрической цепи перетекают к катоду, совершая полезную работу. На катоде происходит реакция:



Единственным продуктом реакции в этом процессе оказывается водяной пар или просто вода.

В топливных элементах ионизация происходит при умеренных температурах в присутствии катализаторов, включающих металлы платиновой группы. КПД таких элементов составляет от 40 до 70 процентов.

Многие исследования показали, что под термодинамической эффективностью паротурбинные и парогазовые водородосжигающие установки мощностью 1-10 МВт близки к топливным элементам, а по удельной мощности их превышают.

### 3.6. Развитие энергетики в России

В России создавались электростанции в конце XIX и начале XX веков, однако, бурный рост важнейшей составляющей развития любого производства – электроэнергетики и теплоэнергетики – начался в двадцатые годы XX столетия после принятия по предложению В.И. Ленина плана ГОЭЛРО (Государственной электрификации России).

В составлении плана ГОЭЛРО участвовали крупнейшие ученые и



Рис. 55.

Г.М. Кржижановский

инженеры, опытные электротехники страны. Составлению плана ГОЭЛРО предшествовала большая научно-организационная работа. На основе многочисленных специально подготовленных материалов были разработаны детальные научные обзоры, включавшие в себя отчеты о состоянии техники, отраслей промышленности, сельского хозяйства, строительства и транспорта, территориальном размещении промышленных центров, отдельных крупных предприятий и их техническую оснащенность; детальную характеристику энергетических, трудовых, сырьевых и денежных ресурсов экономических регионов страны.

Руководил составлением плана ГОЭЛРО Г.М. Кржижановский (1872-1959) (рис. 55) в разработке плана принимали участие такие крупные специалисты как А.В. Винтер (рис. 56), Г.О. Графтио (рис. 57), Б.Е. Веденеев, А.В. Вульф и др.

План ГОЭЛРО был принят в декабре 1920 г., а дальнейшая энергетическая программа СССР на длительную перспективу была принята в апреле 1983 г. Такой подход обеспечивал научно-обоснованную и сбалансированную выработку основных направлений развития страны.



Рис. 56 А.В. Винтер

В плане ГОЭЛРО учитывалась зависимость производительности труда от уровня развития технологического оборудования, обеспечивающего электрификацию производственных процессов; были заложены теоретические принципы формирования, подтвержденные опытом развития мирового хозяйства.

Электрификация страны в плане ГОЭЛРО выступала как экономически наиболее выгодное начало народного хозяйства, важнейший фактор технического прогресса, одно из средств решения первоочередных социальных проблем России.

План ГОЭЛРО – программа энергетического развития страны – был выполнен к 1931 г. – минимальному сроку реализации плана. К 1935 г. – максимальному сроку реализации плана – программа была значительно перевыполнена как по числу возведенных электростанций, так и по их качественным и количественным характеристикам. Это позволило СССР уже к 1941 году занять второе место в Европе (после Германии) и третье в мире (после США и Германии) по выработке электроэнергии

До 1913 г. Россия по производству электроэнергии стояла на 15 месте в мире.

В плане много внимания уделялось проблеме использования местных энергетических ресурсов (торфа, воды рек, местного угля и др.) для производства электрической энергии.



Рис. 57. Г.О. Графтио

В 1922 г. состоялся пуск электростанции «Уткина заводь» – первой торфяной электростанции в Петрограде, в 1925 г. – Шатурской электростанции на торфе. В 1925 г. на Каширской электростанции начали освоение новой технологии сжигания подмосковного угля в виде пыли.

В 1924 г. был введен в эксплуатацию первый теплопровод от ЛГЭС-3 (ТЭЦ им. Л.Л. Гинтера) – это положило начало развитию теплофикации в России.

В 1926 г. была введена в действие мощная Волховская гидроэлектростанция, энергия которой по линии электропередачи напряжением 110 кВ, протяженностью 130 км поступала в Ленинград. Руководил строительством Волховской ГЭС Генрих Осипович Графтио (1869-1949) (рис. 57).

В 1921 г. были созданы энергетические объединения государственных электростанций в Москве – МОГЭС, и в Петрограде – "Петроток" (затем переименованное в Ленэнерго).

Первая линия электропередачи напряжением 110 кВ Каширская ГРЭС – Москва введена в эксплуатацию в 1921 г.

В период реализации плана ГОЭЛРО на практике проверялись основные принципы развития электроэнергетики, а именно:

- строительство крупных электростанций (тепловых и гидростанций), позволяющих обеспечить электроснабжение целых районов;
- использование местных энергоресурсов;
- строительство высоковольтных линий передач;
- равномерное размещение энергоресурсов по стране и др.

Электромашиностроение является основной отраслью электротехнической промышленности, изготавливающей генераторы для энергетической промышленности и электродвигатели для различных отраслей народного хозяйства.

До революции 1917 г. в России было всего четыре машиностроительных заводов: завод концерна «Сименс и Шуккерт» в Петербурге, завод электротехнического треста «Вестингауз» (завод «Динамо») в Москве, завод концерна «Всеобщая компания электричества» в Риге и завод «Вольта» в Ревеле. Эти заводы представляли собой сборочные мастерские, работавшие на заграничных полуфабрикатах и материалах. Научно-техническая база находилась за границей.

Электротехническая промышленность России попадала все в большую зависимость от иностранного капитала. Стало горьким правилом, когда известные всему миру русские электротехники – первооткрыватели, не находя применения своим силам на Родине, искали применения на чужбине: П.Н. Яблочков, А.Н. Лодыгин, М.О. Доливо-Добровольский и др.

В конце XIX века 75 % всех электротехнических изделий поставлялись в Россию из Германии, лампы накаливания привозились из Америки и такое перечисление можно было бы продолжить.

В.Н. Чиколев объединил молодых русских электротехников вокруг журнала «Электричество», на страницах которого стали появляться обличительные статьи в адрес русского правительства. Эта «Могучая кучка» электротехников стала бороться против засилья иностранных капиталов, иностранных специалистов и техники за то, что-

бы правительственные и общественные заказы по электротехническим изделиям выполняли русские компании.

Постепенно отечественная электропромышленность пробивала себе дорогу. Первенцами советского электромашиностроения были заводы «Электросила», «Динамо», ХЭМЗ (Харьковский электромашиностроительный завод).

На заводе «Электросила» сосредоточилась разработка и производство турбо- и гидрогенераторов, мощных электродвигателей постоянного тока для прокатных станов и судов, асинхронных машин.

Завод «Динамо» специализировался на тяговом и крановом электрооборудовании, а также на электрооборудовании гидротехнических сооружений. Создавались серии специализированных машин.

Первый турбогенератор на 500 кВт был построен в 1924 г. на «Электросиле», а в 1937 г. выпущен турбогенератор на 100 тыс.кВт с воздушным охлаждением. В 1946 г. был изготовлен турбогенератор с водородным охлаждением. В послевоенные годы были построены Новосибирский (НТГЗ) и Лысьвенский (ЛТГЗ) турбогенераторные заводы.

В результате применения новых систем охлаждения и новых конструктивных, магнитных и изоляционных материалов мощности генераторов росли по таким ступеням: 100, 200, 320, 500, 800 и 1 200 тыс.кВт.

Параллельно развивалось гидрогенераторостроение. В 1923 г. завод «Электросила» построил гидрогенератор для первенца советской гидроэнергетики – Волховской ГЭС, затем для Угличской и Рыбинской ГЭС, Волгоградской ГЭС и др.

За годы Великой Отечественной войны (1941-1945) было потеряно, разрушено, разграблено 60 крупных электростанций, выведено из строя 10 тыс.км ЛЭП.

Вывезено в Германию: 1 400 паровых котлов, 1 400 паро- и гидротурбин, 11 300 крупных электрогенераторов и сотни тысяч электродвигателей.

Уже в 1947 г., благодаря громадному труду советского народа, Россия выходит по производству электроэнергии на 1-е место в Европе, а в 1958 г. – на 2-е место в мире.

В 1954 г. в Советском Союзе была построена первая в мире АЭС на 5 МВт.

В 1958 г. отечественной наукой и техникой созданы турбогенераторы на 200 МВт, в 1959 г. – на 220-300 МВт и более.

Большое развитие получает теплофикация заводов, фабрик, городов, поселков, направленная на производственные и коммунально-бытовые нужды.

Общая мощность теплофикационных турбин составляет более 36 % от общей мощности тепловых электростанций. Широкая централизованная теплофикация экономит много миллионов тонн условного топлива в год.

После 1920 г. началось интенсивное строительство гидроэлектростанций; крупнейшие из них:

- Волжская – 230 МВт;
- Горьковская – 400 МВт;
- Рыбинская (на Волге) – 330 МВт;
- Камская – 504 МВт;
- Цимлянская (Дон) – 166 МВт;
- Днепровская – 648 МВт;
- Иркутская (Ангара) – 660 МВт;
- Саяно-Шушенская – 6400 МВт.

Для сравнения: крупнейшая в США Гранд-Кули (р. Колумбия) – имеет мощность – 1 974 МВт.

Общая протяженность электросетей в Советском Союзе только напряжением 35-400 кВ в 1958 г. составила 100 000 км.

В это же время было освоено производство маслонаполненных кабелей на 220 кВ.

К 1990 г. производственный потенциал электроэнергии России составлял: ~ 700 электростанций (из них 70 % ТЭЦ и КЭС, 20 % ГЭС и 10 % АЭС).

В электроэнергетике было 2,5 млн км линий электропередач всех классов напряжения (в том числе 150 тыс. км напряжением 200-1 150 кВ); 90 % этого потенциала сосредоточено в единой энергетической системе – ЕЭС, имеющей централизованное и оперативно-диспетчерское управление.

Передача электрической энергии на большие расстояния ставила перед страной следующие задачи:

- повышение напряжения: 110, 220, 330, 500, 750 кВ и выше;
- переход на передачу постоянным током из-за большого возрастания емкостных токов на большом переменном напряжении (>220 кВ);
- создание высоковольтных выпрямителей и инверторов;

- повышение электрической прочности изоляции и изоляторов;
- создание высоковольтных выключателей и молниезащиты;
- создание специальных кабелей – подземных и подводных;
- создание маслонаполненных кабелей на 110-500 кВ;
- замена медных проводов для воздушных линий алюминиевыми и сталеалюминиевыми.

### 3.7. Энергосистемы

Объединение электростанций, осуществляющих параллельную работу на общую сеть, называют энергетической системой. Впервые была создана энергосистема в Швейцарии в 1892 году (фирма «Эрликон»), в России же они были созданы в 1902 году.

Современные энергетические системы состоят из:

- 1) электрических станций, вырабатывающих электрическую и тепловую энергию;
- 2) трансформаторных подстанций, служащих для преобразования электрического напряжения отдельных элементов системы до экономически целесообразного уровня в соответствии с дальностью передачи электроэнергии и величиной передаваемой мощности;
- 3) линий электропередач высокого напряжения, по которым электрическая энергия передается на большие расстояния к центрам нагрузки отдельных районов;
- 4) распределительных сетей различных напряжений, подающих энергию непосредственно потребителям;
- 5) потребительских установок, состоящих из двигателей, электрических печей, светильников и др.

Подобная энергетическая система содержит десятки тысяч различных элементов, работающих совместно при разных напряжениях на разных частотах.

Например, высоковольтная сеть Ленэнерго (основана в 1926 г.) имеет в своем составе 159 подстанций на 330 кВ, 220 кВ, 110 кВ и 35 кВ. Общая протяженность ее 3 311 км. На подстанциях установлено 475 трансформаторов общей мощностью свыше 19 000 МВА.

Входящие в состав энергосистемы электростанции, линии электропередач, подстанции и тепловые сети связаны в одно целое общностью режима и непрерывностью процесса производства и распределения электрической и тепловой энергии.

Создание энергосистем имеет большое народно-хозяйственное значение. При совместной работе на общую электросеть ряда элек-



тростанций общая нагрузка системы целесообразно распределяется между ними, достигается более экономичное использование оборудования отдельных электростанций и энергетических ресурсов (топлива, воды), а также уменьшаются потери электроэнергии в сетях и, следовательно, уменьшается стоимость электроэнергии. Кроме этого, значительно увеличивается общая надежность электроснабжения потребителей.

Создание больших единых энергосистем позволяет регулировать отпуск электроэнергии в соответствии с разными часовыми поясами страны или разных стран и с разными пиковыми по часам суток нагрузками (покрытие максимумов нагрузки).

В больших энергетических системах существует главный диспетчерский центр, в который поступает непрерывный поток сведений о мощности, нагрузках и распределении энергии по всему региону (части страны или всей стране).

Такая система может включать в себя сотни электростанций, подстанций, трансформаторов и тысячи километров высоковольтных линий передачи.

Диспетчерский центр осуществляет прием большого количества необходимых сведений, поддерживает связь с другими системами и является связующим центром объединенных систем. Из него производятся все переключения в высоковольтной сети. Диспетчерский центр оснащен системами автоматизации и телеуправления.

Рассмотрим историю создания и развития энергетических систем.

Рост энергетики связан с формированием единой энергетической системы. ЕЭС – сложнейшая, искусственно созданная система, функционирование и управление которой является сложной научно-технической и экономической проблемой. Это связано с последовательной централизацией электроснабжения и концентрацией мощностей, усложнением структуры электрообъединений, увеличением зависимости электроэнергетики от составляющих топливно-энергетического комплекса отдельных крупных регионов, от мировой топливно-энергетической конъюнктуры, ростом влияния уровня надежности электроснабжения на функционирование хозяйства страны в целом.

К 1983 г. в мире существовало три наиболее мощных энергосистемы (энергообъединения):

- Северной Америки (США и Канада);
- Западноевропейское (Австрия, Бельгия, Италия, Люксембург,

Нидерланды, ФРГ, Франция, Швейцария);

- Единая энергетическая система (ЕЭС) (СССР, Болгария, Венгрия, Польша, Румыния, Чехословакия, ГДР).

Основой диспетчерского управления подобных систем являются информационно-вычислительные системы (ИВС), включающие ЭВМ, средства автоматики, телемеханики и др.

Создание единых энергосистем, соединение на параллельную работу энергосистем соседних стран, формирование мощных межгосударственных энергообъединений характеризуют развитие мировой энергетики (табл. 3, 4).

К началу 80-х годов XX в. почти 90 % мощности электростанций мира было сосредоточено в сформировавшихся энергосистемах.

Таблица 3

Уровни единичной мощности и напряжения основных электростанций в некоторых странах в 80-е гг. XX в.

Страна	Мощность наиболее крупных электростанций, МВт			Мощность наиболее крупного агрегата, МВт			Высший уровень напряжения, кВ	
	АЭС	ГЭС	ТЭС	АЭС	ГЭС	ТЭС	1980 г.	2000 г.
СССР	4000	6000	3800	1000	600	1200	750	1150
США	3200	6200	3200	1100	700	1300	765	1200
Япония	4700	1280	4400	1175	320	1000	500	1000
Франция	4200	800	-	1300	-	700	400	400
Швеция	1600	-	100	800	-	330	400	800

Таблица 4

Данные о производстве электроэнергии

Страна	Территория, тыс. кв. км	Население, млн чел. на 1980г.	Производство эл. энергии, млрд кВт·ч
СССР	22402	264,5	1294
США	9363	219,9	2475
Япония	372	115,3	620
Канада	9976	23,5	389
Китай	9597	975	301
Англия	244	55,9	285
Италия	301	56,7	183
Франция	551	53,4	255
Бразилия	8512	115,4	137
Польша	313	35	122
Индия	3288	634,2	112

Продолжение таблицы 4

Страна	Территория, тыс. кв. км	Население, млн чел. на 1980г.	Производство эл. энергии, млрд кВт·ч
Испания	505	36,2	110
Швеция	450	8,3	95
Норвегия	324	4,1	82,6

### 3.7.1. Развитие энергосистем в СССР

Первая попытка создания энергосистемы в России была предпринята в 1902 году на базе двух электростанций в г. Баку под руководством инженера Р.Э. Классона.

Процесс объединения электростанций на параллельную работу и образование более крупных энергетических систем начался в нашей стране в 20-х гг. К концу 1935 г. уже работали 6 энергосистем. Протяженность электрических сетей напряжением 110 кВ составляла 2 тыс. км, в 1933 г. была построена первая линия электропередач (ЛЭП) напряжением 220 кВ.

В 1942 г. были заложены основы объединенной энергосистемы Урала.

У нас в стране работало много энергосистем, основными являлись: Уральская, Центральная, Южная, Северо-Западная. Большинство энергосистем европейской территории были объединены в Единую энергосистему в 1962 г., а в 1972 г. произошло объединение с этой системой энергосистем Западной и Восточной Сибири и образование Единой системы страны.

В конце 50-х гг. была освоена линия передачи напряжением 500 кВ.

К 1970 г. было завершено создание Единой энергосистемы европейской части страны. В начале 1978 г. было завершено формирование ЕЭС присоединением энергосистем Сибири.

В 1981 г. в стране работало 96 районных энергосистем. Параллельно работающие районные энергосистемы имели общий центр оперативно-диспетчерского управления.

Структура мощностей ЕЭС на начало 1982 г.: ГЭС – 19,3 %, АЭС – 6,5 %, ТЭС – 74,2 %. Основные электрические сети, формирующие ЕЭС – сети напряжением 330, 500 и 750 кВ.

Сеть 500 кВ – основная системообразующая сеть ЕЭС, обеспечивающая прием и выдачу мощности наиболее крупных электростан-

ций и обмена мощностью между энергосистемами. Протяженность таких сетей составила 25,4 тыс.км.

Внедрение напряжения 750 кВ началось в 1974-75 гг. и к 1981 г. протяженность линий передачи на 750 кВт превысила 3 тыс.км. В 90-е годы ЕЭС имеет высоковольтные сети передач на 110, 220, 500, 750 и 1150 кВ переменного тока и 1500 кВ постоянного тока (табл. 5).

Таблица 5

Длина линий электропередач переменного тока напряжением 220-800 кВ на конец 1980 г.

Напряжение, кВ	Длина линий, тыс. км			
	СССР	США	Франция	Япония
220...300	92,8	105	24,4	21
315...345	24,3	55	-	-
380...460	0,6	-	10,1	-
480...550	24,9	29	-	3,2
750...800	2,9	2,6	-	-

Из 93 энергетических систем страны в составе ЕЭС на 1980 г. работало 67 энергосистем, обеспечивающих энергоснабжение народного хозяйства европейской территории страны, Закавказья, Урала, Северного Казахстана, Западной Сибири.

Из Единой энергосистемы осуществлялся экспорт электроэнергии в параллельно работающие энергосистемы Болгарии, Венгрии, Чехословакии, Польши, ГДР, Финляндии и др.

До распада СССР функционировало межгосударственное объединение “Мир”, куда входили энергосистемы социалистических стран, Финляндии, Норвегии, Ирана и Монголии.

Основными топливо-энергетическими ресурсами в европейских районах страны являются – атомное горючее, на Урале – кузнецкий и экибастузский угли, в Сибири – канско-ачинский уголь и гидроресурсы, в Забайкалье, Якутии и на Дальнем Востоке – местные угли, газ и гидроресурсы.

### 3.7.2. Электроснабжение

Электроснабжением называется обеспечение потребителей электрической энергией. Под потребителями подразумеваются предприятия, организации, цехи, стройплощадки, жилые комплексы и т.п., у которых приемники потребляют электрическую энергию. Приемниками электроэнергии считаются устройства, в которых происходит преобразование электроэнергии в другие виды энергии: механиче-

скую – электродвигатели; тепловую – электрические печи, сварочные агрегаты; химическую – электролизные ванны; световую – светильники; информационную – устройства приема, передачи, управления и обработки информации (радио, телеграф, ЭВМ, телеприемники и т.п.).

Первые установки, снабжающие предприятия электроэнергией, появились в 1842 г., когда впервые англичанин Д. Вулрич соединил электрический генератор постоянного тока с паровой машиной. После этого такие установки начали внедряться на фабрики и другие предприятия. Возникла потребность сооружать электрические районные и центральные электростанции.

В 1879 г. Т. Эдисон разработал программу, с которой по существу и началась наука об электроснабжении. В нее вошли следующие основные пункты:

- разрабатывать мощные генераторы, приспособленные к параллельно включенным электрическим приемникам;
- разрабатывать рациональные схемы распределения электроэнергии;
- разрабатывать надежную конструкцию проводников и способов их прокладки;
- разрабатывать защиту системы электроснабжения от токов короткого замыкания;
- изготавливать простые и безопасные выключатели;
- находить способы регулирования напряжения генераторов;
- изготавливать приборы учета отпускаемой электроэнергии;
- разработать систему стандартизации параметров и размеров ламп, аппаратов, деталей проводки и др. устройств.

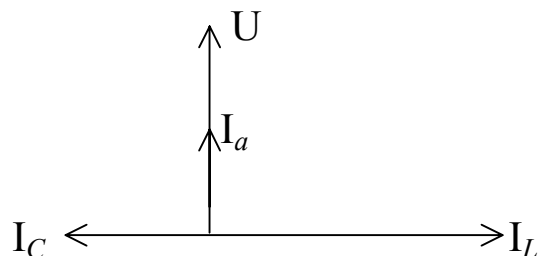
Отметим, что первой, самой простой и основной защитой от коротких замыканий служил (и служит) изобретенный Эдисоном плавкий предохранитель.

С развитием электропотребления и электростанций возникла необходимость оценки эффективности и предельной дальности передачи электроэнергии.

Первые формулы для определения КПД электропередачи дал в 1877 г. француз Э. Маскар. Математические расчеты передачи электроэнергии на большие расстояния были впервые разработаны русским ученым Д.А. Лачиновым в 1880 году; научные исследования в этом направлении вел француз Депре.

Величайшее значение имело изобретение М.О. Доливо-Добровольским трехфазной системы переменного тока в 1888 году.

В 1892 году Доливо-Добровольский определил зависимость потерь мощности в трансформаторе от характера нагрузки, применив разложение токов на активную и реактивную составляющие



Понятие «коэффициент мощности», относящееся к числу важнейших в электроснабжении, было введено в 1884 г. итальянцем Феррарисом.

Для повышения коэффициента мощности М.О. Доливо-Добровольский впервые в мире установил синхронный компенсатор.

Баланс реактивной мощности и решение проблемы повышения коэффициента реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей предложил в 1890-х годах француз Поль Бушери. После создания бумажно-парафинированных дешевых конденсаторов (примерно в 1915 году) проблема компенсации реактивной мощности была решена.

В 1884 году англичанин Парсонс создал ступенчатую реактивную турбину, соединил ее с генератором и получил турбогенератор – важнейший агрегат тепловых станций.

### 3.7.3. Развитие электронно-вычислительной техники

Развитие электроэнергетики, создание больших энергосистем требовали широкого внедрения автоматизации.

Проследим некоторые исторические вехи этого внедрения на основе устройств контроля и управления, вычислительных машин, компьютеров (computer – вычислитель).

Еще 1500 лет тому назад стали использовать счеты.

В 1642 г. Блез Паскаль (1623-1662) изобрел устройство для механического сложения и вычитания.

В 1673 г. Г.В. Лейбниц сконструировал арифмометр, рассчитанный на четыре арифметических действия.

В первой половине XIX в. англичанин Ч. Беббидж разработал идею вычислительного устройства, работающего без участия человека. В 1941 году немец Конрад Цузе построил аналитическую машину. В 1943 году американец Говард Эйкен разработал и построил вычислительную машину на основе механических реле «МАРК-1». В 1943 году Д. Моучли и П. Эккорт построили электронно – вычислительную машину на основе электронных ламп (вместо реле) – ЭВМ.

Первый компьютер был разработан математиком Джоном Нейманом, а построен в 1949 г. Морисом Уилксом.

Следует заметить, что ЭВМ Моучли и Эккорта имела 18 тысяч электронных ламп, 15 тысяч реле и потребляла 150 кВт электроэнергии. Программа этой машины набиралась вручную на коммутационных дисках и переключателях.

Первое поколение ЭВМ работало на ламповых схемах.

Второе поколение ЭВМ использовало уже полупроводниковые транзисторные схемы. Возросло быстродействие и надежность, стало меньше потребляться энергии. Количество операций – 1 миллион в секунду.

Для ЭВМ третьего поколения основой стали малые интегральные схемы (МИС). В них электронные приборы и элементы по специальной технологии создаются уже в самом веществе – кристалле. Еще больше уменьшились габариты ЭВМ и потребляемая мощность, увеличилось быстродействие; машина стала обрабатывать не только цифровую информацию, но и алфавитную.

ЭВМ четвертого поколения строятся уже на больших интегральных схемах (БИС). Число элементов на  $1 \text{ см}^2$  кристалла доводят до 100 тысяч.

Уже с начала 70-х гг. XX века микроЭВМ внедряются во все сферы человеческой деятельности.

ЭВМ пятого поколения производит не только числовые расчеты, но осуществляет обработку смысловой информации с выполнением операций анализа и вывода. Изготавливаются на БИСах, СБИС-ах и микроЭВМ.

В России первая малая вычислительная машина «МЭСМ» была построена в 1951 году под руководством С.А. Лебедева. Она имела параллельную обработку кодов и потребляла мощность 25 кВт. В 1953 г. появилась «БЭСМ», которая имела гораздо большее быстродействие. В этом же 1953 году была создана ЭВМ – «Стрела» под ру-

ководством Ю.А. Базилевского. В 1954 г. была построена ЭВМ «Урал» под руководством Б.И. Рамеева.

После создания этих машин и по мере накопления опыта стали создаваться машины следующих поколений, вплоть до шестого.

Использование электронно-вычислительных машин, компьютеров позволило решать сложные задачи в области переходных и установившихся режимов электрических машин, распределения электроэнергии в системах и т. п.

### 3.7.4. Воздушные линии электропередач ( ВЛ )

Первая линия передачи напряжением 110 кВ была сооружена на П-образных деревянных опорах. Но дерево быстро гниет, его надо обрабатывать антисептиком (с 1932 г. – срок службы составляет 30-40 лет), при этом расстояние между опорами 50...100 метров.

Первые металлические опоры в СССР были сооружены в 1925 г. (Шатура-Москва), расстояние между ними 200 м.

Затем стали сооружать опоры пространственной конструкции – Верхне-Свирская ГЭС – Ленинград (220 кВ). Позднее применили порталную конструкцию опор – пролет увеличился до 350 м (выше проводов подвешивался заземленный стальной трос для обеспечения грозоупорности линий передачи). Потом стали применять железобетонные опоры.

В 1955 г. в Италии была построена линия через Мессинский пролив. Ее протяженность между опорами составляет 3 650 м. Линия в Норвегии между скалистыми берегами фиорда имеет протяжен-



Рис. 58. Опоры высоковольтных линий

ность между опорами 4800м. Обычными являются пролеты от 50 до 100, 150, 350 м.

В настоящее время продолжается совершенствование конструкций опор линий передач (рис. 58).

Для напряжения 1150 кВ высота опор должна быть 45 м, чтобы высота провода от земли была 17-23 м, а расстояние между фазами 23 м (рис. 58). Оп-



тимальное сечение проводов равняется  $300 \text{ мм}^2$ , фаза состоит из 8 сталеалюминиевых проводов, расположенных по вершинам правильного многоугольника.

Еще в XIX в. М.О. Доливо-Добровольский говорил, что будущее передачи электроэнергии высокого напряжения за постоянным током.

Использование систем передачи постоянным током дает возможность повышать динамическую и статическую устойчивость объединенных энергетических систем. Ниже приводятся преимущества линий передачи постоянного тока:

- транспортировка электроэнергии осуществляется по двум проводам вместо трех (при трехфазном токе) – сокращается расход цветного металла на  $1/3$ ;
- опоры значительно легче, так как вес проводов уменьшается;
- исчезают потери на переманивание проводов, так как постоянный ток не меняет направления;
- передача мощности может регулироваться аппаратными средствами;
- генераторы могут работать в несинхронном режиме при соединении линиями передач энергетических систем.

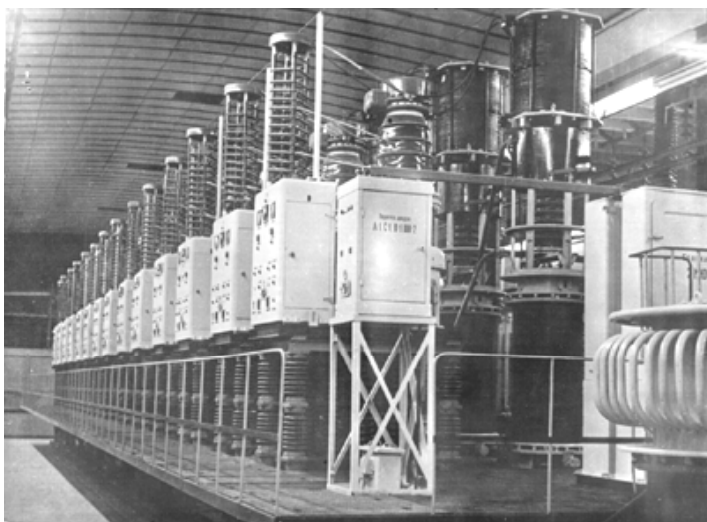


Рис. 59. Преобразовательная высоковольтная подстанция (800 кВт)

Недостатки линий передачи постоянного тока:

– наличие двух подстанций с преобразователями тока, (рис. 59), значительно увеличивает расходы на электропередачу;

– электропередача действует как транзитная, без отбора электроэнергии в пути.

Экономически выгодна ВЛ на постоянном токе от 1 500 кВ и выше, КПД линии на

постоянном токе  $\sim 85 \%$ .

ВЛ постоянного тока сверхвысокого напряжения, кроме передачи большого количества энергии на дальние расстояния, в оптимальном сочетании с ВЛ переменного тока играют большую роль в ЕЭС.

Для разрешения вопросов экономичной передачи энергии целесообразно обратиться к вопросу уменьшения сопротивления линий передачи.

Существенно снизить сопротивление проводников можно путем их глубокого охлаждения. Такие проводники получили название гиперпроводников.

В 1911 г. голландский физик Камерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости. Идея сверхпроводящих линий была принята с большим энтузиазмом. Но получить низкие температуры не очень-то просто. Жидкий гелий дает  $t^{\circ} = 4.2 \text{ К}$ , а жидкий водород –  $t^{\circ} = 20 \text{ К}$ .

Более четырех десятков лет сверхпроводящие проводники не могли применяться в практических конструкциях.

В середине 50-х годов XX в. были открыты сплавы ниобия с оловом, которые переходили в сверхпроводящее состояние при температуре двадцать кельвинов (20 К); керамические составы –  $T_{кр}=35$  и 78 К.

Исследования показали, что сверхпроводники успешно можно применять для передачи постоянного тока (при переменном – потери больше).

Важнейшим условием работы линий электропередач является их надежность. Разработана целая система защит ЛЭП.

От атмосферных разрядов применяются молниезащиты в виде стальных тросов, расположенных выше проводов, грозовые разрядники, дугогасящие катушки, ОПН – ограничители перенапряжений полупроводниковые и др.

Во избежание системных аварий, которые могут возникнуть при повреждении опор, проводов, изоляторов линий передач, применяется релейная защита – быстродействующие реле и приборы. Широко применяются АПВ (автоматические устройства повторного включения) и АВР (автоматические устройства включения резерва). Из 100 случаев аварийных отключений потребителей и обратных их включений через несколько секунд (с помощью автоматов) в 80 случаях восстанавливается нормальное электроснабжение без нарушения производственного процесса.

### **3.7.5. Теплоснабжение и теплофикация**

Многие промышленные предприятия требуют для своего технологического процесса большое количество тепловой энергии в виде пара или горячей воды, например, химические заводы, текстильные фабрики и т.п. Кроме того, большое количество тепловой энергии требуется в городах и на предприятиях для целей отопления.

До развития широкой сети электростанций теплоснабжение осуществлялось от котельных установок, сооружаемых при предприятиях и отдельных домах, а для этого требовалось высококалорийное топливо.

Экономически более целесообразно было перейти к комплексному централизованному теплоснабжению тепловой и электрической энергией от теплоэлектроцентралей – ТЭЦ.

Началом теплофикации в нашей стране считается 1924 г., когда была пущена первая теплофикационная установка на одной из ленинградских электростанций.

Так как передачу тепловой энергии на большие расстояния выполнить трудно из-за больших потерь тепла в трубопроводах, то ТЭЦ сооружаются обычно вблизи городов и крупных предприятий.

При комбинированной выработке тепловой и электрической энергии на ТЭЦ экономится большое количество топлива, а кроме того, КПД таких станций намного выше, чем конденсационных, в которых идет выработка только электроэнергии.

Удельный расход топлива – 338 г на 1 кВт·ч электроэнергии. Этот расход определяется мощностью агрегатов станции и параметрами пара (табл. 6).

Повышение параметров пара связано с освоением производства конструкционных материалов, их прочностных характеристик, надежности барабанов паровых котлов, проточных частей турбин, трубопроводов.

Кроме того, повышение параметров пара предъявляет особые требования к химической чистоте питательной воды, ее высокой деаэрации (т.е. удаление из нее кислорода).

Таблица 6

Расход топлива в зависимости от параметров пара и мощности агрегата

Мощность агрегата, тыс. кВт	Параметры пара		Уд. расход, г/кВт·ч
	Давление, атм	Температ., °С	
24 – 25	30 – 35	400 – 425	520
300	240	560	320

Теплофикация или централизованное снабжение теплом производств и жилых помещений получила развитие в СССР в 1924 г., первоначально в Ленинграде (ее проектировали инженеры Дмитриев и Гюнтер).

Обеспечение электроэнергией и теплом в современном мире является основой благосостояния и развития общества и любого государства. Стабильность существования и возможность работы любых отраслей деятельности населения определяются в первую очередь безопасностью и надежностью систем электротеплоэнергетики. И подтверждением этому служит периодически происходящие в различных регионах мира нарушения их работы, когда целые области или миллионные города остаются без электроэнергии, люди застревают на часы в метро, лифтах, замерзает отопление в домах, портятся тонны продуктов,дохнут животные и т.п.

Абсолютно ясно, что необходимо предельно снизить как экономические затраты на электротеплоэнергетику, так и ее вредное воздействие на природную среду и самого человека.

### 3.7.6. Энергетические пороги

Академик Глеб Максимилианович Кржижановский сформулировал понятие « энергетических порогов» – периодов, когда в результате качественного совершенствования энергетической базы происходит скачок в росте производительности труда, особенно в трудоемких процессах – физических и умственных.

В числе таких порогов: водяное колесо и ветряная мельница, паровая машина, промышленное применение электроэнергии, электро- и радиоэлектроника, компьютерная техника и др.

Такие энергетические пороги столь сильно влияют на развитие производительных сил, что определяют и характерные этапы материальной культуры человека в целом.

История знает несколько энергетических порогов.

1. Первый порог – создание водяного колеса, которое эффективно заменило мускульную силу человека и животных – относится к 3-му тыс. до н. э.

Затем применялись и другие источники энергии: ветер – парусные лодки, ветряные мельницы; плавка металлов с помощью энергии органического топлива и др.

2. Второй порог – первая половина XVIII в.ека – переход от ручного мануфактурного производства к машинному. Энергетической базой этого стала универсальная паровая машина и развитие механики и теплотехники. Паровая машина была принципиально новым энергетическим двигателем, превращающим химическую энергию органического топлива в тепловую энергию (создание водяного па-

ра), а после этого в механическую – это потребовало развития научной мысли в области механики и термодинамики.

3. Третий энергетический порог возник и был реализован на рубеже XIX-XX вв., когда потребовалась большая концентрация производства, которую уже не могла обеспечить маломощная паровая машина.

Развитие электроэнергетики послужило созданию новых первичных двигателей – паровых и гидравлических турбин. Их сочетание с электрическими генераторами, трансформаторами и линиями электропередач, приемниками электроэнергии – электродвигателями, осветительными устройствами, электропечами и т.п. создавало принципиально новую энергетическую базу и обеспечивало относительную независимость размещения источников производства электроэнергии от центров ее потребления.

4. Четвертым энергетическим этапом (порогом), во времени почти совпадающим с третьим, было создание принципиально нового двигателя – двигателя внутреннего сгорания. Это позволило создать транспортные машины – автомобили, локомотивы и др. Они работают благодаря прямому превращению химической энергии топлива в механическую энергию.

5. Во второй половине XX в. человечество переходит к новому энергетическому порогу. Для него характерно сочетание ряда направлений развития энергетики: использование качественно нового энергетического ресурса – ядерного горючего. Этот энергетический порог сочетается с массовым развитием электроники, изменяющей многие отрасли, требующие приложения умственного труда, созданием компьютеров, роботов, автоматизацией производств и т.п.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Когда возникли первые электростанции в мире, в России?
2. Какие существуют виды электростанций на невозобновляемых источниках энергии?
3. Какие существуют виды электростанций на возобновляемых источниках энергии?
4. Какие разрабатываются перспективные устройства для получения электрической энергии?
5. Как развивалась электрификация России до 1917 года? Где и какие крупные электростанции строились, кто руководил строительством?

6. Что представляет собой план ГОЭЛРО, его авторы?
7. Какие электростанции и линии электропередач были построены по плану ГОЭЛРО?
8. Какое место в мире занимала Россия по выработке электроэнергии в 1913 году, какое к 1941 году?
9. Какие потери в электроэнергетике России имели место во время Великой Отечественной войны?
10. Когда началась централизованная теплофикация на базе тепловых электростанций в России?
11. Какие Вы знаете энергетические пороги и чем они характеризуются?

#### 4. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Процесс производства электроэнергии и теплоты на электрических станциях сопровождается значительным взаимодействием с внешней средой.

Земля – уникальное небесное тело Солнечной системы. Ее поверхность и окружающая ее среда имеют несколько сфер:

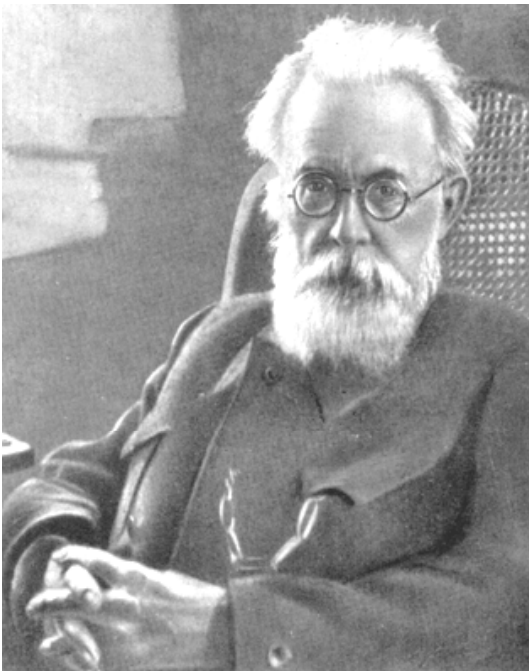


Рис. 60. В.И. Вернадский

литосфера – твердая поверхность;  
гидросфера – водная часть Земли;  
атмосфера – воздушная часть;  
биосфера – биологическая часть;  
ноосфера – разумная сфера, сфера разума (сфера взаимодействия Природы и человека, где разумная человеческая деятельность является основным решающим фактором).

Выдающийся русский ученый Владимир Иванович Вернадский (1863-1945) (рис. 60), разработал учение о биосфере, а позже и о ноосфере, согласно которому все живые организмы, включая человека, и среда их обитания органически связаны и взаимодействуют друг с другом, образуя целостную динамическую систему.

Биосфера на Земле возникла под влиянием солнечной энергии и длительных биохимических процессов. Человек, как элемент биосферы, появился сравнительно недавно, в один из поздних этапов ее эволюции. На Земле за всю историю человечества жило примерно 20 тысяч поколений людей.

До того, как возникло скотоводство и земледелие и произошел переход от собирательства к производству, человек жил в полной гармонии с Природой. Затем человек стал активно внедряться в природную сферу и переделывать природу все более и более интенсивно.

До XX в. активность человека носила более или менее локальный характер, а в XX в. она охватывает всю биосферу и носит уже глобальный характер.

Жак Ив Кусто писал:

«Раньше природа устрашала человека, а теперь человек устрашает природу».

В своих трудах последнего периода В.И. Вернадский указывал на необходимость перехода к ноосфере – сфере разума, когда хозяйственная деятельность человека будет точно соизмеряться с ее влиянием на все сферы Земли, а особенно на живое вещество.

*Природа – живой организм, где взаимообусловленность всех процессов саморегулируется. Как всякий организм она адаптируется, приспосабливаясь к изменяющимся условиям. Однако, общий прогресс в настоящее время достиг такого уровня, что промышленность и энергетика оказывают существенное влияние на биосферу, литосферу, гидросферу и атмосферу из-за соизмеримости мощностей процессов в созданных человеком системах и глобальных процессов в Природе.*

Посмотрим значение мощностей процессов, происходящих в природе и в искусственно созданных человеком установках:

*Излучение Солнца на Землю –  $10^{17}$  Вт;*

*Все реки и водопады на Земле –  $10^{15}$  Вт;*

*Все электростанции мира –  $10^{12}$  Вт;*

*Все авиалайнеры –  $10^{11}$  Вт;*

*Все автомобили –  $10^5$  Вт;*

*Взрыв атомной бомбы –  $10^{15}$  Вт.*

Напрашивается вывод – выбор и принятие решений человека должны зависеть, прежде всего, не от технических или технико-

экономических норм общества, а от социально-этических и нравственно-гуманистических норм общества и целей его развития.

Научно-технический прогресс в электроэнергетике развивается по линии использования все более калорийных видов топлива, преимущественно леса, торфа, угля, нефти, газа, позднее ядерного топлива.

То, что создавалось природой за миллионы лет эволюции – лесные массивы, биологически чистая вода, воздух, торф, нефть, уголь, газ – начинает частично деградировать, иссякать.

Приведем некоторые цифры касающиеся биосферы – области, занятой живыми существами и растительностью.

Биосфера имеет 2-е структурные части:

- континентальную –  $\approx 29\%$  всей поверхности Земли, и
- океаническую –  $\approx 71\%$  Земли.

Примерно 98 % гидросферы составляют моря и океаны, и только 2 % – пресная вода материка.

Адсорбируя солнечную энергию, растительный мир планеты за год образует  $\approx 180$  млрд т биомассы и  $\approx 300$  млрд т кислорода.

Биомасса служит основой питания животного мира, включая и человека, а также основой образования древесины, торфа, угля, нефти и газа.

Доля кислорода в атмосфере уменьшается от сжигания топлива на электростанциях и в котельных.

Самолет, пролетая тысячу километров, использует  $\approx 35$  т кислорода, а при взлете и посадке выбрасывает в атмосферу столько ядовитых веществ, сколько 6 000 автомобилей.

Автомобиль, пробегающий 1 000 км, расходует годовую норму потребления кислорода человеком.

Ежегодно на Земле сжигается более 10 млрд т кислорода.

Атмосфера выполняет функцию защитного покрова Земли, предохраняющего ее от чрезмерного остывания и чрезмерного нагревания.

Содержание углекислого газа  $\text{CO}_2$  в атмосфере не должно превышать 0,03 %, а у нас на Земле, особенно в крупных промышленных центрах, это число превышено более чем в 3-4 раза. Это происходит от сжигания органического топлива на электростанциях, в котельных, на металлургических и других заводах.



Увеличение объема  $\text{CO}_2$  идет еще и из-за сокращения площадей, занятых лесами, лугами; от загрязнения поверхностей морей и океанов нефтепродуктами. Сокращение растительного покрова Земли идет за счет увеличения площадей под пашни, под города и дороги, искусственные водоемы.

На поверхности Земли осаждаются отходы в виде золы, отвалов породы, вынутой из шахт, осаждаются сера и другие частицы. Запыленность воздуха в городах в десятки раз больше, чем в сельской местности.

В моря и океаны ежегодно попадает от 6 до 12 млн т нефти и нефтепродуктов из-за аварий танкеров, их очистки, от нефтяных морских скважин. А одна тонна нефти покрывает пленкой до 12 км<sup>2</sup> акватории. Уже сейчас нефтяной пленкой покрыто  $\approx 1/5$  часть поверхности морей и океанов.

Увеличение концентрации  $\text{CO}_2$  может привести к повышению на несколько градусов температуры низких слоев атмосферы (парниковый эффект), а это может привести к таянию ледников Гренландии и Антарктиды и затоплению части суши, на которой проживает 1/4 часть населения Земли.

В мире добывается  $\approx 4$  млрд т нефти и газа, более 2 млрд т угля, примерно 20 млрд т горной массы в виде руды ежегодно извлекается из Земли.

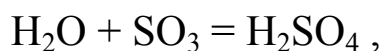
Природа Земли, продолжая обеспечивать человечество необходимыми ресурсами для развития производства энергии, развития промышленности, начинает изменяться, утрачивая свою способность быть средой обитания для человека.

Рассмотрим влияние производства электроэнергии на окружающую среду. Производство электроэнергии является энергоемким производством, и его доля влияния на окружающую среду (имеется в виду вредное влияние) довольно значительна.

#### **4.1. ТЭС – тепловые электростанции**

В топках котлов ТЭС сжигается органическое топливо. При этом потребляется кислород и выделяется углекислый газ –  $\text{CO}_2$ . Больше всего  $\text{CO}_2$  выбрасывают в атмосферу угольные станции, немного меньше ЭС, работающие на мазуте или природном газе. Атомные и гидростанции  $\text{CO}_2$  не выделяют.

ТЭС выбрасывают в атмосферу, кроме  $\text{CO}_2$ , сернистый ангидрид  $\text{SO}_3$ , который соединяясь с атмосферной влагой:



образует серную кислоту, выпадающую на Землю с дождем в ви-

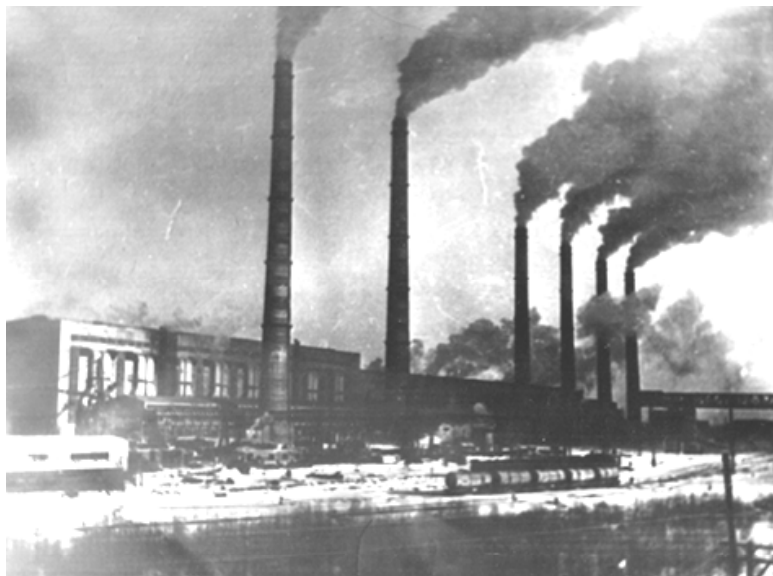


Рис. 61. Выбросы в атмосферу промышленного предприятия

де «кислотных дождей». Они губят растительность, закисляют почву, вызывают коррозию металлоконструкций, раздражают дыхательные пути человека (рис. 61).

При высоких температурах в топках котлов образуются оксиды азота –  $\text{NO}$ , которые также пагубно влияют на организм человека и животных.

При неполном сгорании топлива в атмосферу

попадают твердые частички, образуется угарный газ  $\text{CO}$ , при вдыхании которого человек может потерять сознание или даже умереть.

В небольших количествах выделяются еще другие вещества, вредно влияющие на человека. Кроме всех этих веществ на угольных электростанциях образуется довольно большое количество золы, которая занимает много места, засоряет атмосферу и содержит некоторый процент изотопов радия, создавая определенный радиационный фон вокруг золоотвалов.

В нашей стране разработаны значения предельно допустимых концентраций – ПДК для различных загрязнителей. Приведем некоторые из них (табл. 7).

Таблица 7

ПДК вредных выбросов в атмосферу

Вещество	Химическая формула	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Диоксид азота	$\text{NO}_2$	0,085
Диоксид серы	$\text{SO}_2$	0,5
Оксид углерода	$\text{CO}$	5
Углекислый газ	$\text{CO}_2$	0,03

Превышение загрязнителей выше ПДК опасно для здоровья. В качестве поучительного примера можно привести подлинное событие, происшедшее в Лондоне в 1952 году, когда из-за смога в течение 10 дней умерло 4000 человек (уровень концентрации  $\text{SO}_2$  в эти дни был в атмосфере  $\approx 4 \text{ мг/м}^3$ ).

Некоторые электростанции, например ТЭС и АЭС загрязняют водоемы различными токсичными веществами – аммиаком, плавиковой и щавелевой кислотами, мышьяком, ртутью и др. Это происходит при химической очистке воды для котлов и при очистке котлов и трубопроводов при их плановых ремонтах.

Эти токсичные вещества влияют на обитателей вод бассейнов, заливов, рек и откладываются в растениях и рыбах, которые человек может употреблять в пищу.

Опасно также «тепловое» загрязнение воды, охлаждающей нагревающиеся в процессе работы электростанций агрегаты и системы. Доля сбросной в водоемы теплоты может быть очень большой (до 2/3 затраченной теплоты сгорания топлива АЭС).

Если водоем небольшой, вода значительно нагревается и могут погибнуть обитатели этой водной среды, а вода делается токсичной.

Атомные электростанции не выбрасывают в атмосферу химических загрязнителей как ТЭС, однако у них тоже есть вредные выделения – радиоактивные нуклиды йода или инертных газов. Они имеют малый период полураспада, выдерживаются какое-то время в газгольдерах, а затем выбрасываются через трубу станции в атмосферу (активность их снижается перед выбросом в десятки раз).

Радиоактивные жидкие отходы АЭС выпариваются, а сухой остаток заливается бетоном или стеклом, помещается в металлический контейнер, а затем захоранивается в могильниках.

АЭС экологически более чисты, чем ТЭС, однако существуют проблемы повышенной опасности на АЭС и проблемы переработки и хранения отработавшего ядерного топлива, а также оборудования АЭС, отслужившего свой срок службы.

## 4.2. Гидроэлектростанции

Гидроэлектростанции – ГЭС не загрязняют атмосферу вредными выделениями, не загрязняют гидросферу и не повышают температуру атмосферы и водоемов, но и у них имеется вредное воздействие на окружающую среду.

При строительстве ГЭС надо предусмотреть запасы воды в верхнем бьефе реки, т.е. надо соорудить водохранилище. При этом, если местность вокруг ГЭС равнинная, приходится затапливать участки суши, куда нередко входят плодородные земли, поселки и даже небольшие города.

Повышение уровня воды в верхнем бьефе вызывает подъем грунтовых вод, заболачивание берегов, засоление почв, заиливание водоема.

Построение плотины ГЭС затрудняет проход для рыбы, которая обычно идет на нерест против течения реки. Рыбоподъемники не очень удачно решают эту проблему.

Увеличение зеркала воды в искусственных водохранилищах нередко влияет на климат местности.

Постройка плотин в высокогорной местности нередко нарушает геологическое равновесие и может привести к землетрясениям.

#### **4.3. Приливные электростанции, геотермальные, гелиостанции, ветряные и др.**

Эти электростанции, работающие на возобновляемых источниках энергии, как будто лишены многих недостатков ТЭС, АЭС, ГЭС, но нужно отметить, что в силу их недавнего и немногочисленного использования не выявились еще все положительные и отрицательные стороны их воздействия на окружающую среду и человека.

Что касается передачи электроэнергии по кабелям и проводам воздушных линий передач, то они также имеют определенные вредные воздействия на человека и окружающую среду.

На протяжении всей высоковольтной линии передачи вырубается лес и лесопосадки (ширина полосы 50-100 метров), землепользование на этой полосе исключено.

Электромагнитное излучение вблизи ЛЭП оказывает вредное воздействие на живые организмы, вызывает ионизацию воздуха и вызывает помехи в линиях связи.

Развитие энергетики – основного источника комфортного обитания человека и эффективности его жизнедеятельности - затрагивает не только науку, но и общество в целом. Быстрый рост населения Земли, интенсивное развитие всех отраслей энергетики, возрастающее воздействие на окружающую среду, конечность большинства первичных энергоресурсов – вот неполный комплекс проблем, кото-

рые нужно решать не только для отдельных стран и регионов, но и в мировом масштабе.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какое влияние оказывает производство электроэнергии и тепловой энергии на окружающую среду – Природу?
2. Какие можно выделить сферы, окружающие Землю? На какие из них оказывает влияние человеческая деятельность?
3. Какую роль играет ноосфера в деятельности человека?
4. Какие основные вопросы поднимал В.И.Вернадский в своем учении о биосфере и ноосфере?
5. Какое влияние на окружающую среду оказывает работа тепловых электростанций?
6. Какое влияние на окружающую среду оказывает работа атомных станций?
7. Какое влияние на окружающую среду оказывает сооружение и работа гидроэлектростанций?
8. Влияют ли на окружающую среду линии высоковольтных передач?
9. Как можно сочетать технический прогресс и охрану окружающей среды от вредных воздействий?

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Польза науки и техники будет всегда определяться нравственным уровнем людей. В результате рассмотренных нами вопросов создается впечатление, что развитие цивилизации, призванное служить во благо человеку, приводит к настолько сильным отрицательным последствиям, что грозит уничтожить само человечество.

Однако, именно высокий уровень культуры, науки и техники, сфера разума – ноосфера – должны и будут служить той основой, на которой создаются разумные гармонические взаимоотношения человека и Природы.

Человечество должно предвидеть как положительные, так и отрицательные аспекты своей технической деятельности и предусмотреть систему мер, направленных на сведение к минимуму неблагоприятных воздействий на окружающую среду.

Существование человека связано с удовлетворением биологических, эмоциональных и духовных потребностей, которое происходит не в процессе покорения природы, а в гармоническом с ней содружестве.

Человек зависит от окружающей среды и формируется под ее воздействием.

«Человек хрупок, слаб и беззащитен перед явно превосходящими его силами Природы; единственное оружие и защита человека – его мысль. Я не становлюсь богаче, сколько бы я не приобретал земель, богатств..., а вот с помощью мысли я охватываю всю Вселенную», – говорил Блез Паскаль.

Стараясь познать бесконечное, наука сама не имеет конца; будучи всемирной в действительности, она неизбежно приобретает народный характер.

Расширяя свои знания, молодое поколение поможет развитию своей страны больше, чем многими иными способами, уже перепробованными и не принесшими положительных результатов (войнами, революциями и т. п.), а от предстоящих завоеваний разума и науки выиграет и отдельный человек, и всё человечество в целом.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Безруких П.П. Экономика и перспективы использования возобновляемых источников энергии в России. // Электро. –2002. – №5.
2. Веников В.А., Путятин Е.В. Введение в специальность. Электроэнергетика. – М.: Высш. шк., 1988.
3. Володин В.В., Хазановский П.М. Энергия, век двадцать первый. – М.: Энергоатомиздат, 1996.
4. Ганзбург Л.Б., Джаншиев С.И., Харламова Т.Е. История техники: В 3ч. Ч. III: Энергетика. – СПб.: СЗПИ, 2000.
5. Гумилевский Л. Русские инженеры. – М.: Молодая гвардия, 1953.
6. Данилевский В.В. Русская техника. – Л.; 1948.
7. Дьяков А. Ф. Электроэнергетика России. История и перспективы развития. – М.: АО Информэнерго, 1997.
8. История электроэнергетики: В 2т. Т. II /Под ред. Л.Д. Белькинда и др. – М.: НТО: МЭН, 1959.
9. Катанович Б. Планета и цивилизация в опасности. – М.: Мысль. 1985.
10. Лабейш В.Г. История энергетики и среда обитания человека. – СПб.:СЗПИ, 1999.
11. Митенков Ф.М. Реакторы на быстрых нейтронах. // Наука и жизнь № 3, 2005, стр. 34-42,
12. Поликарпов В.С. История науки и техники. – Ростов на Дону.: Изд. «Феникс», 1999 г.
13. Ристхейм Э. М. Электроснабжение промышленных установок. – Таллин.: ТПИ, 1989.
14. Технический прогресс энергетики СССР / Под ред. П.С. Непорожного. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
15. Тиходеев Н.Н. Передача электроэнергии сегодня и завтра. – Л.: Энергия, 1975.
16. Шателен М.А. Русские энергетики второй половины XIX века.-Л.: Госэнергоиздат, 1955.
17. Экология и политика / Под ред. К. Я. Кондратьева. – СПб.: РАН, 1993.
18. Энергетика сегодня и завтра /Под ред. А.Ф. Дьякова.– М.: Энергоатомиздат, 1990.
19. Юдасин Л.С. Энергетика: проблемы и надежды. – М.: Энергоатомиздат, 1997.

## Приложение 1

### Понятия и термины, их авторы

1. "Электродвижущая сила" – А. Вольта.
2. "Электрический ток", направление тока – А. М. Ампер.
3. "Гальванический элемент" – А. Вольта.
4. "Электрическое сопротивление" – В.В. Петров.
5. "Электротехника" – Конгресс электриков, 1881 г.
6. "Энергия" – Т. Юнг, У. Томсон (лорд Кельвин), 1860 г.
7. "Мостик сопротивлений", или Мост Уитстона – Ч. Уитстон, (1802-1875).
8. Влияние электричества на живую ткань – Л. Гальвани, А.Т. Болотов (1738-1833).
9. "Электромагнитная индукция" – М. Фарадей.

### Ученые, определившие ряд количественных соотношений в электротехнике:

Ф. Кулон (1736-1806), О. Савар (1791-1841),  
 Г.С. Ом (1787-1854), Э.Х. Ленц (1804-1865),  
 Г.Р. Кирхгоф (1824-1887), Д. Джоуль (1818-1889)  
 Ж.Б. Био (1774-1862), М. Фарадей (1791-1867) и др.

## Приложение 2

### Отечественные ученые и специалисты, внесшие большой вклад в создание теории электромашин и других устройств в XX в.:

В.А. Толвинский (синхронные машины и машины постоянного тока);  
 Л.М. Пиотровский (синхронные машины, трансформаторы);  
 М.П. Костенко (синхронные машины, асинхронные машины);  
 Р.А. Лютер (синхронные машины, машины постоянного тока);  
 И.А. Сыромятников (синхронные и асинхронные машины);  
 А.А. Горев (синхронные машины);  
 Г.Н. Петров (трансформаторы);  
 А.Е. Алексеев (асинхронные двигатели, машины постоянного тока);  
 В.Т. Касьянов (машины постоянного тока);



О.Б. Брон (машины постоянного тока, высоковольтные и высокоамперные выключатели);  
 И.А. Глебов (генераторы с криогенным охлаждением);  
 С.С. Кутателадзе (термодинамика и теплообмен для тепловых и атомных электростанций);  
 П.Д. Войнаровский (электрические кабели)  
 и другие ученые.

### Приложение 3

#### Первые учебные заведения России, в которых преподавали электротехнику

**1840 г.** – создана учебная команда для "теоретического обучения гальванизму и способам его применения в военном употреблении" (инициатива Б.С. Якоби);

**1856 г.** – подготовка инженеров по электротехнике в Главном инженерном училище военного ведомства;

**1874 г.** – организован Линейный офицерский класс в Кронштадте;

**1881 г.** – создано телеграфное училище в Петербурге;

**1884 г.** – начата подготовка инженеров по электротехнике в Петербургском технологическом институте;

**1886 г.** – телеграфное училище реорганизуется в Электротехнический институт, впоследствии ЛЭТИ;

С **1893 г.** М. Шателен читает лекции по электротехнике в Электротехническом институте, Политехническом и Горном институтах;

**1902-1905 гг.** – В.Ф. Миткевич преподает в Электротехническом институте;

С **1915 г.** в МВТУ читает лекции К.А. Круг.

В **1930 г.** создается *заочный* технический институт в Ленинграде, позднее названный Северо-Западным заочным политехническим институтом – СЗПИ; в настоящее время он носит название Северо-Западный государственный заочный технический университет – СЗТУ.

## Приложение 4

### Хронология открытий и изобретений в области электричества и электроэнергетики

**VII-VI вв. до н.э.** Фалес Милетский наэлектризовал янтарь. Открыл существование статического электричества.

**1600 г.** У. Гильберт (Джильберт) (1540-1603) написал труд “О магните, магнитных телах и большом магните – Земле”.

**1663 г.** Отто фон Герике (1602-1686) изготовил электростатический (трибоэлектрический) генератор на основе шара из серы.

**1675 г.** И. Ньютон (1643-1727) описал электризацию тел.

**1705 г.** Ф. Хауксби создал электростатический генератор на основе стеклянного шара.

**1729 г.** С. Грей (1670-1736) обнаружил, что есть вещества, проводящие электричество, и вещества, не проводящие его.

**XVIII в. (начало)** Ш. Дюфе открыл электрическое взаимодействие заряженных тел.

**1745г.** Мушенбрук и фон Клейст создали первый электрический конденсатор – “лейденскую банку”.

**1747 г.** М.В. Ломоносов (1711-1765) высказал идею о возможности передачи электричества на большие расстояния и о практическом использовании электричества для металлизации поверхности тел.

**1752-1753 гг.** М. В. Ломоносов и Г.В. Рихман (1711-1753) исследовали «небесное» электричество.

**1752 г.** Б. Франклин (1706-1790) высказал идею создания молниеотвода (громоотвода).

**1759 г.** Ф. Эпинус (1724-1802) открыл и объяснил электрическую поляризацию, существование силовых магнитных линий, взаимодействие магнитных и электрических масс.

**1785 г.** Ш. Кулон (1736-1806) установил закон взаимодействия двух электрически заряженных тел.

**1790 г.** Л. Гальвани (1737-1798) опубликовал труд «Трактат о силах электричества при мышечном движении», открыл существование электрических токов внутри живых существ.

**1799 г.** А. Вольта (1745-1837) создал электрохимический источник электричества – гальванический элемент.

**1802-1803 гг.** В.В. Петров (1761-1834) открыл электрическую дугу, электроплавление и электросваривание металлов.

**1813 г.** Х.К. Эрстед (1777-1851) открыл влияние электричества на магнит (магнитную стрелку).

**1820 г.** А.М. Ампер (1775-1836) и Д.Ф. Араго (1786-1853) исследовали взаимодействие двух проводников с током и создали соленоид.

**1820 г.** Ж. Био (1774-1862) и Ф. Савар (1791-1841) обнаружили магнитное поле, созданное электрическим током. П.Лаплас (1749-1827) математически описал это явление.

**1821 г.** Д.Араго высказал идею вращающегося электромагнитного поля.

**1821 г.** Х. Деви обнаружил влияние на проводимость тел температуры и материала проводника.

**XIX в.** А.Т. Болотов (1738-1833) и Н.П. Кулибин создают емкостные электрические машины для лечения больных.

**1821 г.** Т.И. Зеебек (1770-1831) открыл термоэлектричество, создал термоэлектрический источник электричества.

**1827 г.** Г.С. Ом (1787-1854) установил связь между электрическим сопротивлением, напряжением и током – закон Ома.

**1829 г.** П.Л. Шиллинг (1786-1837) изобрел электромагнитный телеграф. Предложил гуттаперчевую изоляцию, затем создал подводную телеграфную линию с резиновой изоляцией.

**1831 г.** М. Фарадей (1791-1867) открыл электромагнитную индукцию – взаимодействие электрических и магнитных полей. Показал возможность «превращения магнетизма в электричество», построил прототип электрического генератора (медный диск вручную вращался между полюсами постоянного магнита, при этом возникала электродвижущая сила). Установил законы химического действия электрического тока, совершил ряд открытий в оптике.

**1831 г.** И. Пикси (1808-1835) изготовил электрический генератор постоянного тока с коммутатором.

**1831 г.** Д. Генри предложил электродвигатель с возвратно-поступательным движением.

**1832 г.** Братья Пикси сконструировали электрогенератор переменного тока с вращающимися постоянными магнитами.

**1832 г.** Э.Х. Ленц (1804-1865) сформулировал закон о направлении индуктированного тока, а также принцип обратимости электрических машин.

**1834 г.** Ж. Пельтье (1785-1845) установил явление, обратное термоэлектричеству, открытому Т.И. Зеебеком – эффект Пельтье.

**XIX в. (первая половина)** Э.Х. Ленц и Д. Джоуль (1818-1889) одновременно и независимо друг от друга вывели закон теплового действия электрического тока – закон Джоуля-Ленца.

**1834 г.** Б.С. Якоби (1801-1874) описал и построил электродвигатель с пульсирующим вращением вала. В 1838 году был испытан бот Якоби с электродвигателем (на Неве).

**1837 г.** Б.С. Якоби, используя идею М.В. Ломоносова, через 100 лет осуществил нанесение на поверхность тел металлической плёнки (гальванопластика).

**1842 г.** Д.С. Вулрич изготовил мощный электрогенератор, который вращала паровая машина.

**1842 г. Год рождения электроснабжения промышленных предприятий**

**1848 г.** Г. Румкорф изобрёл и создал индукционную катушку – прообраз электрического трансформатора.

**XIX в. (середина)** Г. Гаусс (1777-1855), В. Вебер (1804-1891), Б.С. Якоби (1801-1874), С. Морзе (1791-1872) занимались созданием и усовершенствованием электромагнитного телеграфа, изобретённого П.Л. Шиллингом.

**1855-1856 гг.** С. Хиортом и А. Иедликом были получены первые патенты на способы самовозбуждения электрогенератора.

**1859 г.** Г. Планте создаёт свинцовый аккумулятор.

**1860 г.** А. Пачинноти получил патент на генератор с якорем и кольцевой обмоткой.

**1867 г.** В. Сименс изготовил барабанный якорь и применил на практике принцип самовозбуждения генератора.

**1870 г.** З. Грамм получил патент на самовозбуждающий генератор с кольцевым якорем.

**1872 г.** А.Н. Лодыгин (1847-1923) создаёт лампочку накаливания; использует вместо угольных электродов в дуговой свече нить накаливания.

**1873-1875 гг.** П.Н. Яблочков создаёт безрегуляторную электрическую свечу с каолиновой прокладкой между вертикальными угольными электродами; изобретает однофазный трансформатор с разомкнутой обмоткой и индуктивный генератор.

**1873 г.** Д. К. Максвелл (1831-1879) создаёт математический фундамент теории электромагнитных взаимодействий (электромагнитной индукции).

**1873 г.** Ф. Гефнер-Альтенен и В. Сименс создали генератор с барабанным якорем, который имел все основные элементы современной электрической машины постоянного тока.

**1873 г.** З. Грамм – изобретатель и руководитель строительства первой электростанции (блок – станции).

**1874 г.** Н.А. Умов создаёт уравнение, описывающее движение энергии в телах.

**1874-1880 гг.** Д.А. Лачинов (1842-1902 гг.) разработал теоретические основы передачи электрической энергии на большие расстояния путем повышения напряжения. Ф.А. Пироцкий осуществил такую передачу.

**1876 г.** Построена первая в России электростанция (блок-станция) на Сормовском машиностроительном заводе.

**1879 г.** Построена первая блок-станция в Петербурге.

**70-е гг. XIX в.** А.И. Шпаковский (1823-1881) создаёт дуговую лампу с электромагнитным регулированием.

**1879 г.** Т. Эдисон (1847-1931) усовершенствовал лампу накаливания А.Н. Лодыгина (откачал из баллона воздух и наполнил его инертным газом).

**1879 г.** Ф. Борель разработал технологию изготовления кабелей со свинцовой оболочкой.

**1880 г.** К. Фор создаёт кислотно-свинцовый аккумулятор.

**1880 г.** А.Н. Лодыгин разрабатывает теорию аккумуляирования электричества.

**1880 г.** Т. Эдисон предложил для уменьшения потерь на вихревые токи изготавливать якорь электромашин наборным (из стальных изолированных друг от друга листов).

**80-90-е гг. XIX в.** В.Н. Чиколев (1845-1898) создал регулятор электрической дуги, применил систему дробления света с помощью световодов (для порохового завода), стал основоположником отечественной светотехники.

**1881 г.** Первый Международный конгресс электриков собрался в Париже.

**1882 г.** И. Ф. Усагин создал первый трансформатор с замкнутым сердечником.

**80-е гг. XIX в.** А.Г. Столетов (1838-1896) открыл доменную структуру и петлю гистерезиса у ферромагнитных материалов.

**1884 г.** Болард создал трансформатор напряжения.

**1884-1885 гг.** Была предложена компенсационная обмотка и дополнительные полюса для улучшения работы электрических машин.

**1885 г.** О. Блати, М. Дэри, К. Зиперовский создали кольцевой, броневой и стержневой трансформаторы и ввели термин “трансформатор”.

**80-е годы XIX в.** Братья Гопкинсоны разработали теорию электрических цепей.

**80-е годы XIX в.** Н.Н. Бенардос (1842-1905) применил электрическую дугу для сварки и резки металлов, используя идеи В.В. Петрова.

**80-е годы XIX в.** Н.Г. Славянов (1854-1897) создал электрические машины и аппараты для дуговой сварки. Использовал электрод как средство для создания дуги и как носитель металла.

**1885 г.** Г. Феррарис. (1847-1897) предложил использовать двухфазный ток, который даёт возможность получить “вращающееся магнитное поле”.

**1885 г.** Н. Тесла (1856-1943) создал систему двухфазного тока – генератор, трансформатор, двигатель.

**1888 г.** М.О. Доливо-Добровольский (1862-1919) создаёт систему трехфазного тока, которая была признана во всём мире.

**1891 г.** Передача трёхфазного тока на расстояние 170 км. Продемонстрирована М. О. Доливо-Добровольским во время второго Международного конгресса электриков.

**1891 г.** Э. Арнольд – создает первую теоретическую работу по проектированию электрических машин.

**1892 г.** М.О. Доливо-Добровольский ввёл понятие об активной и реактивной мощностях.

**1893 г.** М.О. Доливо-Добровольский – опубликовал работу по основам теории и проектированию трансформаторов и асинхронных машин.

**1893 г.** Г. Феррарис – выпустил работу по теории трансформаторов и однофазных двигателей.

**1893 г.** А. Шенснович проектирует и руководит строительством первой электростанции трехфазного тока (в Новороссийске).

**1894 г.** А. Гейланд предложил круговую диаграмму асинхронной машины.

**1895 г.** А.С. Попов (1859-1905) изобрел радио.

**1896 г.** В.Н. Чиколев и Р.Э. Классон (1868-1926) руководят строительством гидроэлектростанции на реке Охте в Петербурге.

**1897 г.** И. Штейнмец создал символический метод изображения векторов на комплексной плоскости.

**1899 г.** Паровая турбина впервые была соединена с турбогенератором (1 МВт). С этого времени началось внедрение электричества во все отрасли промышленности.

**Конец XIX века** О. Хевисайд создал операционные методы расчёта (в электротехнике).

**1902 г.** Р. Э. Классон (1868-1926) и А. Б. Красин создают первую энергетическую систему на базе двух электростанций.

**1906 г.** Изобретены подвесные керамические изоляторы для высоковольтных линий передач.

**1911 г.** Камерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости.

**XX в. (начало)** созданы синтетические высокомолекулярные изоляционные материалы (полиэтилен, полистирол, винипласт и другие).

**20-е годы XX в.** Фортескью создал метод симметричных составляющих (в электротехнике).

**30-е годы XX в.** Э. Арнольд, А. Блондель, Л. Дрейфус, К.А. Круг, В.С. Кулебакин, Бен-Эшенбург и др. создают классическую теорию установившихся режимов электрических машин.

**30-40-е годы XX в.** Т. Крон издал труд по общей теории всех индуктивных машин.

**1920 г.** По инициативе В.И. Ленина принят план ГОЭЛРО (Государственной электрификации России), составленный под руководством Г.М. Кржижановского (1872-1959).

**1922 г.** Пуск первой электростанции на торфе (в Петербурге).

**1924 г.** Начало развития теплофикации в России.

**1926 г.** Пуск мощной гидроэлектростанции – Волховской ГЭС; руководил строительством Г.О. Графтио (1869-1949).

**1943 г.** Д. Моучли и П. Эккорт построили электронно-вычислительную машину на основе электронных ламп.

**1951 г.** Построена первая электронно-вычислительная машина МЭСМ построена в России под руководством С.А. Лебедева.

**1954 г.** Построена первая в мире атомная электростанция в Советском Союзе под руководством И.В. Курчатова (1902-1960).

**XX в. (первая половина)** В.И. Вернадский (1863-1945) разработал учение о биосфере и о ноосфере.

**1962 г.** Создана энергосистема в европейской части Советского Союза – ЕЕЭС.

**1967 г.** Пущена Паужетская геотермальная электростанция.

**1972 г.** Образована Единая энергосистема Советского Союза и некоторых соседних стран – ЕЭС.

**1981 г.** Ленинградская АЭС достигла проектной мощности – 4 000 МВт.

**1981 г.** Создана глобальная компьютерная сеть “Интернет”.

**1985 г.** Саяно-Шушенская гидростанция достигла проектной мощности – 6400 МВт.

**1986 г.** Д. Беднорц, К. Мюллер – открыли высокотемпературную сверхпроводимость керамики.

**1992 г.** В России работают 600 тепловых, 100 гидравлических и 9 атомных электростанций.

**1994 г.** Созданы серно-натриевые аккумуляторы.

**2001 г.** Пущена Бурейская гидроэлектростанция.



**ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ**

- Аккумулятор – 48  
Атомная станция – 72
- Биосфера – 103  
Блок-станция – 62
- Водородная энергетика – 82  
Водяное колесо – 18
- Гальванопластика – 34,44  
Генератор  
– магнитогидродинамический – 79  
– статический – 33  
– термоэлектрический – 36  
– электрический – 50, 54, 55  
ГОЭЛРО (план) – 83
- Двигатель  
– водяной – 18  
– ветряной – 18, 70  
– внутреннего сгорания – 26  
– паровой – 19–23, 28  
– электрический – 29, 50, 51  
Дуга вольтова – 44
- Закон  
– взаимодействия заряженных частиц – 37  
– взаимодействия электрических и магнитных полей – 38  
– Джоуля-Ленца – 39  
– Кулона – 37  
– Ома – 37
- Индукция электромагнитная – 39, 40  
Источник электрического тока  
– гальванический – 36  
– термоэлектрический – 36  
– электромашинный – 50  
– электростатический – 33
- Кабель  
– воздушный – 96  
– электрический подземный – 59
- Лампа накаливания – 45  
«Лейденская банка» – 33, 41, 42  
Линия передачи

- высоковольтная – 92
  - проводниковая – 96
  - подземная – 59
- Магнетизм – 32, 35
- Материалы
- изоляционные (диэлектрические) – 59
  - магнитные – 51
  - проводниковые – 61
  - сверхпроводниковые – 61
  - полупроводниковые – 69
- Машины
- газовые – 66
  - паровые – 20, 21
  - электрические – 50, 51, 54
- Плавка электрическая – 45, 47
- Радиация – 74
- Реактор
- атомный – 75, 76
  - термоядерный – 78
- Телеграф (электромагнитный) – 40
- Теория
- горения топлив – 27
  - термических явлений – 28, 24
  - электромагнитных взаимодействий (Максвелла) – 40, 41
- Теплоснабжение – 99
- ТОКАМАК (тороидальная камера с магнитными катушками) – 78
- Трансформатор – 57
- Турбина
- водяная – 24
  - газовая – 28, 66
  - газопаровая – 28
  - паровая – 25, 66
- Экология – 29, 104, 105, 107, 108
- Электрическая дуга – 44, 47
- Электрическая свеча – 45
- Электричество
- природное – 41
  - статическое – 32, 33, 34
  - переменное – 54, 56, 57
  - постоянное – 54
- Электроизмерительные приборы – 34, 51
- Электронно-вычислительные машины – 95

- Электроосвещение – 45
- Электросварка – 44, 47
- Электростанция – 62
  - атомная – 72
  - ветровая – 70
  - гидравлическая – 67, 108
  - гелиостанция – 69
  - геотермальная – 69
  - газотурбинная – 66
  - гидроаккумулирующая – 71
  - приливная – 70
  - тепловая – 65, 106
- Электроэнергетика (России) – 83
- Электроснабжение – 93
- Энергетика водородная – 82
- Энергетические пороги – 100
- Энергия – 15
- Энергосистема – 91

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Введение .....	4
Ключевые слова и понятия .....	5
1. История. Наука. Техника. Энергетика .....	5
1.1. История .....	5
1.2. Наука .....	7
1.3. Техника .....	11
1.4. Технология.....	14
1.5. Инженер .....	14
1.6. Энергия, энергетика, электроэнергетика .....	15
1.7. Научно-технический прогресс .....	16
2. История энергетики .....	18
2.1. Общая энергетика .....	18
3. История открытия электричества.....	30
3.1. История открытий в электроэнергетике .....	31
3.2. Первые законы электротехники.....	37
3.3. Начальный период использования электричества .....	44
3.3.1. Гальванопластика, освещение и электротермия .....	44
3.3.2. Первые аккумуляторы электрической энергии .....	48
3.3.3. Электродвигатели, электрогенераторы, трансформаторы .....	50
3.4. Исследование и применение электротехнических материалов.....	59
3.5. Электрические станции .....	62
3.5.1. Виды электростанций .....	64
3.5.2. Возобновляемые источники энергии – ВИЭ .....	76
3.5.3. Перспективные источники электроэнергии.....	78
3.6. Развитие энергетики в России.....	83
3.7. Энергосистемы .....	88
3.7.1. Развитие энергосистем в СССР.....	91
3.7.2. Электроснабжение.....	92
3.7.3. Развитие электронно-вычислительной техники .....	94
3.7.4. Воздушные линии электропередач ( ВЛ ).....	96
3.7.5. Теплоснабжение и теплофикация .....	98
3.7.6. Энергетические пороги.....	100
4. Электроэнергетика и ее воздействие на окружающую среду	102
4.1. ТЭС – тепловые электростанции .....	105

4.2. Гидроэлектростанции .....	107
4.3. Приливные электростанции, геотермальные, гелиостанции, ветряные и др. ....	108
5. Заключение.....	110
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	111
Приложение 1 .....	112
Приложение 2.....	112
Приложение 3.....	113
Приложение 4.....	114
Предметный указатель .....	121

Харламова  
Таира Евгеньевна

История науки и техники  
Электроэнергетика

Учебное пособие

Редактор Никитина А.М.

Сводный темплан 2006  
Лицензия ЛР №020308 от 14.02.97  
Санитарно-эпидемиологическое заключение №78.01.07.953.П.005641.11.03  
от 21.11.2003

---

Подписано в печать	Формат 60x84 1/16		
Б. кн.-журн.	П.л. 5,3	Б.л.	Издательство СЗТУ
Тираж 150		Заказ	

---

Северо-Западный государственный заочный технический университет  
Издательство СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации  
университетов России

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д.5