

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



**ВВЕДЕНИЕ В НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ И  
ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КАРЬЕРЫ**

Методические указания к выполнению практических занятий  
для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и  
электротехника

Курск 2017

УДК 621.31(075.32)

Составители: А.Н. Горлов, О.В. Валишвили, И.В. Ворначева, А.О. Танцюра

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»  
*О.М. Ларин*

**Введение в направление подготовки и планирование профессиональной карьеры:** методические указания по выполнению практических занятий / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.Н. Горлов, О.В. Валишвили, И.В. Ворначева, А.О. Танцюра. – Курск, 2017. – 53 с.: ил. 13, табл. 5. – Библиогр.: с. 53.

Содержат сведения по выполнению практических занятий по дисциплине «Введение в направление подготовки и планирование профессиональной карьеры», приведены указания для знакомства с основами электроэнергетической отрасли.

Предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *3 03. 17*. Формат 60x84 1/16.  
Усл.печ.л. *3/1*. Уч.-изд.л. *28*. Тираж 100 экз. Заказ *308* Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Практическое занятие № 1 .....   | 4  |
| Практическое занятие №2 .....    | 7  |
| Практическое занятие № 3-4 ..... | 10 |
| Практическое занятие №5-6 .....  | 14 |
| Практическое занятие №7 .....    | 20 |
| Практическое занятие №8 .....    | 25 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....   | 29 |

## Практическое занятие № 1

### *Общая характеристика дисциплины Общие представления о преобразовании энергии*

Дисциплина «Введение в направление подготовки и планирование профессиональной карьеры» знакомит студентов с их будущей специальностью – энергетикой, ее на технический прогресс. От того, насколько заинтересуется студент будущей специальностью, в значительной степени зависит его последующая студенческая и даже инженерная биография. Эта единственная за все время обучения общеэнергетическая дисциплина дает представление о всех разделах энергетики и их взаимосвязях, энергетических системах и основных, происходящих в них процессах преобразования, передачи и потребления энергии, принципах работы и конструктивном выполнении энергетических установок, современном состоянии и перспективах развития энергетики.

Энергетика как сфера деятельности человеческого общества является большой глобальной системой, включающей как подсистемы окружающую среду и различные отрасли народного хозяйства.

Под энергетикой, или энергетической системой, следует понимать совокупность больших естественных (природных) и искусственных (созданных человеком) систем, предназначенных для получения, преобразования, распределения и использования в народном хозяйстве энергетических ресурсов всех видов. (Под энергетическими ресурсами понимаются материальные объекты, в которых сосредоточена энергия, возможная для использования ее человеком)

Электроэнергетика, ведущая область энергетики, обеспечивающая электрификацию народного хозяйства страны. В экономически развитых странах технические средства электроэнергетики объединяются в автоматизированные и централизованно управляемые электроэнергетические системы.

Энергетика является основой развития производственных сил в любом государстве. Энергетика обеспечивает бесперебойную работу промышленности,

сельского хозяйства, транспорта, коммунальных хозяйств. В настоящее время без электрической энергии наша жизнь немыслима. Электроэнергетика вторглась во все сферы деятельности человека: промышленность и сельское хозяйство, науку и космос. Без электроэнергии невозможно действие современных средств связи и развитие кибернетики, вычислительной и космической техники. Так же велико значение электроэнергии в сельском хозяйстве, транспортном комплексе и в быту. Представить без электроэнергии нашу жизнь невозможно. Столь широкое распространение объясняется ее специфическими свойствами:

- возможностью превращаться практически во все другие виды энергии (тепловую, механическую, звуковую, световую и другие) с наименьшими потерями;
- способностью относительно просто передаваться на значительные расстояния в больших количествах;
- огромным скоростям протекания электромагнитных процессов;
- способности к дроблению энергии и образованию ее параметров (изменение напряжения, частоты).
- невозможностью и, соответственно, ненужностью ее складирования или накопления.

Электроэнергия была и остается главной составляющей жизни человека. Главные вопросы – сколько энергии нужно человечеству? Какой будет энергетика XXI века? Чтобы дать ответы на эти вопросы необходимо знать основные способы получения электроэнергии, изучить проблемы и перспективы современного производства электроэнергии в России.

В зависимости от вида преобразуемой энергии электростанции могут быть разделены на следующие основные типы:

- Электростанции промышленной энергетики: ГЭС, ТЭС, АЭС
- Электростанции альтернативной энергетики: ПЭС, СЭС, ВЭС, ГеоТЭС

Рассмотрим физические основы преобразование электроэнергии на этих видах электростанций.

### **Заслушиваются выступления рефератов на тему:**

1. Гидроэлектростанции (ГЭС) и выработка энергии.
2. Основное энергетическое оборудование гидроэлектростанций.
3. Типы тепловых электрических станций и их особенности.
4. Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ). Назначение, структура, существующие проблемы.
5. Атомная электростанция (АЭС). Назначение, структура, существующие проблемы.

### **Вопросы для закрепления и обсуждения пройденного материала:**

1. Почему электроэнергетика считается авангардной отраслью народного хозяйства страны?
2. Перечислить основные типы электростанций?
3. Почему для работы на АЭС требуются высококвалифицированные специалисты?
4. Размещение, каких типов электростанций зависит от форм рельефа?
5. Что такое «энергосистема»?
6. Назвать основные факторы размещения всех типов электростанций?
7. Какое место в мире Россия занимает по количеству производимой электроэнергии?
8. Какой тип электростанций в России преобладает?
9. Чем отличается электроцентрали от станций?
10. Самые мощные ГЭС России, и на каких реках они находятся?
11. В каких районах нет атомных станций?
12. Перечислите потребителей электроэнергии?

### **Домашнее задание:**

1. По результатам рассмотренных электростанций составить таблицу достоинства и недостатки электростанций (ГЭС, ТЭС, АЭС).
2. Перечислить крупнейшие электростанции России.

## Практическое занятие №2

### *Энергетические ресурсы Земли и их использование*

Энергетические ресурсы (э.р.) - все доступные для промышленного и бытового использования источники разнообразных видов энергии: механической, тепловой, химической, электрической, ядерной.

Среди первичных энергоресурсов различают невозобновляемые (невоспроизводимые) и возобновляемые (воспроизводимые) Э.р. К числу невозобновляемых Э. р. относятся в первую очередь органические виды минерального топлива, добываемые из земных недр: нефть, природный газ, уголь, горючие сланцы, др. битуминозные г. п., торф. Они используются в современном мировом хозяйстве в качестве топливно-энергетического сырья особенно широко и, поэтому, нередко называют традиционными э.р. К возобновляемым (воспроизводимым и практически неисчерпаемым) Э.р. относятся гидроэнергия (гидравлическая энергия рек), а также т.н. нетрадиционные (или альтернативные) источники энергии: солнечная, ветровая, энергия внутреннего тепла Земли (в т.ч. геотермальная), тепловая энергия океанов, энергия приливов и отливов. Особо должна быть выделена ядерная или атомная энергия, относимая к невозобновляемым э.р., т.к. её источником являются радиоактивные (преим. урановые) руды. Однако со временем, с постепенной заменой атомных электростанций (АЭС), работающих на тепловых нейтронах, атомными электростанциями, использующими реакторы на быстрых нейтронах, а в будущем термоядерную энергию, ресурсы ядерной энергетики станут практически неисчерпаемыми.

Быстрое развитие мировой энергетики в XX в. опиралось на широкое использование минерального (ископаемого) топлива, особенно нефти, природного газа и угля, добыча которых до середины 70-х гг. была сравнительно недорогой и в техническом отношении доступной. Доля нефти и газа в мировом потреблении э. р. достигала 60% и доля угля - св. 25% (в 1950 доля угля составляла 50%).

Следовательно, св. 85% суммарного потребления э. р. в мире в тот период приходилось на невозобновляемые ресурсы органического топлива и лишь около 15% - на возобновляемые ресурсы (гидроэнергия, дровяное топливо и др.). С 70-х гг., когда сложность и стоимость добычи нефти и газа стали резко увеличиваться в связи с исчерпанием или значительным сокращением их запасов в легкодоступных месторождениях, появилась необходимость их жёсткой экономии и строго ограниченного использования в качестве топлива. Главной областью применения ресурсов нефти и газа как ценнейшего технологического сырья стала химическая и нефтехимическая промышленность, в т.ч. производство синтетических материалов и моторных топлив. Важным первичным энергоресурсом для электроэнергетики становится в конце 20 в. и в перспективе ядерная энергетика. В середине 80-х гг. на атомных электростанциях мира было выработано св. 12% всей электроэнергии, произведённой на планете, а в начале 21 в. её доля в мировом электробалансе увеличится ещё в 2-2,5 раза. Большая роль в производстве электроэнергии принадлежит гидроэнергетическим ресурсам, источником которых является постоянное течение рек; в середине 80-х гг. на долю гидроэлектростанций приходилось 23% всей электроэнергии, выработанной в мире. Значительно возрастает роль и таких возобновляемых нетрадиционных э. р., как солнечная энергия (энергия солнечной радиации, поступающей на поверхность Земли), энергия внутреннего тепла самой Земли (в первую очередь геотермальная энергия), тепловая энергия Мирового океана (обусловленная большими перепадами температуры между поверхностными и глубинными слоями воды), энергия морских и океанических приливов и энергия волн, ветровая энергия, энергия биомассы, основой которой является механизм фотосинтеза (биоотходы с.х. и животноводства, промышленные органические отходы, использование древесины и древесного угля). По имеющимся прогнозам, доля возобновляемых э. р. (гидроэнергетических и перечисленных нетрадиционных) достигнет в 1-й четверти 21 в. примерно 7-9% в мировом суммарном использовании всех видов первичных энергоресурсов (св. 20-23%



будет приходиться на атомную ядерную энергию и около 70% сохранится за органическим топливом - углём, газом и нефтью).

*Темы для обсуждения (75 мин):*

1. Мировые энергоресурсы и проблемы энергетического кризиса.
2. История развития электроэнергетики России.
3. «Татэнерго». Задачи, структура, этапы становления и развития.
4. План ГОЭЛРО.
5. Техничко-экономический ущерб от перерыва электроснабжения потребителя.

*Тест (15 мин).*

## Практическое занятие № 3-4

### *Современные способы получения электрической энергии Нетрадиционные способы получения электроэнергии*

По данным экспертов, в начале XXI в. добыча нефти и природного газа начнет сокращаться: их доля в топливно-энергетическом балансе снизится к 2020 г. с 66,6 % до 20 %.

Уже сейчас нефтяной кризис повлиял на быт людей: например, температура в государственных учреждениях Германии не должна превышать 18 °С, на лестницах домов свет зажигается на минуты, которые необходимы человеку для того, чтобы подняться на свой этаж.

Неуклонное увеличение численности населения нашей планеты, беспрецедентно быстрое развитие производства, нарастающее истощение запасов привычных источников энергии (угля хватит на 600 лет, нефти – на 90 лет, газа – на 50 лет, урана – на 27 – 80 лет), наконец, требования к сохранению окружающей среды заставляют людей искать новые источники энергии, располагающие возобновимыми или малоисчерпываемыми запасами. Человечество еще плохо использует возможности получения энергии из природных, практически неисчерпаемых источников: тепла земных недр и океана, энергии океанских и речных течений, приливов, волн, ветра.

Человечество потребляет огромное количество энергии. За год мы сжигаем от 9 до 20 млрд тонн топлива. 78 % всей потребляемой энергии предоставляют полезные ископаемые (34 % – нефть, 25 % – уголь, 19 % – природный газ); 5 % энергии – АЭС; 6 % – ГЭС; 11 % – другие источники энергии.

Обратим внимание на те 11 %, в которые входят возобновляемые источники энергии. Несмотря на их огромный потенциал, использование таких источников осложняется техническими проблемами.

Сейчас в РФ за счет нетрадиционных источников получают 1 % энергии, что, конечно, очень мало. Мы на своем занятии хотим обратить внимание на эту проблему.

Альтернативные источники энергии уже и сейчас имеются и успешно используются для блага людей. Человечество в течение тысячелетий довольно интенсивно пользовалось энергией ветра для мореплавания, помола зерна, подъема воды и многого другого. В XX в. использование ветра практически прекратилось в связи с появлением тепловых двигателей и электромоторов. Однако в связи с истощением доступных запасов нефти и загрязнением окружающей среды интерес к ветроэнергетике в последние годы возродился и, вероятнее всего, будет расти. Сегодня в Дании действует более 2000 ветроэнергоустановок, и она является основным экспортером этого вида генераторов. В Европе лидерами по использованию ветроэнергетики являются Испания и Германия.

Швеция к 2020 г. полностью планирует отказаться от органических источников топлива и перейти на энергию, получаемую от возобновляемых источников.

Еще в конце 1920-х гг. человечество начало использовать и гидротермальную энергию, т.е. энергию, источником которой служит разница температур воды, например морской воды из верхних и нижних горизонтов.

Благоприятны условия для использования гидротермальной энергии на Кубе. В одной из здешних бухт большие глубины со значительным перепадом температур воды подходят к самому берегу. Насосы накачивают воду с поверхности моря (она имеет температуру около 27 °С) в испаритель. В испарителе с частичным вакуумированием образуется пониженное давление, в результате чего вода превращается в пар при температуре около 30 °С. Полученный пар вращает лопасти турбин, соединенных с генераторами. Отработанный пар попадает в конденсатор, для охлаждения которого подают воду с глубины (ее температура 14 °С).

В США, Японии, Франции и некоторых других странах ведут активные работы по программе “Преобразование термальной энергии океана” (“ОТЕК”).

Первая опытная американская гидротермальная станция системы “ОТЕК” мощностью 50 кВт работала вблизи Гавайских островов в Тихом океане с 1979 по 1981 г.

В 1981 г. вошла в строй вторая опытная американская термоградиентная установка мощностью уже около 1000 кВт.

Бразилия активно использует сахарный тростник, и через 5 лет планируется 80 % транспорта перевести на этанол, который из этого тростника и добывается. Великобритания использует энергию ветра и волн, и к 2012 г. 10 % энергии страны будут получать из возобновляемых источников, ведь энергии ветра и волн гарантированно хватит на гораздо более долгий срок, чем органических источников энергии.

Наличие тех или иных возобновляемых источников энергии зависит от географических и природных факторов, которые различны в каждой стране. К примеру, энергия солнца и ветра больше представлена в Испании, чем в Австрии. В свою очередь, многочисленные реки и горы на территории Австрии больше подходят для строительства гидроэлектростанций.

Как видим, Европа, и не только она, доказала, что использовать альтернативные источники энергии не только необходимо, но и выгодно. Их нужно развивать, за ними будущее.

Заслушаем выступления о том, какие альтернативные источники энергии используют или предлагают к использованию в различных странах мира.

**Заслушиваются выступления рефератов на тему:**

1. Солнечная энергетика.
2. Ветроэнергетика.
3. Геотермальная энергетика.
4. Приливные электростанции.

### **Вопросы для закрепления и обсуждения пройденного материала:**

1. Как использовать энергию Солнца?
2. Как применить энергию ветра?
3. Как использовать энергию приливов?
4. Как использовать внутреннюю энергию Земли?
5. Каков потенциал нетрадиционных источников энергии в России?
6. Каковы причины медленного внедрения НВИЭ в России?
7. Укажите достоинства солнечной энергии как одного из видов возобновляющихся источников энергии.
8. Перечислите возможные варианты использования солнечной энергии.
9. Что означает понятие «солнечный дом»?
10. Где в России в настоящее время эксплуатируются ВЭУ, подключенные к энергосетям?

### **Домашнее задание:**

1. Написать эссе на тему: «Нетрадиционные источники энергии: за и против»»

## Практическое занятие №5-6

### *Потребление электрической энергии*

Бесперебойность (надежность) электроснабжения электроприемников (потребителей) электроэнергии в любой момент времени определяется режимами их работы. В отношении обеспечения надежности электроснабжения, характера и тяжести последствий от перерыва питания приемники электрической энергии, согласно ПУЭ разделяются на следующие категории:

Электроприемники первой категории – электроприемники, перерыв электроснабжение которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. Удельный вес нагрузок потребителей первой категории в большинстве отраслей промышленности невелик, за исключением химических и металлургических производств. На нефтехимических заводах нагрузка потребителей первой категории составляет 70 ÷ 80% от суммарной расчетной нагрузки. На металлургических заводах, имеющих в своем составе только коксохимические, доменные и конверторные цеха нагрузка первой категории равна 70 ÷ 80%.

Из состава электроприемников первой категории выделена так называемая особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего оборудования. К ним относятся электродвигатели задвижек, приводы компрессоров, вентиляторов, насосов подъемных машин на подземных рудниках.

Электроприемники: первой категории должны обеспечиваться питанием от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, перерыв их

электроснабжения при аварии на одном из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Электроприемники второй категории – это такие электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, к массовому простоям рабочих, механизмов, промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного числа городских и сельских жителей. Электроприемники второй категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых источников питания.

Для данной категории при нарушении электроснабжения одного источника питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригадой.

Электроприемниками третьей категории называются все остальные электроприемники, не подходящие под определение вышеизложенных. К ним можно отнести электроприемники во вспомогательных цехах, на неответственных складах. Для их электроснабжения достаточно одного из источников питания, при условии, что перерывы в электроснабжении достаточно одного из источников питания при условии, что перерывы в электроснабжении, необходимые для ремонта или замены поврежденного аппарата, не превышают суток.

Согласно ГОСТ 183-74 различают восемь номинальных режимов работы электроприемников:

- продолжительный;
- кратковременный;
- повторно-кратковременный;
- повторно-кратковременный с частичными пусками;
- повторно-кратковременный с частичными пусками и электрическим торможением;
- перемежающийся;
- перемежающийся с частыми реверсами;

- перемежающийся с двумя или более частотами вращения.

*Темы для обсуждения (60 мин):*

1. Разработка предложений по совершенствованию работы электроэнергетических систем.
2. Объединенные энергосистемы. Преимущество и недостатки.
3. Способы повышения надежности электроснабжения.
4. Современные схемы электростанций и подстанций.

*Задача (15 мин).*

Определить силу тока в соленоиде, индуктивность и сопротивление которого равны  $L = 0.6$  Гн,  $R = 4$  Ом, если к нему приложено

- a) постоянное напряжение  $U = 60$  В;
- b) переменное напряжение  $U = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ ,  $U_0 = 60$  В, частота  $\nu = 20$  Гц.

При каком  $U_0$  мощности, выделяемые в цепи постоянного и переменного тока, будут равны?

*Тест (15 мин).*

### ***Передача и использование электрической энергии.***

Потребители электроэнергии имеются повсюду. Производится же она в сравнительно немногих местах, близких к источникам топливо- и гидроресурсов. Электроэнергию не удастся консервировать в больших масштабах. Она должна быть потреблена сразу же после получения. Поэтому возникает необходимость в передаче электроэнергии на большие расстояния.

Передача электроэнергии связана с заметными потерями, так как электрический ток нагревает провода линий электропередачи. В соответствии с законом Джоуля — Ленца энергия, расходуемая на нагрев проводов линии, определяется формулой

$$Q = I^2 R t = \frac{P^2}{U^2} R t.$$



где  $R$  — сопротивление линии,  $U$  — передаваемое напряжение,  $P$  — мощность источника тока.

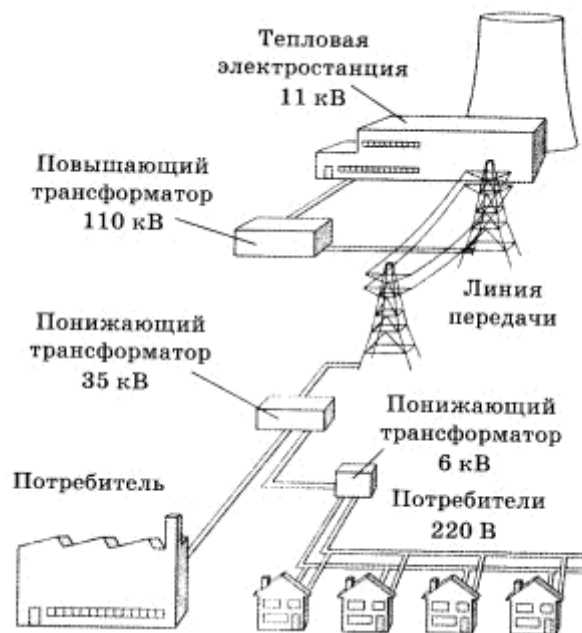
При очень большой длине линии передача энергии может стать экономически невыгодной. Значительно снизить сопротивление линии  $R$  практически весьма трудно. Поэтому приходится уменьшать силу тока  $I$ .

Так как мощность источника тока  $P$  равна произведению силы тока  $I$  на напряжение  $U$ , то для уменьшения передаваемой мощности нужно повысить передаваемое напряжение в линии передачи.

Поэтому на крупных электростанциях устанавливают повышающие трансформаторы. Трансформатор увеличивает напряжение в линии во столько же раз, во сколько раз уменьшает силу тока.

Чем длиннее линия передачи, тем выгоднее использовать более высокое напряжение. Так, в высоковольтной линии передачи Волжская ГЭС — Москва и некоторых других используют напряжение 500 кВ. Между тем генераторы переменного тока настраивают на напряжения, не превышающие 16—20 кВ. Более высокое напряжение потребовало бы принятия сложных специальных мер для и полиции обмоток и других частей генераторов.

Для непосредственного использования электроэнергии в двигателях электропривода станков, в осветительной сети и для других целей напряжение на концах линии нужно понизить.



Это достигается с помощью понижающих трансформаторов. Общая схема передачи энергии и ее распределения показана на рисунке

Обычно понижение напряжения и соответственно увеличение силы тока осуществляются в несколько этапов. На каждом этапе напряжение становится все меньше, а территория, охватываемая электрической сетью, — все шире.

При очень высоком напряжении между проводами может начаться разряд, приводящий к потерям энергии. Допустимая амплитуда переменного напряжения должна быть такой, чтобы при заданной площади поперечного сечения провода потери энергии вследствие разряда были незначительными .

Электрические станции ряда районов страны объединены высоковольтными линиями электропередачи, образуя общую электрическую сеть, к которой подключены потребители. Такое объединение, называемое энергосистемой, дает возможность сгладить пиковые нагрузки потребления энергии в утренние и вечерние часы. Энергосистема обеспечивает бесперебойность подачи энергии потребителям вне зависимости от места их расположения. Сейчас почти вся территория нашей страны обеспечивается электроэнергией объединенными

энергетическими системами. Действует Единая энергетическая система европейской части страны.

Рассмотрим основные части электроэнергетической системы, предназначенные для передачи и распределения энергии потребителям.

### **Заслушиваются выступления рефератов на тему:**

1. Трансформаторное оборудование. Современное состояние и тенденции развития.
2. Конструкции линий электропередач.
3. Коммутационные и защитные аппараты высокого напряжения.
4. Кабельные линии среднего и высокого напряжения.

### **Вопросы для закрепления и обсуждения пройденного материала:**

1. Как осуществляется передача электроэнергии на большие расстояния?
2. В чем преимущества передачи энергии на большие расстояния при использовании постоянного тока?
3. Назовите преимущества электроэнергии перед другими видами энергии?
4. Почему, чем длиннее линия передачи, тем выгоднее использовать более высокое напряжение?

### **Домашнее задание:**

1. Обмотки понижающего трансформатора сделаны из провода разного сечения. Какая из обмоток содержит большее число витков?
2. Как определить число витков обмотки трансформатора, не разматывая катушку?
3. Что может произойти, если случайно подключить трансформатор к источнику постоянного тока?

## Практическое занятие №7

### *Передача энергии на расстояние*

Передача электроэнергии от электростанции к потребителям – одна из важнейших задач энергетики. Электроэнергия передаётся преимущественно по воздушным линиям электропередачи (ЛЭП) переменного тока, хотя наблюдается тенденция ко всё более широкому применению кабельных линий и линий постоянного тока. Необходимость Передача электроэнергии на расстояние обусловлена тем, что электроэнергия вырабатывается крупными электростанциями с мощными агрегатами, а потребляется сравнительно маломощными электроприёмниками, распределёнными на значительной территории. Тенденция к концентрации мощностей объясняется тем, что с их ростом снижаются относительные затраты на сооружение электростанций и уменьшается стоимость вырабатываемой электроэнергии. Размещение мощных электростанций производится с учётом целого ряда факторов, таких, например, как наличие энергоресурсов, их вид, запасы и возможности транспортировки, природные условия, возможность работы в составе единой энергосистемы и т.п. Часто такие электростанции оказываются существенно удалёнными от основных центров потребления электроэнергии. От эффективности Передача электроэнергии на расстояние зависит работа единых электроэнергетических систем, охватывающих обширные территории.

Одной из основных характеристик электропередачи является её пропускная способность, то есть та наибольшая мощность, которую можно передать по ЛЭП с учётом ограничивающих факторов: предельной мощности по условиям устойчивости, потерь на корону, нагрева проводников и т.д. Мощность, передаваемая по ЛЭП переменного тока, связана с её протяжённостью и напряжениями зависимостью

$$P = \frac{U_1 \cdot U_2}{Z_c \cdot \sin(\alpha \cdot l)} \cdot \sin \delta$$

где  $U_1$  и  $U_2$  – напряжения в начале и в конце ЛЭП,  $Z_c$  – волновое сопротивление ЛЭП,  $\alpha$  – коэффициент изменения фазы, характеризующий поворот вектора напряжения вдоль линии на единицу её длины (обусловленный волновым характером распространения электромагнитного поля),  $l$  – протяжённость ЛЭП,  $\delta$  – угол между векторами напряжения в начале и в конце линии, характеризующий режим электропередачи и её устойчивость. Предельная передаваемая мощность достигается при  $\delta=90^\circ$ , когда  $\sin\delta=1$ . Для воздушных ЛЭП переменного тока можно приближённо считать, что максимальная передаваемая мощность примерно пропорциональна квадрату напряжения, а стоимость сооружения ЛЭП пропорциональна напряжению. Поэтому в развитии электропередач наблюдается тенденция к увеличению напряжения как к главному средству повышения пропускной способности ЛЭП. Предельные значения напряжения ЛЭП, связанные с возможными перенапряжениями, ограничиваются изоляцией ЛЭП и электрической прочностью воздуха). Повышение пропускной способности ЛЭП переменного тока возможно и путём усовершенствования конструкции линии, а также посредством включения различных компенсирующих устройств. Так, например, на ЛЭП напряжением 330 кВ и выше используется «расщепление» проводов в каждой фазе на несколько электрически связанных между собой проводников; при этом индуктивное сопротивление линии уменьшается, а ёмкостная проводимость увеличивается, что ведёт к снижению  $Z_c$  и уменьшению  $\alpha$ . Одним из способов повышения пропускной способности ЛЭП является сооружение «разомкнутых» линий, у которых на опорах подвешиваются провода двух цепей таким образом, что провода разных фаз оказываются сближенными между собой.

В электропередачах постоянного тока отсутствуют многие факторы, свойственные электропередачам переменного тока и ограничивающие их пропускную способность. Предельная мощность, передаваемая по ЛЭП постоянного тока, имеет большие значения, чем у аналогичных ЛЭП переменного тока:

$$P_{\text{ПП}} \frac{E_B^2}{2 \cdot R_{\Sigma}}$$

где  $E_B$  – напряжение на выходе выпрямителя,  $R_{\Sigma}$  – суммарное активное сопротивление электропередачи, в которое, кроме сопротивления проводов ЛЭП, входят сопротивления выпрямителя и инвертора. Ограниченность применения электропередач постоянного тока связана главным образом с техническими трудностями создания эффективных недорогих устройств для преобразования переменного тока в постоянный (в начале линии) и постоянного тока в переменный (в конце линии). Электропередачи постоянного тока перспективны для объединения крупных удалённых друг от друга энергосистем. В этом случае отпадает необходимость в обеспечении устойчивости работы этих систем.

Качество электроэнергии определяется надёжной и устойчивой работой электропередачи, что обеспечивается, в частности, применением компенсирующих устройств и систем автоматического регулирования и управления.

Первая в мире электропередача, рассчитанная на длительную эксплуатацию, была построена в Петербурге в 1876 П. Н. Яблочковым для электрического освещения улиц. Д. А. Лачинов и М. [Депре](#) в 1880 теоретически обосновали возможность повышения напряжения для увеличения мощности и дальности передачи. Однако широкое использование электрической энергии в промышленности, теснейшим образом связанное с Передача электроэнергии на расстояние, началось лишь после изобретения М.О. [Доливо-Добровольским](#) экономичного и относительно простого способа передачи электрической энергии трёхфазным переменным током. Со времени создания первых электропередач трёхфазного тока их напряжение возрастало в 1,5–2 раза примерно каждые 10–15 лет. Повышение напряжения давало возможность увеличивать расстояния и передаваемые мощности. В 20-х гг. 20 в. электроэнергия передавалась максимально на расстояния порядка 100 км, к 30-м гг. протяжённость ЛЭП увеличилась до 400 км, а к 70-м гг. длина ЛЭП достигла 1000–1200 км. Наряду с

развитием электропередач переменного тока совершенствовалась техника Передача электроэнергии постоянным током. В 1950 в СССР впервые в мире была введена в действие опытная кабельная линия постоянного тока Каширская ГРЭС – Москва напряжением 200 кВ с пропускной способностью 30 Мвт. Накопленный опыт позволил в 1962–65 ввести в эксплуатацию межсистемную электропередачу постоянного тока (с воздушной ЛЭП напряжением 800 кВ) Волгоград – Донбасс пропускной способностью 750 Мвт. К 1974 в разных странах работало уже более 20 электропередач постоянного тока. В СССР в 1975–85 намечается строительство ЛЭП постоянного тока напряжением  $\pm 750$  кВ протяжённостью 2500–3000 км и в дальнейшем – электропередачи  $\pm 1200$  кВ.

С 60-х гг. большое внимание уделяется разработке качественно новых электропередач. Таковы, например, «закрытые» электропередачи, выполняемые в виде замкнутых конструкций, заполненных электроизолирующим газом (например, SF<sub>6</sub>), внутри которых располагаются провода высокого напряжения. Перспективны также криогенные (в дальнейшем, возможно, сверхпроводящие) ЛЭП. «Закрытые» и криогенные электропередачи особенно удобны для энергоснабжения потребителей в густонаселённых районах, например на территориях крупных городов. Кроме того, изучается возможность передачи энергии электромагнитными волнами высокой частоты по волноводам.

В энергоснабжении потребителей альтернативой Передача электроэнергии на расстояние является перевозка топлива. Сравнительный анализ показывает, что не всегда Передача электроэнергии – наилучший способ энергоснабжения: например, при высокой калорийности угля (более 17–19 Мдж/кг) более целесообразно перевозить его по железной дороге (при условии, что железная дорога уже построена); в ряде случаев оказывается предпочтительнее соорудить трубопроводы для подачи природного газа или нефти. Анализ энергосистем ряда стран позволяет выделить две основные тенденции их развития: приближение электростанций к центрам потребления в тех случаях, когда на территории,

охватываемой объединённой энергосистемой, нет дешёвых источников энергии или когда ресурсы этих источников уже исчерпаны; сооружение электростанций вблизи дешёвых источников энергии и Передача электроэнергии на расстояние, к центрам её потребления. Системы электро-, нефте- и газоснабжения должны сооружаться и эксплуатироваться в определённой координации между собой и образовывать единую энергетическую систему страны.

*Темы для обсуждения (60 мин):*

1. Конструкции линий электропередач
2. Кабельные линии среднего и высокого напряжения
3. Конструкции линий электропередач
4. Способы уменьшения потерь при передаче электроэнергии

*Задача (15 мин).*

Требуется передать электрическую энергию на расстояние 2000 км по медным проводам, причем потеря энергии в проводах не должна превышать 3%.

Передаваемая мощность  $P = 2$  МВт при напряжении 1000 кВ. Определить сечение проводов, если удельное сопротивление меди  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м.

*Тест (15 мин).*



## Практическое занятие №8

### *Влияние техники и энергетики на биосферу*

Антропогенное загрязнение атмосферы в последние десятилетия приобрело глобальный характер. Источниками загрязнения атмосферы служат теплоэнергетика, промышленность, нефте- и газопереработка, транспорт, сельское хозяйство.

Каждый из этих источников, каждая отрасль производства связаны с выбросами тех или иных веществ.

Современная энергетика — крупная высокоразвитая отрасль промышленности, тесно связанная со всеми отраслями экономики. На рис. 1 приведены основные направления использования первичной энергии в ряде стран мира.

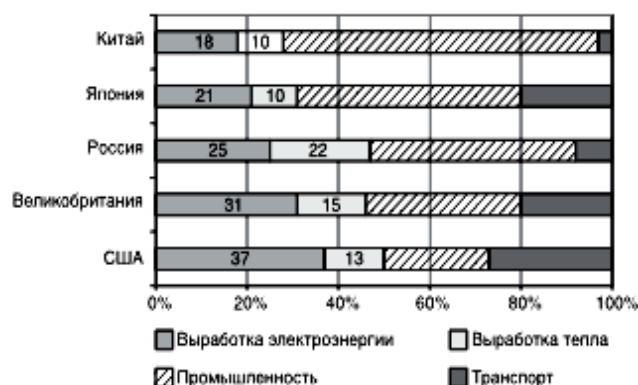


Рис. 1. Использование первичной энергии в различных странах, %.

Предприятия, вырабатывающие энергию, различные потребители энергии, а также предприятия, добывающие и перерабатывающие природные ресурсы для энергетики, объединены в ТЭК, одним из результатов функционирования которого является отрицательное воздействие на биосферу. Воздействие энергетики на биосферу проявляется на всех стадиях производства энергии: при

извлечении и транспортировке ресурсов, при производстве, передаче и потреблении энергии.

Например, извлечение угля связано с изменением ландшафта, с образованием шахт, карьеров, отвалов; транспорт угля — с потерями, рассеиванием твердых частиц в почву и в атмосферу. При сжигании органического топлива образуются оксиды углерода, серы, азота, соединения свинца, сажа, углеводороды, в том числе канцерогенные (например, бенз(а)пирен  $C_{20}H_{12}$ ), и другие вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии. Передача электроэнергии приводит к образованию мощных электромагнитных полей вблизи линий электропередачи. Работа энергетических установок неизбежно связана с выбросами тепловой энергии.

Кроме того, из пользования изымаются большие площади земель, особенно при сооружении гидроэлектростанций.

Воздействие тепловых электростанций ТЭС на окружающую среду зависит от используемого топлива. При сжигании твердых видов топлива в атмосферу поступают летучая зола, частицы несгоревшего топлива, сернистый и серный ангидриды, окислы азота, фтористые соединения. В золе содержатся разные токсичные соединения — мышьяк, двуокись кремния, оксид кальция и другие. Использование жидких видов топлива (мазатов) исключает из отходов производства только лишь золу. При этом отпадает проблема золоотвалов, которые занимают значительные территории и являются источником постоянных загрязнений атмосферы в районе станции. При сжигании природного газа существенным загрязнителем являются окислы азота, но в среднем они на 20% ниже, чем при сжигании твердых видов топлива. Это объясняется не только свойствами самого топлива, но и особенностями его сжигания. Таким образом, экологический ущерб от вредных воздействий ТЭС на окружающую среду в случае использования газа будет минимальным в сравнении с другими видами топлива.

Сопоставление усредненных показателей по загрязнению атмосферы продуктами сгорания ТЭС при работе на различных видах топлива представлено на рис. 2.

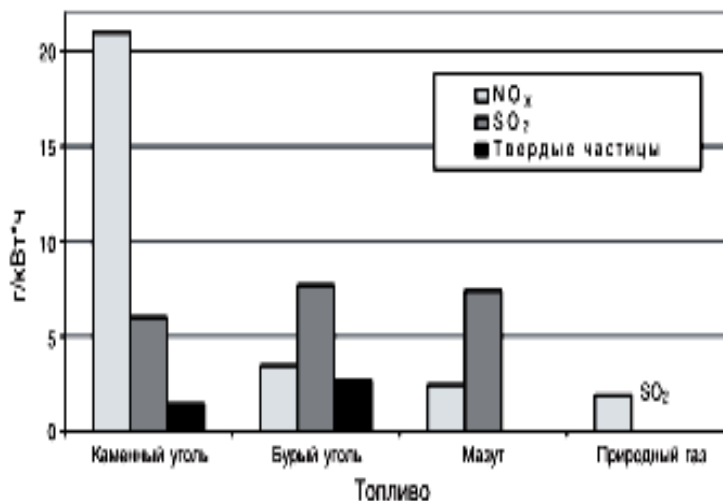


Рис. 2. Усредненные показатели загрязнения атмосферы тепловыми электростанциями (без учета выбросов парниковых газов), г/(кВт·ч)

Электроэнергетика лидирует по суммарным выбросам загрязняющих веществ в атмосферу. Ее доля в суммарных выбросах загрязняющих веществ промышленности от стационарных источников достигла в 2003 г. 21,7%. В 2005 г. выбросы загрязнителей составили 5,37 млн. т, что ниже уровня 1990 г. на 2,3 млн. т. В 1999 г. выбросы загрязнителей составили 3,9 млн. т, что ниже уровня 1998 г. на 56 тыс. т. Сохранение устойчивой тенденции сокращения выбросов обусловлено увеличением до 64% доли природного газа в структуре топливно-энергетического баланса (ТЭБ). Кроме того, повышается экологическая культура эксплуатации тепловых станций, осуществляется внедрение на ТЭС технологий, направленных на повышение эффективности действующих золоулавливающих установок. В целях обеспечения нормативной базы по снижению воздействия на атмосферу от энергетических установок разработан и введен в действие ГОСТ Р 50831–95 «Установки котельных. Техническое оборудование. Общие требования», в котором установлены нормативы удельных

выбросов для вновь вводимых котельных установок, соответствующие мировым стандартам.

*Темы для обсуждения (75 мин):*

1. Способы и средства обеспечения электробезопасности.
2. Очистка окружающей среды от выбросов энергопредприятий.
3. Энергетика и окружающая среда.
4. Технические и организационные мероприятия при производстве электромонтажных работ.
5. Нормативно-техническое обеспечение электромонтажных работ.

*Тест (15 мин).*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лыкин А. В. Электрические системы и сети [Текст] : учебное пособие / А. В. Лыкин. – М. : Логос, 2007. – 254 с.
2. Балаков Ю.Н., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Проектирование схем электроустановок: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 288 с., ил.
3. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях / Под ред. В.А. Строева – М.: Высшая школа, 1999.
4. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях. Учебное пособие для вузов / Под ред. В.А. Строева – М.: Знак, 1996.