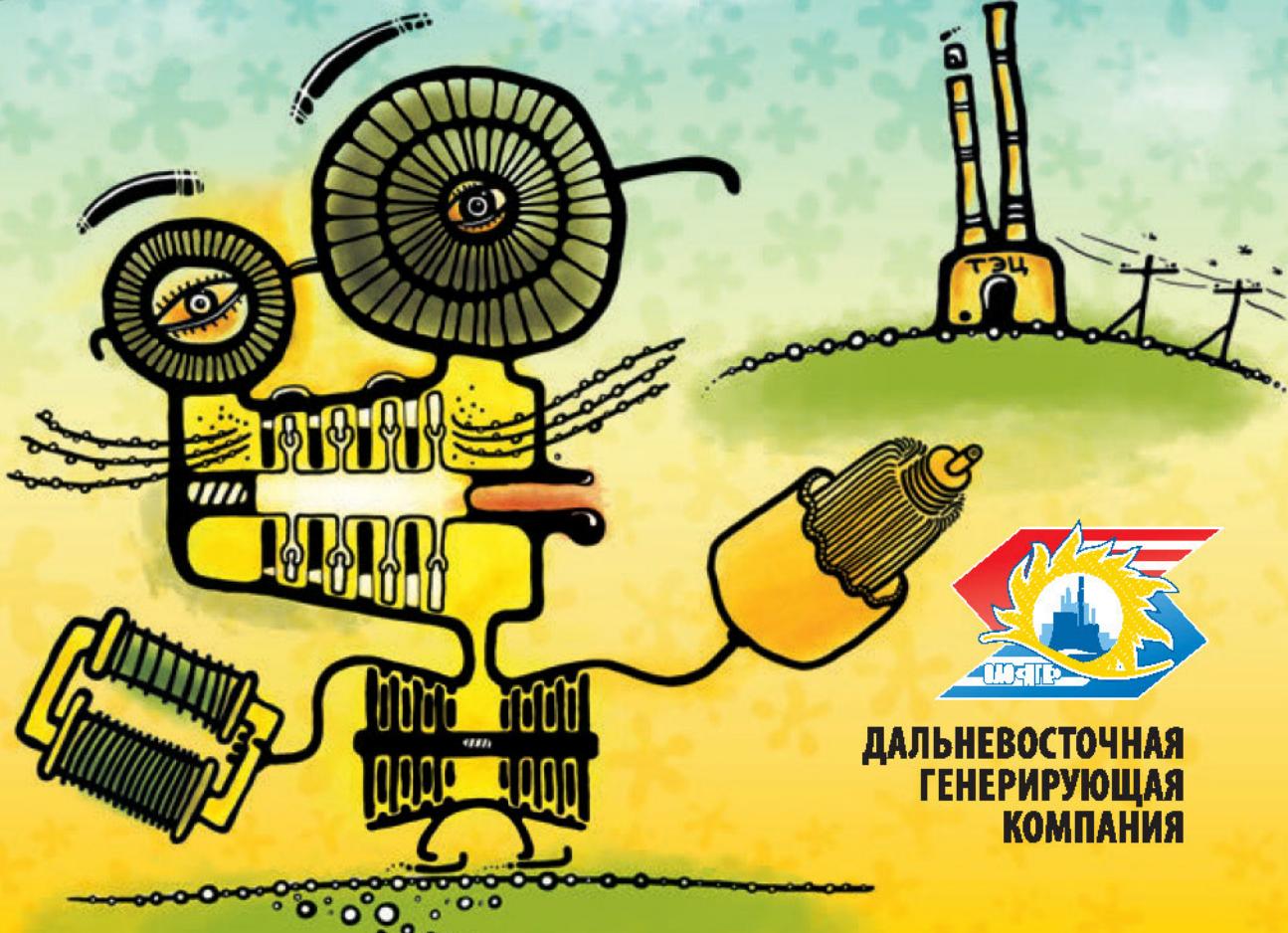


Занимательная Энергетика,

или

Путешествие
по Хабаровской
ТЭЦ-3



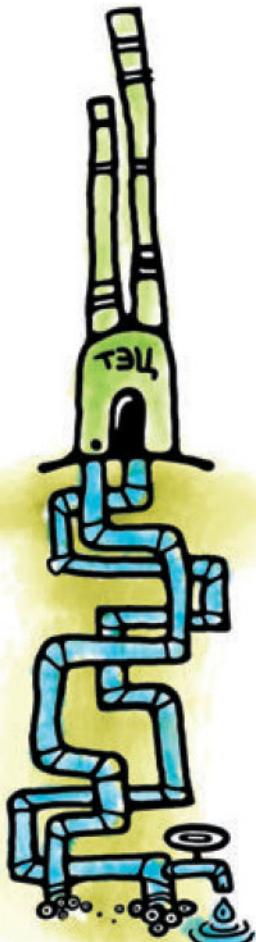
Дальневосточная
Генерирующая
Компания

Дорогие друзья!

Сегодня ни у кого не вызывает сомнения, что электрическая энергия является основой современной цивилизации. Освоив способы производства, передачи и применения электричества, человечество за какие-нибудь 150 лет совершило громадный скачок в своем развитии. Без электрической энергии немыслимы сегодня быт и промышленность, транспорт и средства связи, компьютеры и объединяющая их сеть интернет, космическая техника и игровые приставки.

Вы уже наверняка знаете, что электроэнергию вырабатывают электростанции. Возьмем, к примеру, одну из самых современных электростанций Дальнего Востока — Хабаровскую ТЭЦ-3. Здесь, на территории площадью около 3 км², трудятся более 750 человек. В течение отопительного сезона станция каждый час сжигает 240 тонн угля, а электрической и тепловой энергии вырабатывает столько, сколько может потребоваться для освещения и обогрева большей части города Хабаровска и нескольких близлежащих населенных пунктов.

Но что именно там происходит? Как появляется электроэнергия, которой мы затем пользуемся? Если вы хотите разобраться в этом вопросе как следует, давайте совершим небольшое путешествие туда, где электричество рождается, — на самую настоящую электростанцию — Хабаровскую ТЭЦ-3.



Часть I. ТЕОРИЯ

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭНЕРГИИ

Прежде чем мы окажемся в царстве электроэнергии, не плохо было бы узнать, что нас там ожидает, чтобы лучше и быстрее понять все то, что мы там увидим.

Вы уже наверняка знаете из школьных уроков физики, что существует много разных видов энергии, которые могут превращаться друг в друга. Более того, все без исключения процессы, любая цепочка событий, происходящих во Вселенной, основаны на энергетических трансформациях. Представьте, например, как энергия солнечного излучения, попадая на поверхность только что пробившейся из-под земли травинки, благодаря фотосинтезу превращается в химическую энергию. Эта энергия позволяет клеткам растения получать питание, развиваться, делиться, увеличивая количество материи, из которой травинка состоит. Затем представьте, как будет рада какая-нибудь уставшая от дневной работы проголодавшаяся лошадка, оказавшись на лугу наедине со свежей и сочной травой. Воздействуя на



траву с помощью механической энергии (пережевывание), савраска получает химическую энергию, позволяющую развиваться клеткам своего организма, превращая таким образом химические процессы в биологические. Теперь, как следует подкрепившись, лошадь снова способна про-

изводить активные действия. То есть мышцы ее тела преобразуют химическую энергию в механическую, благодаря чему лошадка может пройти еще несколько километров в поисках такого же богатого пастбища, перенести тяжелый груз или протащить за собой металлический плуг, вспахивающий землю.

Использование электроэнергии основано на превращении ее в другие нужные нам виды энергии. Попадая в электродвигатель, электричество заставляет крутиться его ротор, а тот передает механическое вращение, например, сверлу дрели или вентилятору пылесоса. Поток электронов, проходящий через самую обычную лампу накаливания, нагревает ее спираль до такой температуры, что маленькая



вольфрамовая перемычка начинает излучать свет, а вы получаете возможность делать уроки даже в темные зимние вечера. Хотя, конечно, вы можете потратить вечер на просмотр интересного фильма. Нагревательный элемент утюга работает за счет преобразования электрической энергии в тепловую. В итоге, в школу вы приходите в аккуратно выглаженной одежде, если, конечно, не проспали и на это хватило времени.

А вот на электростанции все происходит с точностью до наоборот. Собственно, электростанция — это и есть место, где энергетическими превращениями управляют таким образом, чтобы из других видов энергии в итоге получить электрическую. Однако для того, чтобы понять, как это делается, нам вряд ли будет достаточно примера с лошадью. Поэтому давайте перейдем ближе к делу и узнаем кое-что о том, как электричество устроено.



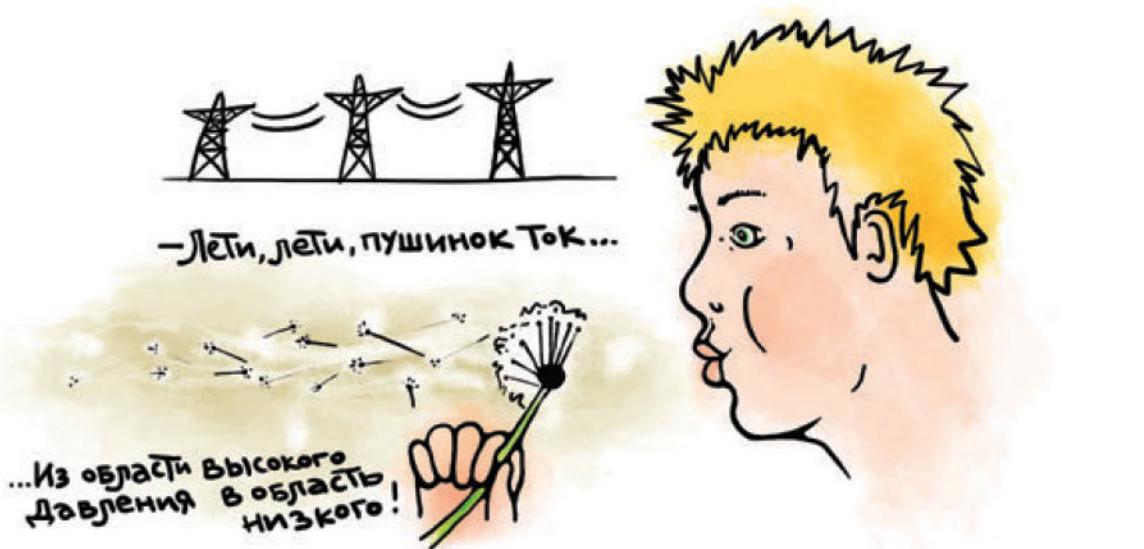
ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

В целом, электричество, которое стало таким важным условием нашей повседневной жизни, — ничто иное, как электрический ток в проводах. Для того чтобы провода оправдывали свое название и начали проводить ток, они должны быть сделаны из материалов, которые называют проводниками. Электрической проводимостью обладают многие известные нам материалы, например, самая обычная вода. Однако трудно представить себе провода из воды. Гораздо проще сделать их из другого прекрасного проводника — металла. Давайте представим себе, что происходит в металлическом проводе, когда в нем возникает электрический ток.

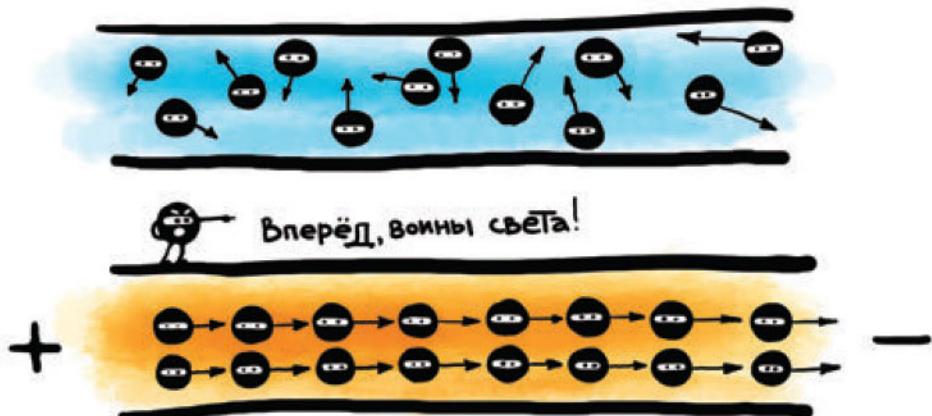
Ядра атомов любого вещества состоят из довольно крупных частиц — положительно заряженных протонов и не имеющих заряда нейтронов. Таким образом, ядра всегда положительно заряжены. Вокруг ядер, как Луна вокруг Земли, врачаются отрицательно заряженные электроны.



У диэлектриков, то есть материалов, обладающих слабой электрической проводимостью, все электроны жестко привязаны к своим орбитам. Такими диэлектрическими свойствами обладают, например, стекло, древесина, пластмасса. А вот электроны проводников гораздо более подвижны, постоянно перемещаются с места на место, поэтому в каждый момент времени в металлах есть множество так называемых свободных электронов, не связанных с каким-либо конкретным ядром. Такие электроны обычно движутся хаотично. Однако, если приложить достаточную силу, их можно направить в одну сторону. Так в проводнике образуется однонаправленное движение электронов, или, как принято говорить, электрический ток. До тех пор, пока на электроны будет действовать сила, они будут двигаться, как стая комаров в вентиляционной трубе, подгоняя потоком воздуха. Но как только действие силы прекратится, электроны тоже остановятся и займут свои места на орбитах тех атомов, рядом с которыми оказались, либо вновь вернутся к своему хаотичному движению.

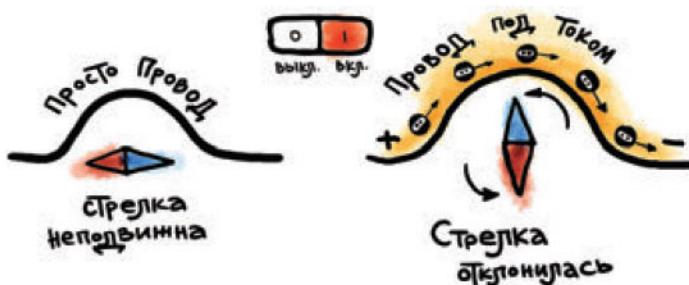


Но если «ток» комаров образован воздушным потоком, то что это за сила, которая может сдвинуть с места электрон? Ветер — это движение воздуха из области высокого давления в область низкого. Если создать напряжение в легких, тем самым повысив в них давление, то воздух начнет свое движение наружу — туда, где давление существенно ниже. Так и происходит выдох — как уравнивание разницы напряжения (давления) между двумя точками пространства. По пути поток воздуха может увлечь с собой пылинки, летающие в воздухе. Если создать напряжение в проводнике, то электроны начнут двигаться в одну сторону. Напряжение в проводнике создается электрическим полем. Оно работает таким образом, что на одном конце проводника создается положительный заряд определенной величины, а на другом — отрицательный. Электроны, имеющие отрицательный заряд, отталкиваются от отрицательно заряженного конца проводника и начинают движение в сторону положительного.



Для простоты понимания природы электрического тока принято объяснять его как движение отрицательных частиц — электронов. Однако на самом деле в некоторых средах (например, в жидкостях) упорядоченно двигаться могут и положительно заряженные частицы — протоны. Но протоны движутся от положительного заряда к отрицательному, а электроны — от отрицательного к положительному. Поэтому, чтобы не путаться в каждом конкретном случае, за направление электрического тока всегда принимают направление напряженности самого электрического поля. То есть от «+» к «-»

Еще одна важная догадка, рожденная в умах ученых и сыгравшая роль настоящего «толкача» современной электроэнергетики, касается магнитных свойств электричества. После многих тысяч наблюдений и опытов исследователи поняли, что электрическое поле — не единственный участник электрических процессов. Дело в том, что электрическое поле работает в паре с магнитным. Более того, два этих поля настолько неразрывно сплетены и взаимно влияют друг на друга, что ученые даже ввели термин «электромагнитное поле». Именно возбуждение магнитной составляющей электромагнитного поля вокруг проводника с током заставляет реагировать магнитную стрелку в следующем опыте.



Несколько определенным образом сгруппированных проводников с проходящим по ним током могут многократно усилить магнитное поле. Поэтому если металлический сердечник окружить обмоткой из провода, а затем через провод пропустить ток, то получится самый настоящий электромагнит. Причем если поменять направление тока в проводнике, то поменяется и полярность магнитного поля.



Однако (и сейчас мы подходим к самому главному!) имеет место и обратный процесс, когда магнитное поле является причиной возникновения электрического тока. Такое явление называется электромагнитной индукцией, а возникший электрический ток — индукционным. Оказывается, что если на проводник действует переменное магнитное поле, то в нем возникает электрическое напряжение и появляется электрический ток. Причем магнитное поле должно быть именно переменным, то есть постоянно усиливаться или ослабевать. В этом случае, как бы пытаясь уравновесить изменения внешнего магнитного поля, в проводнике



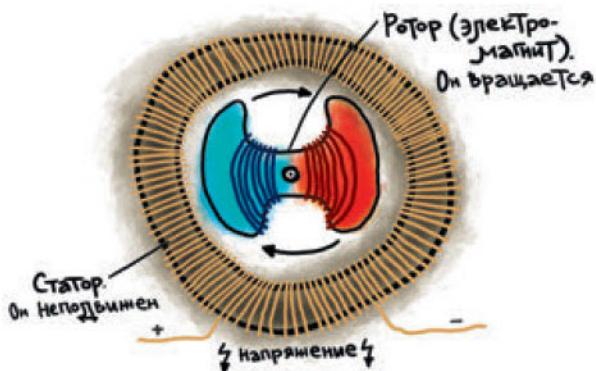
возникает электрическое поле и индукционный ток. Этот ток направлен таким образом, чтобы порожденное им магнитное поле препятствовало изменению внешнего магнитного потока, которым он вызван. Если внешнее поле усиливается (магнит приближается к проводнику), магнитное поле проводника станет препятствовать его возрастанию. Если же внешнее поле ослабевает (магнит удаляется), то индукционный ток в проводнике поменяет направление, чтобы изменить полярность своего магнитного поля и усилить внешнее поле.

Причем неважно, что и относительно чего движется, — магнит относительно неподвижного проводника или наоборот.



Важен результат — изменяющееся магнитное поле наводит (индукция, собственно, и означает наведение) в проводнике электрическое поле, оно, в свою очередь, порождает электрический ток соответственного направления и силы. Как вы уже, наверное, успели догадаться, направление индукционного тока будет меняться с такой же частотой, с какой магнит будет приближаться/удаляться от проводника, а сила будет зависеть от того, насколько велики показатели магнитного поля.

Теоретика и философски настроенного исследователя явление электромагнитной индукции наведет на мысль,



что природа всегда стремится к внутреннему равновесию, компенсируя изменение какой-либо из своих сил изменением другой. А вот пытливого практика наблюдение электромагнитной индукции навело на... как вы думаете, на что? Правильно — на создание генератора переменного тока! Принцип его работы прост — магнитное поле нужно постоянно изменять вокруг проводника, поддерживая таким образом напряжение на его концах. Поскольку направление тока будет меняться в зависимости от изменений магнитного поля, такой ток называют переменным.

Основными частями генератора являются статор (неподвижная часть) и ротор (вращающаяся часть). Ротор представляет собой электромагнит. В обмотки ротора подают постоянный ток и приводят его во вращение. Статор же представляет собой систему неподвижных катушек (обмоток). При вращении ротора обмотки статора оказываются в переменном магнитном поле. Поэтому в них возникает и электрическое напряжение.



КАК УСТРОЕНА ТЭЦ?

Теперь нам осталось только найти движущую силу, которая будет вращать рамку в магнитном поле в течение нужного нам времени и с необходимой скоростью. Собственно электростанции и различаются по тому, какие именно природные ресурсы используют, чтобы привести в движение ротор электрогенератора. Например, это может быть ветер, в таком случае мы имеем дело с ветряными электростанциями. Если прикрепить к оси нашей рамки лопасти на манер флюгера, то мы получим простейший ветряной электрогенератор. Если лопасти будут приводиться в движение не воздухом, а потоком воды, это будет гидроэлектростанция.

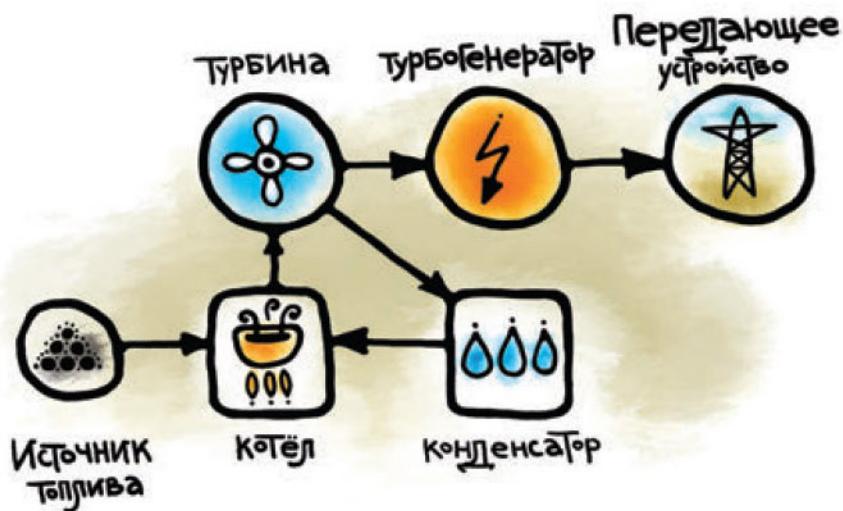
Одним из наиболее распространенных и эффективных источников механической энергии, превращаемой затем с помощью генератора в электрическую, является энергия самого обыкновенного водяного пара, нагретого до высокой температуры.



Даже пар от кипящего чайника может совершать определенную работу. Вспомните, как пар от закипевшей воды вырывается из-под крышки кастрюли или заставляет оглушительно свистеть чайник. Однако для того, чтобы получить пар в промышленных масштабах, чайник явно маловат. Поэтому на электростанциях в огромных кот-

лах (чуть позже вы с ними познакомитесь) тоже кипятят воду, но при большей температуре и в гораздо больших количествах. Делать это можно разными способами. Например, в атомных электростанциях воду подогревает реактор, в котором бушует ядерная реакция. В тепловых электростанциях котлы нагреваются более традиционным способом — сжиганием различного топлива. Таким топливом, в принципе, может быть все, что горит. Но безопаснее и экономичнее всего уголь, мазут, газ — именно их и используют на многочисленных ТЭЦ.

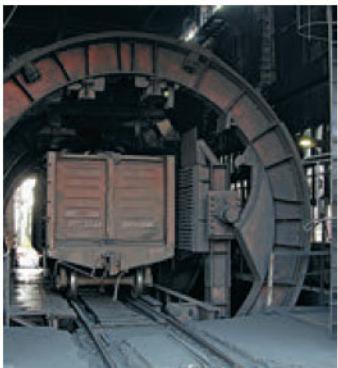
Что ж! Теперь у нас есть знания обо всех основных элементах, чтобы создать простую схему, согласно которой тепловые электростанции вырабатывают более 40 % всей электроэнергии нашей страны!



Вот, общем-то, и весь принцип работы электростанции. Но на самом деле современная ТЭЦ, такая, например, как Хабаровская ТЭЦ-3, — это чудо инженерной мысли. В ней сплетено столько интересных устройств и технологий, что следить за технологическими процессами, протекающими в ней, столь же интересно, как читать книгу или смотреть фильм о приключениях! Поэтому, поняв принцип работы электростанции, мы не заканчиваем, а только начинаем свое путешествие.

Ура, отправляемся на экскурсию!

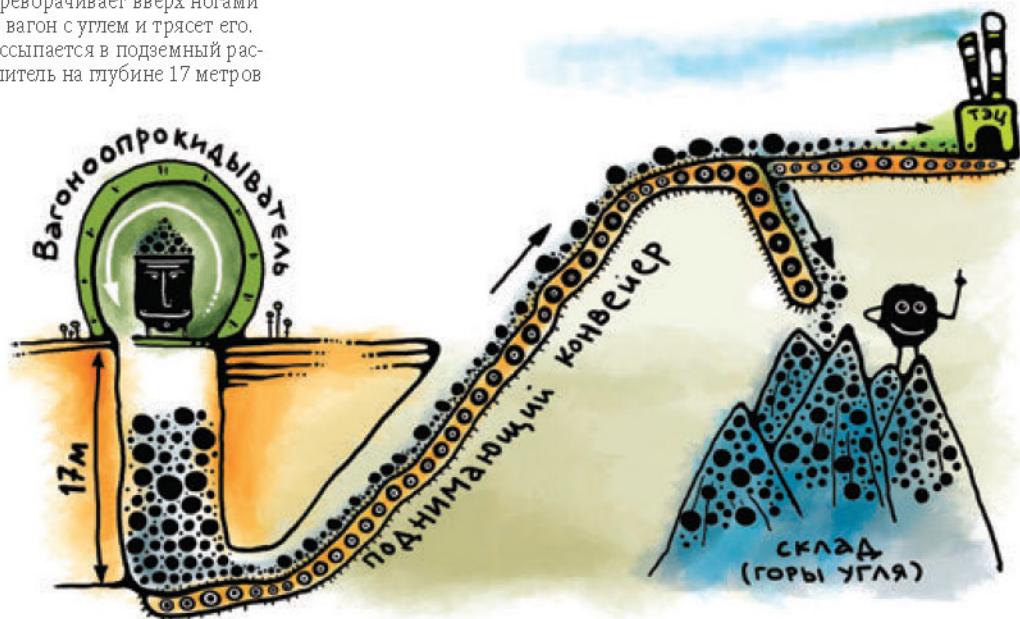
Часть II. ЭКСКУРСИЯ ПО ТЭЦ



Вагоноопрокидывающее устройство переворачивает вверх ногами целый вагон с углем и трясет его. Угольсыпается в подземный распределитель на глубине 17 метров

ТОПЛИВНЫЙ СКЛАД

Итак, мы свами находимся у самого начала технологической цепочки. Это склад угля. Вообще в энергетике различают твердый, жидкий и газообразный виды топлива. В качестве основного топлива на Хабаровской ТЭЦ-3 используется уголь (твердое топливо) Нерюнгринского месторождения. Из всех дальневосточных угольных месторождений именно Нерюнгринское дает самый калорийный уголь. Один килограмм нерюнгринского каменного угля дает около 5 600 ккал, при этом несжигаемого остатка (золы) в нем содержится всего 20 %. А вот, например, уголь Ургальского месторождения дает всего 3 700 ккал при зольности в 30 %. Установлено, что жидкое и твердое топливо, например, мазут или уголь, при их сжигании дают больше тепла, чем газ. Однако топить котлы мазутом — довольно дорогое удовольствие. А газ, хотя при его сгорании практически нет вредных выбросов в атмосферу, требует значительного переоборудования котлов ТЭЦ и строительства газопровода, ведущего от источника газа к электростанции. Мало того, переоборудовать все станции на работу на газе — то же самое, что класть все яйца в одну корзину. А если что-





Конвейеры поднимают уголь из подземного распределителя и транспортируют к месту его дальнейшего использования или складирования

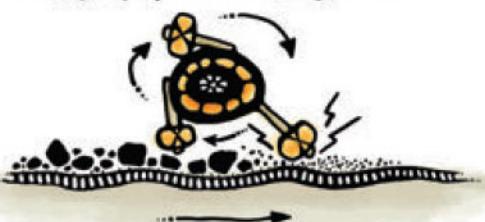


Молотковая дробилка. Огромные молоты (бильды) на вращающемся вале ряд за рядом обрушаиваются на уголь, разбивая его на небольшие (до 2,5 сантиметра) кусочки (фракции). Отсюда дробленый уголь отправляется к котлу

В зимний период Хабаровская ТЭЦ-3 сжигает в час около 240 тонн угля. Поэтому на станции всегда должен быть солидный угольный запас

нибудь случится с магистральным газопроводом? Ведь тогда встанут все станции, работающие на газе. Поэтому при правильной эксплуатации оборудования и строгом соблюдении технологии угольные ТЭЦ еще долгое время будут оставаться одним из самых экономичных, производительных и одновременно безопасных способов вырабатывать энергию без большого ущерба для окружающей среды. Итак! Первый этап экскурсии закончен, отправляемся знакомиться с котлом!

—Эх! Дробись, углёк!





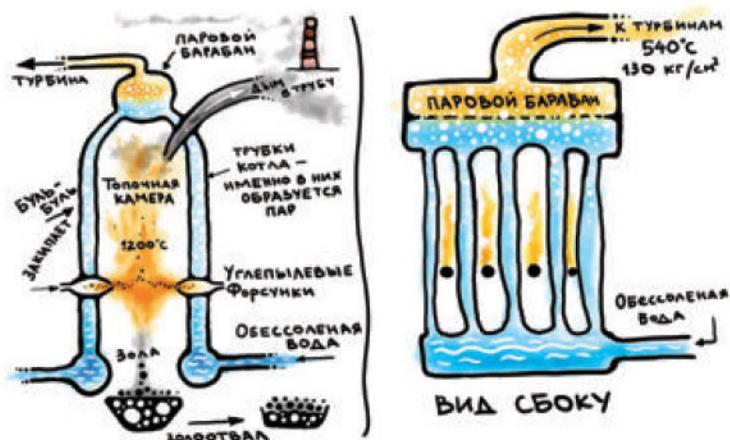
Котел — грандиозное сооружение. Его верхняя точка находится на высоте 54 метров. Причем вся эта громадина подвешена на специальных железобетонных опорах. В целях безопасности и меньшей потери тепла котел обмуровывают специальной штукатуркой. Но все равно воздух вокруг работающего котла достигает порой 45 °С



Требования к качеству питательной воды на ТЭЦ настолько строги, что для ее химической обработки построен целый цех, работники которого не допускают ни малейшего отклонения состава воды от нормы

КОТЕЛ

Сейчас вы о-о-очень удивитесь! Оказывается, котел ТЭЦ совсем не похож на тот, в котором вы варите уху на рыбалке. Принцип работы один и тот же, вот только вода содержится в самих... стенках котла! Стенки состоят из металлических трубок. Вода в этих трубках нагревается от пламени, которое вырывается из специальных отверстий (сопел) в стенах котла, закипает и поднимается вверх — в так называемый паровой барабан. В паровом барабане пар избавляется от последних капелек воды (они оседают в нижней его части), достигает температуры около 300 °С и давления 150 кг/см², напоследок еще разок проходит по котлу, где перегревается до 540 °С, и, наконец, подается по трубе к турбинам с давлением 130 кг/см².



Забегая вперед, можно сказать, что, пройдя сквозь турбины, где пар теряет свою силу и остывает, он попадает в конденсатор, где совершают обратное превращение в воду, а затем возвращается в трубы котла. Таким образом, вода циркулирует по кругу, превращаясь то в пар, то снова в воду. Такая вода, постоянно циркулирующая в системе парообразования, называется питательной. Очевидно, что на протяжении своего пути часть питательной воды теряется. Ее недостаток компенсируется забором обычновенной воды из ближайшего водоема с последующей химической обработкой. Кстати, именно поэтому электростанции обычно строят вблизи водоемов.



Через специальное окошко можно заглянуть внутрь котла (разумеется, когда он не работает). Правда, напоминает скелет какого-то исполинского животного? Например, кита



Форсунки — небольшие сопла, через которые воздушно-угольная смесь подается в топку котла. Таких форсунок в котле 16 штук, и для каждой в стенке котла существует свое отверстие



На высоте 54 метров котел заканчивается паровым барабаном — длинным металлическим цилиндром в обмуровке. Часть трубок, которые вы видите, подают горячий пар из котла в барабан, часть — возвращают пар в котел на перегрев

Мало того, что котел ТЭЦ состоит из трубок, он еще и не имеет дна! Такая конструкция позволяет удалять из котла несгорающие остатки топлива. В угле таким несгорающим остатком является зола. Она состоит, в зависимости от используемого топлива, из различных веществ. Например, глинозема, негашеной извести, оксида железа и др. При этом выглядеть может по-разному — в виде сыпучей массы наподобие песка либо в виде сплавленных пластин или кусков, называемых шлаками. Из котла зола попадает в специальное место, которое называется золоотвал. Кстати, зола и шлак — прекрасное сырье для производства строительных материалов, например, кирпичей. Так что на ТЭЦ, как у хорошего хозяина, все идет в дело!



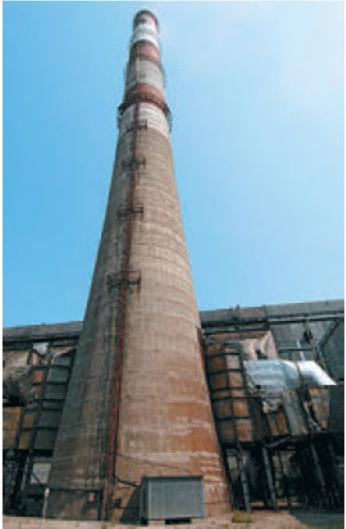
Поскольку котел висит на железобетонных опорах, под него можно заглянуть. А заглянув, можно увидеть так называемые шлакосборники — небольшие металлические контейнеры, в которые опадают несгоревшие в топке котла зола и куски сплавленного шлака. Отсюда они направляются на золоотвал



Это паровой барабан в «чистом виде» — до его монтажа и обмуровки. Чтобы выдержать давление в 150 кг/см², стены парового барабана должны быть очень толстыми и изготавливаться из специального сплава, устойчивого к большим температурам. Толщина стенок парового барабана ТЭЦ-3 — 11 сантиметров. Это на 2 сантиметра больше, чем лобовая броня легендарного танка Великой Отечественной войны — Т-34 (9 сантиметров)

ТРУБА

Итак, часть несгоревшего топлива оседает в нижнюю часть котла, проваливаясь сквозь специальное отверстие в шлакосборник. Другая часть несгоревших остатков выходит из котла в трубу ТЭЦ в виде летучих веществ. Такие трубы вы наверняка видели. Можно сказать, что труба — символ тепловых электростанций. Труба — довольно простой способ решить сразу несколько проблем. Чем выше труба, тем в более разреженных частях атмосферы находится ее верхний конец. Чем разреженнее воздух, тем меньше его давление. Ну, а разница давления между нижней и верхней частью трубы позволяет добиться нужной силы воздушного потока, или, как говорят специалисты, тяги. Например, высота трубы Хабаровской ТЭЦ-3 — 180 метров, что позволяет добиться сильной тяги. В результате, дым не застаивается внизу, а с большой скоростью улетает в воздух. Кроме того, высокая труба позволяет наносить меньший вред воздушному бассейну в прилегающих к станции населенных пунктах. Минимизировать вредные выбросы ТЭЦ во многом позволяет система фильтров, которая задерживает большую часть вредных веществ, не давая ей попасть в атмосферу. Однако небольшой процент



Высота трубы ТЭЦ-3 — 180 метров. Диаметр нижней части — 18, а верхней — 9 метров



Эти огромные трубы — дымоходы. По ним дым из котла попадает в фильтры очистки, а оттуда — в трубу

вредных веществ содержится даже в отфильтрованном дыме. Поэтому высокая труба позволяет выбросить отработанные вещества в атмосферу на такой высоте, где они рассеиваются в воздухе, не причиняя вреда окружающей среде и жителям населенных пунктов.

Кстати, еще одним способом улучшить экологическую обстановку является выбор места для постройки ТЭЦ с учетом «розы ветров». «Роза ветров» — это специальный график, на котором видно, в каком направлении в течение года преимущественно дуют ветра. Ведь дым из трубы ТЭЦ уходит туда, куда дует ветер. Дым из трубы правильно построенной ТЭЦ всегда уходит в сторону от населенных пунктов.



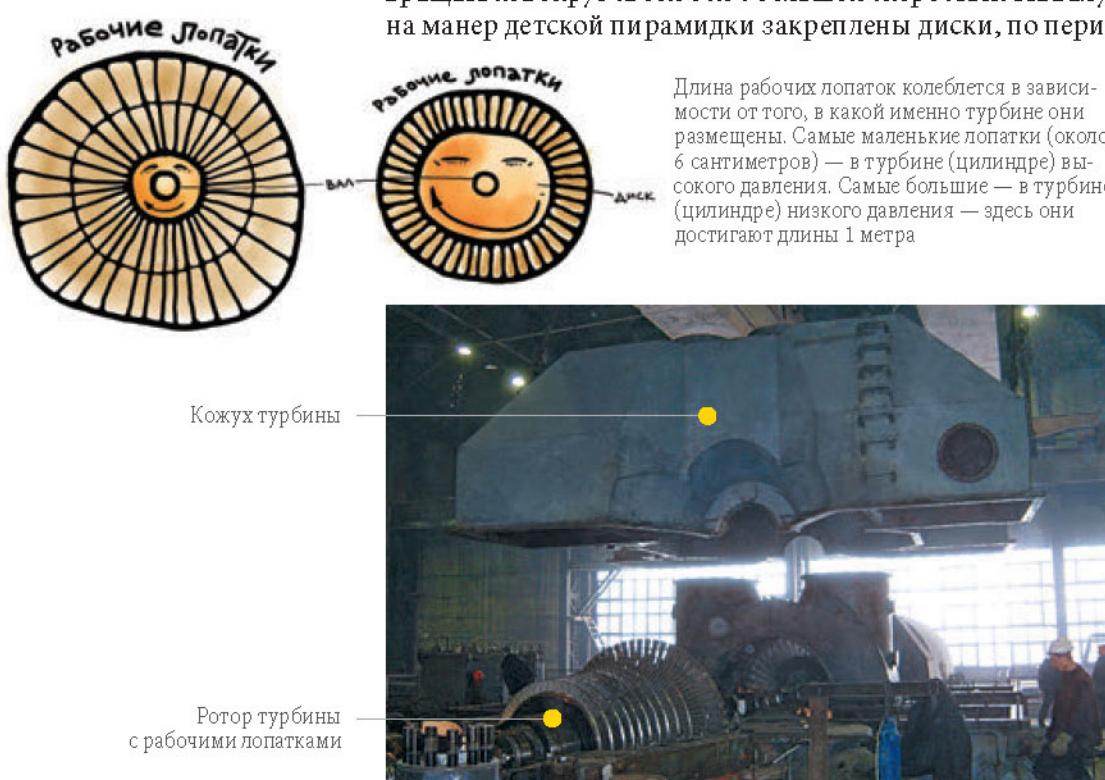
Итак, топливо, которое отдает тепло воде, превращая ее в пар, заканчивает свою работу сразу после того, как сгорает в топке котла, попадая, в конце концов, на золоотвал и в трубу ТЭЦ. А вот путь пара после нагрева в котле только начинается. Давайте проследим судьбу пара дальше и перейдем в то место ТЭЦ, где происходит самое главное таинство. Туда, где все другие виды энергии превращаются, наконец, в электрическую.

ТУРБОГЕНЕРАТОР ТЭЦ

Турбина

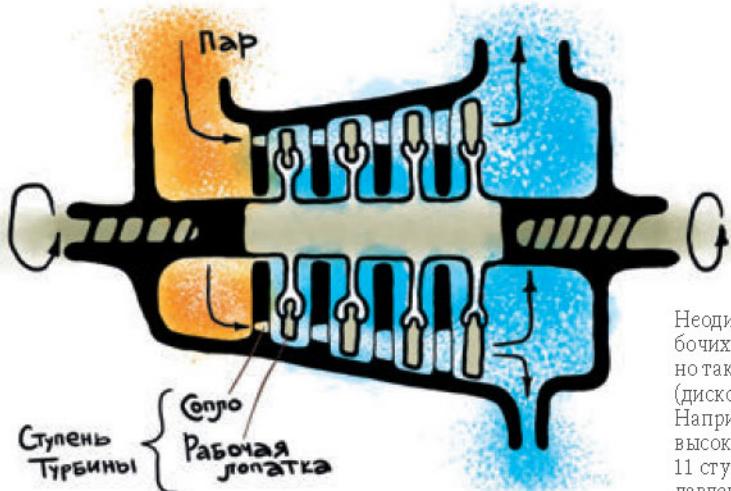
Вы еще не забыли принципиальное устройство генератора переменного тока? Помните, что в нем должны быть такие элементы, как статор (неподвижная обмотка), ротор (подвижный электромагнит) и устройство, которое сможет вращать ротор, используя энергию пара? Начнем знакомиться с этим оборудованием ТЭЦ в порядке движения пара, то есть с турбиной. На самом деле турбина, приводящая во вращение ротор генератора, — чудо аэродинамической мысли. Если не вдаваться в подробности, то устроена турбина из двух основных элементов: вала и рабочих лопаток.

Вал — это металлический стержень, закрепленный в корпусе турбины с помощью подшипников, что позволяет ему вращаться вокруг своей оси с большой скоростью. На валу на манер детской пирамидки закреплены диски, по пери-



Монтаж турбины энергоблока № 4 Хабаровской ТЭЦ-3

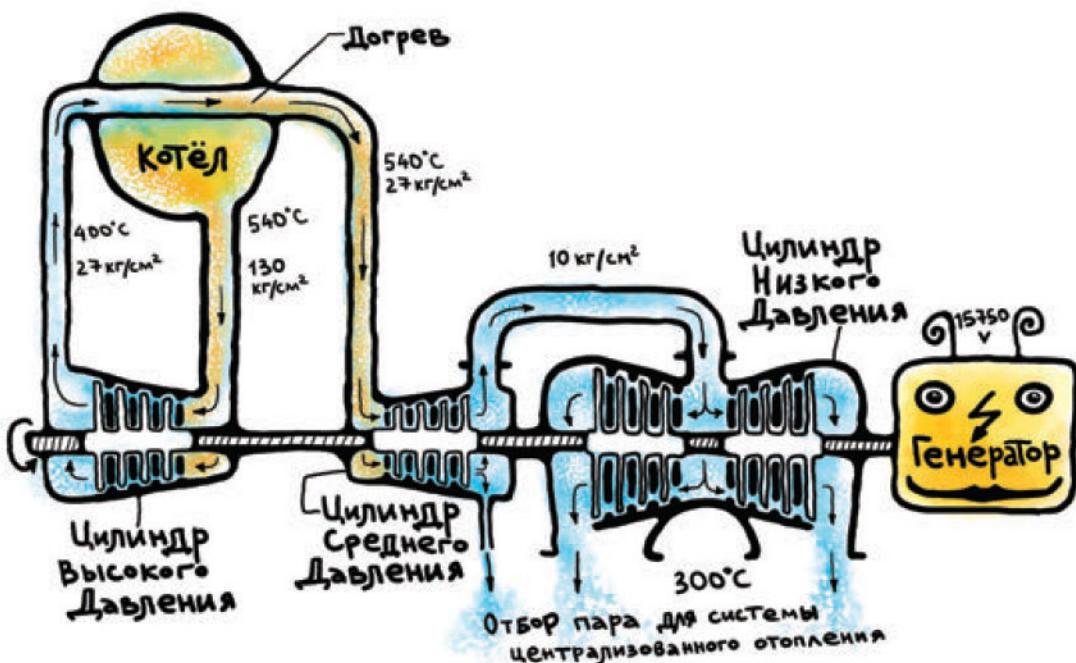
метру которых расположены рабочие лопатки, в которые с большой скоростью и силой врезается пар. Напомним, что в котле пар достигает температуры 540 °С и давления 130 кг/см². Поэтому, когда он попадает на лопасти турбины, это вряд ли можно сравнить с дуновением легкого ветерка — это самый настоящий удар. Однако лопасти рабочих лопаток рассчитаны таким образом, чтобы максимально эффективно превращать удар пара во вращение вала, при этом избегая механических повреждений. По аэродинамическим параметрам лопасти турбины ничем не уступают лопастям, например, современного боевого вертолета.



Для того чтобы сконцентрировать удар пара только в рабочей площине лопаток, между дисками с лопатками устанавливаются промежуточные диски с отверстиями — так называемые сопловые решетки. Проходя сквозь их сопла, поток пара прицельно и под нужным углом попадает на рабочие лопатки. Как вы, наверняка, уже поняли, диски сопловых решеток и рабочих лопаток чередуются на валу таким образом, чтобы пар, двигаясь вдоль вала, проходил сквозь решетку, попадал на рабочие лопатки под нужным углом, а затем, продолжая движение, повторял бы такое действие на следующей паре дисков. Поскольку пар, проходя сквозь такие преграды, постепенно теряет давление, размер рабочих лопаток и сопел увеличивается от диска к диску. Из-за этого турбина внешне напоминает расширяющийся конус.

Неодинаков не только размер рабочих лопаток в разных турбинах, но также и количество ступеней (дисков с рабочими лопатками). Например, на ТЭЦ-3 в цилиндре высокого давления работают 11 ступеней, в цилиндре среднего давления — 10, а в цилиндре низкого давления — 8 (по 4 ступени в каждом блоке)

Как вы видите, турбина устроена таким образом, чтобы сделать минимальными потери энергии пара. Действительно, если уж сжигать топливо, то использовать его тепловые ресурсы по максимуму! Но оказывается, что и это еще не все секреты эффективности парогенератора ТЭЦ! Дело в том, что пар, пройдя сквозь первую турбину (ее называют цилиндром высокого давления — ЦНД), теряет далеко не всю свою силу. Чтобы не растратить ее впустую, отработанный пар собирается в отдельную трубу и отправляется догреваться обратно в котел, а потом возвращается и врезается в лопасти второй турбины. До начального давления отработанный пар уже не довести, поэтому вторую турбину после дополнительного круга по котлу он атакует с давлением всего лишь $27 \text{ кг}/\text{см}^2$, хотя температуру 540°C в кotle ему возвращают — она нужна для последующего нагрева воды в системе отопления, которую мы рассмотрим немного позже. Вторую турбину называют цилиндром среднего давления (ЦСД). Из-за



более низкого давления пара на рабочие лопатки ЦСД их размер увеличивают, чтобы они были более чувствительны к удару пара пониженного давления, буквально собирая пар наподобие паруса. Поэтому размеры второй турбины больше, чем размеры первой.

Сразу же из второй (уже без промежуточного подогрева) пар попадает в третью турбину — или, как ее называют, цилиндр низкого давления. В этой турбине давление пара и вовсе мало — менее 10 кг/см². Поэтому ЦНД не только обладает рабочими лопатками увеличенной площади, но и имеет целых два блока, в которые пар входит, разделяясь на две части. При этом все три турбины на манер шашлыка «нанизаны» на один вал, суммарно работая, таким образом, на его вращение.

ЦНД

Генератор



Генератор

Принцип работы генератора ТЭЦ вам уже известен. Все те же старые знакомые — ротор и статор. Однако конструкция промышленного генератора, вырабатывающего огромное количество энергии, не должна иметь слабых мест. Поэтому каждая деталь, несущественная с точки зрения принципа работы, т. е. в теории, имеет большое значение на практике. Например, защитный корпус. Он абсолютно герметичен, поскольку связан не только с защитой генератора от внешних повреждений, а людей — от вредного воздействия электромагнитного поля, но и с системой охлаждения. Дело в том, что электрический ток сильно нагревает провода генератора. Поэтому генератор ТЭЦ нужно охлаждать. Но как? И сейчас снова пора удивляться оригинальности инженерной мысли энергетиков-проектировщиков.

Обмотку статора охлаждают... водой! Да-да, именно водой, но не простой, а дистиллированой. Дело в том, что сама по себе вода — абсолютный диэлектрик, ведь в ней есть только кислород и водород, а ни тот, ни другой не проводят электричество. Ток в воде могут передавать только примеси — различные соли, частички металла и пр. Если же избавить воду от примесей (дистиллировать), то ток в ней проводить нечему. Что же, хорошо! Но как охлаждать провода такой водой? Что, просто поливать их из ведра или шланга? Вовсе нет! Оказывается, что вода, охлаждающая провода статора, течет прямо... внутри этих проводов! То есть провода статора, на самом деле, являются одновре-



Турбогенератор энергоблока № 4
Хабаровской ТЭЦ-3

менно трубками системы охлаждения! Вода постоянно циркулирует по ним, забирая лишнее тепло и не позволяя медным проводам-трубкам перегреваться выше 60 °С. А вот с ротором генератора все осложняется тем, что он постоянно вращается, причем с огромной скоростью — около 3 000 оборотов в секунду. Поскольку при такой подвижности воду в ротор ну никак не закачать, охлаждают его водородом. Этот газ очень теплоемкий (в 8 раз превышает теплоемкость воздуха) и может забрать все лишнее тепло у генератора. И хотя словосочетание «водородная бомба» звучит угрожающе, сам по себе водород не взрывоопасен. А вот его смесь с кислородом, содержащимся в воздухе, поистине разрушительна. Она так и называется — гремучая смесь, и в любой момент может самопроизвольно



По фиберпластиковым трубкам (окрашены в белый) дистиллированную воду подают в провода обмотки статора (окрашены в красный цвет)



взорваться. Поэтому, чтобы не допустить ее образования, металлический кожух генератора делается герметичным, а для того, чтобы управлять водородной средой в генераторе, используется углекислый газ. Углекислый газ, имея с водородом разную плотность и вес, может вытеснить последний из замкнутого пространства, не вступая с ним в реакцию. Поэтому, когда водород необходимо закачать в генератор, туда сначала закачивают углекислый газ, который вытесняет обычный воздух. Затем, уменьшая подачу углекислого газа и увеличивая подачу водорода, кожух генератора полностью заполняют водородом. Если необходимо открыть корпус генератора, делают наоборот — водород вытесняют углекислым газом, который потом откачивают, запуская простой воздух. Все, теперь кожух можно открывать! Здорово, правда?

ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Казалось бы, что может быть проще, чем подсоединить к контактам генератора провода и отправить ток в большой мир? Однако есть существенная проблема — передача электроэнергии влечет существенные энергопотери за счет нагревания проводов. Как избежать этого? Попробуем разобраться.

У электрического тока есть две основные характеристики: сила и напряжение. Сила тока — это ничто иное, как количество заряженных частиц, одновременно проходящих через поперечное сечение проводника. Их, например, можно представить как металлические шары, катящиеся с горки. Понятно, что чем шаров (частиц) больше, тем больше и сила, с которой они движутся вниз (по проводам). Напряжение можно представить как высоту горки, с которой катятся шары. Чем горка выше, тем с большим напряжением тело стремится вниз.

Однако при передаче электроэнергии на расстояние по проводам в дело вступают еще два фактора: мощность тока и сопротивление проводника.

Мощность — это, по большому счету, количество энергии, которого достаточно для совершения определенной работы. Например, настольная лампа требует для своей работы меньше энергии, чем стиральная машина. В нашем «механическом» примере можно представить мощность как количество работы, которое нужно совершить, чтобы сдвинуть предмет, лежащий внизу горки. Понятно, что чем больше шаров и на большую высоту мы предварительно закатим, тем больший предмет они смогут сдвинуть с места, скатившись с горки. То есть чем больше сила тока и напряжение, тем больше и мощность тока.

Сопротивление проводника можно представить как преграды на пути шаров, катящихся вниз с горки, например — сеть. Понятно, что чем больше сетей встретят на своем пути шары, тем меньше их доберется до низа. В проводнике происходит практически то же самое — проходящие по нему



Блочный повышающий трансформатор

электроны встречают на своем пути неподвижные частицы вещества, из которого сделан проводник, и замедляют свое движение. А неподвижные частицы от столкновения начинают более интенсивно колебаться, вибрировать. Все это приводит к общему нагреванию вещества — так ток оставляет часть своей энергии в проводнике, превращая ее в теплоту. Но что же тогда делать, чтобы избежать потерь при передаче энергии?

Сдвинуть предмет определенной массы, спустив на него шары с горки, можно двумя способами: либо увеличить количество шаров, либо сделать выше горку, а количество шаров оставить прежним (или даже уменьшить). Во втором случае и одного легкого шарика может хватить, чтобы сдвинуть тяжелый предмет с места. Да и сквозь преграды одному шарику легче проскочить, не задерживаясь. В энергетике применяют аналогичный метод — оперируют изменением напряжения электрической сети! Если напряжение повысить, то для передачи определенной электрической мощности большая сила тока уже не нужна. А если уменьшится сила тока, уменьшатся и потери от сопротивления проводника.

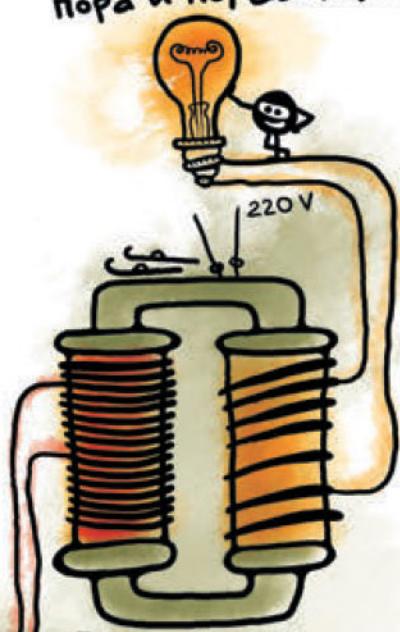
Напряжение электротока повышается на ТЭЦ с помощью специального устройства — трансформатора. Электроэнергия сразу после генератора ТЭЦ попадает в повышающий трансформатор, где напряжение тока доводится с 15 750 В (такое напряжение выдает один генератор ТЭЦ) до 220 000 В. Соответственно сила тока понижается. В таком состоянии ток проходит по проводам до пункта назначения, где попадает в понижающий трансформатор. Здесь напряжение падает до нужных значений, используемых в быту (220 В), в промышленности (380 В) и на транспорте (550 В).

Кстати, звенья технологической цепочки «котел — турбогенератор — трансформатор» составляют так называемый энергоблок. Таких энергоблоков на электростанции может быть несколько. Например электроэнергию на Хабаровской ТЭЦ-3 вырабатывают четыре энергоблока. Большой плюс блочной конструкции состоит в том, что при остановке одного из энергоблоков остальные продолжают нормально работать.



Распределительные сети ТЭЦ-3

Прокатился,
пора и поработать!



Понижающий
Трансформатор

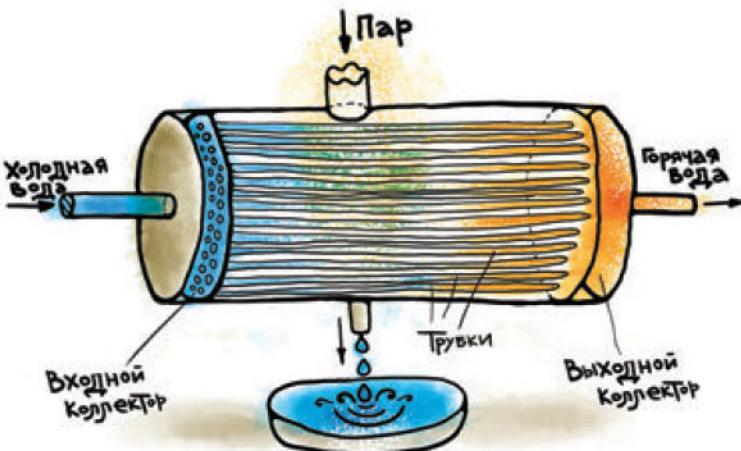
СИСТЕМА ЦЕНТРАЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ

А теперь вернемся в ту точку технологической цепочки, где пар, обеспечив вращение ротора генератора, переключается на другой фронт работ — подогрев воды для системы центрального отопления.

Система отопления состоит из двух главных элементов — подогревателя сетевой воды и тепломагистрали. Внешне подогреватель кажется простым устройством — всего лишь большой металлический цилиндр. Однако внутри его насквозь пронизывают тысячи тонких трубок. Сетевая вода (она называется так, потому что попадает затем в теплофикационную сеть) втекает в нагреватель с одной стороны, проходит по трубкам, снова собирается в один поток и выходит по трубе с другой стороны подогревателя уже горячей. Нагревается она как раз в трубках, обдувает которые горячий пар из турбины. Обычно подогревателей, питающихся паром турбин, два — первый забирает пар из третьей турбины. Как вы помните, его температура



Тепловые электростанции различаются наличием или отсутствием пароотвода к системе центрального отопления. Например ТЭС (тепловая электростанция) вырабатывает только электрическую энергию. А тепловая электроцентраль (ТЭЦ) потому так и называется, что является настоящим энергетическим центром, ведь здесьрабатываются электрическая и тепловая виды энергии. Очевидно, что ТЭЦ более экономична. Коэффициент ее полезного действия (КПД) составляет 60 %, в то время как топливо, сжигаемое на ТЭС, используется лишь на 40 %. А остальное, как говорится, улетает в трубу



существенно меньше, чем в первой и второй турбинах. Подогретую таким образом воду догревает до нужной температуры второй подогреватель, пар в который поступает из второй турбины. Два таких подогревателя содержат в целом более 7,5 тысячи трубок. Отдавая текущей в них воде свое тепло, пар остывает, конденсируется в виде

капелек воды и стекает вниз — в конденсаторный резервуар, откуда насосами подается обратно в котел. Вот уж действительно безотходное производство.

Кстати, подогреватели сетевой воды для системы централизованного отопления находятся очень даже недалеко от турбогенератора, из которого получают пар, а именно — прямо под ним! А забегая вперед, можно сказать, что здесь же расположен и основной конденсатор турбины, где в воду превращают оставшийся в последней турбине пар.

Пар, который конденсируется в подогревателях, остается на ТЭЦ, а сетевая вода, подогретая паром до 115 °С, буквально выходит «в люди» — по трубам тепломагистрали поступает в наши дома.

Придя в город, горячая вода по трубам уже гораздо меньшего диаметра попадает в наши дома, где отдает свое тепло людям, обогревая воздух в помещениях. После этого она возвращается по обратной магистрали на ТЭЦ, подогревается и начинает свой путь заново. Однако возвращается она не только остывшей, но и с гораздо меньшим давлением — всего лишь $3 \text{ кг}/\text{см}^2$. Кроме того, часть сетевой воды тратится на бытовые нужды, попросту вытекая из кранов в наших ванных комнатах и на кухнях. Поэтому на ТЭЦ возвращается всего 15 тысяч тонн воды в час.



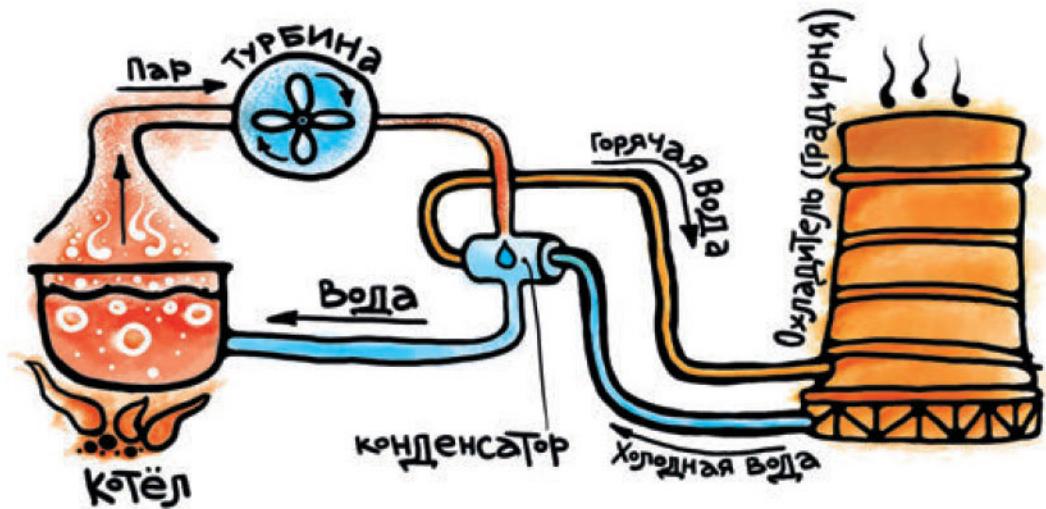
В час ТЭЦ-3 выдает городу 17 тысяч тонн горячей воды. Чтобы трубы справились с таким потоком, они должны иметь большую пропускную способность, поэтому их диаметр достигает 120 сантиметров. Так давление воды в магистральной трубе удается снизить до 15 кг/см². Но при таком диаметре и протяженности в несколько километров, труба, если ее не изолировать от окружающей среды, может потерять большое количество тепла и прийти в город уже совсем не горячей. Поэтому теплотрассу изолируют специальным материалом

СИСТЕМА КОНДЕНСИРОВАНИЯ

Система конденсирования — очень важный этап технологической цепочки при производстве энергии. Давайте посмотрим, как она устроена.

Конденсатор

Конденсатор — устройство, которое позволяет преобразовывать воду из парообразного в жидкое состояние. В принципе, подобные процессы происходят повсеместно, например, выпадение утренней росы, запотевание стекла, если на него подышать или, тем более, направить струю пара из кипящего чайника. На ТЭЦ такой процесс взяли на вооружение по той простой причине, что он позволяет многократно использовать одну и ту же воду для работы энергоблока. Ведь подготовить нужное количество питательной воды к работе — целый этап в деятельности станции. Поэтому, чтобы такую воду использовать крайне экономно, ее конденсируют из отработанного пара и отправляют обратно в котел.



Конденсатор отработанного пара турбины находится прямо под турбиной, рядом с подогревателями сетевой воды в системе централизованного отопления. Собственно, конденсатор и устроен точно по такому же принципу — металлический цилиндр, пронизанный тысячами трубок.



Монтаж энергоблока № 4 Хабаровской ТЭЦ-3

Вот только в трубках системы отопления течет вода, которая затем подается по магистральным трубам в наши дома, возвращаясь на ТЭЦ уже остывшей. А по трубкам конденсатора течет другая вода, которая остужается в специальном устройстве, расположенном вне основного здания ТЭЦ, — градирне.



Нагретая паром в конденсаторе вода поступает в градирню и на высоте 8 метров разбрызгивается такими вот фонтанами. Кстати, вода, циркулирующая в системе охлаждения ТЭЦ, так и называется — циркуляционной, или, как принято говорить среди энергетиков, циркводой

Градирня

Градирня — заключительный и самый «освежающий» этап нашей экскурсии. Это поистине величественное сооружение. По виду она напоминает искусственно созданный вулкан, из жерла которого валит густой белый пар (особенно зимой). Основная задача градирни — остужать воду, которая, в свою очередь, будет остужать в конденсаторе отработанный пар.

По принципу своего устройства градирня напоминает оросительную систему. Нагретая в конденсаторе вода подается в градирню и на высоте всего 8 метров от земли разветвляется на сотни маленьких фонтанчиков. На этом уровне пол градирни — решетка, набранная из вертикально расположенных металлических листов. Вода разбрызгивается фонтанами, а затем стекает сквозь решетку вниз — в накопительный водоем градирни. Проходя между листами решетки, вода обдувается восходящим снизу потоком воздуха, отдавая ему свое тепло. Поскольку вода в фонтанах имеет температуру около 40–45 °C, то от нее вверх поднимается пар — это именно его вы можете увидеть, глядя на градирню со стороны.

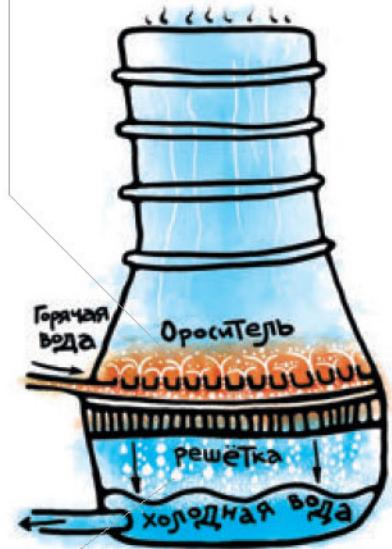
Если второй уровень градирни — царство воды, поднимающейся вверх (фонтаны и пар от них), то нижний уровень — место, где всегда идет дождь. Вода, ливнем



На ТЭЦ-3 три градирни — именно столько нужно, чтобы охладить достаточно количество воды для системы конденсирования



льющая с потолка, остывает в полете до 30 °C (а зимой и до 20 °C), скапливается в бассейне градирни, откуда насосами подается обратно в конденсатор. Необходимость быстро остужать воду диктует большой диаметр основания градирни. Ведь чем больше площадь основания, тем большее количество фонтанов можно на ней разместить. А высота и конструкция трубы создает в ней естественную тягу воздуха, которая уносит вверх остаточный пар и позволяет воде быстрее остывать до нужной температуры.



Что ж, друзья! Вот наша экскурсия и подошла к концу! Сегодня вы узнали многое: как производят электрическую и тепловую энергию, как ими управляют, как передают на большие расстояния и заставляют работать на благо людей. Увидели, как много инженерных тонкостей, оригинальных решений, позволяющих с максимальной пользой превращать один вид энергии в другой, применяются на современных тепловых электростанциях. Но возможно, что среди всех этих интересных технических деталей и энергетических хитростей вы увидели главное — насколько важна сама профессия «энергетик», насколько значительную роль она играет в современной жизни. И кто знает, может быть очень скоро вы сами станете энергетиками и будете заботиться о людях, о свете и тепле в их домах так же, как сейчас кто-то другой заботится о вас.

С уважением и самыми лучшими пожеланиями
ваша «Дальневосточная генерирующая компания»,
2008 год





ДАЛЬНЕВОСТОЧНАЯ
ГЕНЕРИРУЮЩАЯ
КОМПАНИЯ

Генератор Дальнего Востока

