

Из тепла — электри- чество

ВИЛИС МЕЛНАЛКСНИС

(Рижский политехнический институт им. А. Я. Пельше).

Запасы органического топлива быстро иссякают, поэтому во всем мире ведется поиск новых, более экономичных методов получения электроэнергии.

Больше всего электроэнергии в нашей стране (около 85 %) производится на паротурбинных электростанциях. Коэффициент полезного действия перегретого (540—565 °С) пара высокого давления (13—25 МПа) не превышает там 40 процентов. Еще меньше — 30—34 процента — он на большей части атомных электростанций, где используется насыщенный пар среднего давления (4—6 МПа).

Как известно, эффективность теплового двигателя зависит от соотношения максимальной и минимальной температур цикла. В современных электростанциях, работающих на органическом топливе, максимальное давление пара достигает 24 МПа, а температура 540—560 °С, минимальная же температура цикла равна 24—32 °С. Снизить эту температуру невозможно, так как она определяется среднегодовой температурой воды, охлаждающей конденсаторы. Чтобы повысить максимальные параметры пара, необходимо изготавливать установки из гораздо более дорогостоящих, трудно обрабатываемых, высоколегированных, жаропрочных сталей. Поэтому пока в мире таких установок очень мало. В Советском Союзе подобная экспериментальная промышленная установка действует на Каширской ГРЭС (мощность 100 МВт, давление пара 30 МПа, температура 650 °С, с двухкратным повторным перегревом до 560 °С).

Расчеты показывают, что переход на такие параметры пара экономически больше себя не оправдывает. Поэтому специалисты заняты поиском иных возможностей повышения КПД энергетических установок, предпринимаются попытки создания новых устройств, в которых использовались бы нетрадиционные виды энергии, например солнечное излучение.

Поиск методов повышения КПД энергоустановок ведется давно. В этом отношении особый интерес представляют

различные установки, в которых тепловая энергия непосредственно превращается в электрическую. Один из старейших здесь — термоэлектрический метод, открытый в 1822 году немецким ученым Т. Зеебеком. Но у термопар с двумя металлическими спаями КПД настолько низок, что использовать их для производства электроэнергии экономически невыгодно. Положение изменилось с появлением полупроводниковых термопар. Правда, и они не отличались высоким КПД, но могли использоваться там, где для производства электроэнергии требовались простые, маломощные и дешевые установки.

Для прямого превращения тепловой энергии в электрическую пригодны и термоэмиссионные преобразователи. Их действие основано на явлении эмитирования электронов раскаленными металлами. Если в вакууме сблизить две металлические поверхности различной температуры, то через зазор и внешнюю нагрузку будет течь результирующий ток. Чтобы скомпенсировать созданный электронами объемный заряд, в зазор вводят ионы цезия. Впервые это явление в 1883 году наблюдал американский изобретатель Т. Эдисон, но практически использовать его предложил советский академик А. Иоффе лишь в 1949 году. КПД подобных устройств равен 14—20 процентам. Это немного, но если задействовать их одновременно с паротурбинными энергетическими установками, общий КПД можно повысить.

В настоящее время у нас в стране спроектирована промышленно-экспериментальная комбинированная установка. Термоэмиссионный преобразователь вмонтирован в камеру сгорания парового котла, использует тепло высокотемпературных дымовых газов. КПД парозенергетической установки составляет около 40%, термоэмиссионного преобразователя — 14%, общий КПД установки — около 47%.

С начала 60-х годов термоэлектронные преобразователи с радиоактивным источником тепла используются в искусственных спутниках Земли и других установках, где необходим источник тепла, могущий длительно работать без пополнения горючего и технического обслуживания.

Для превращения энергии электромагнитного излучения в электроэнергию используются фотоэлектрические преобразователи. Фотоэффект был открыт в 1887 году Г. Герцем, но проблему превращения солнечной энергии в электрическую впервые корректно сформулировал академик А. Иоффе в 30-х годах нашего столетия. В то время его сотрудниками был изготовлен фотоэлемент, КПД которого едва превышал один процент. Сейчас у отдельных экземпляров он достигает 15% и более. Максимальный теоретически возможный КПД фотоэлектрических преобразователей равен 23%. Первые преобразователи были очень дороги, поэтому вначале их использовали только в ИСЗ (с конца 50-х

годов). С улучшением технологии производства цена на них снизилась, и теперь они все чаще находят применение также в установках на Земле. Специалисты считают, что к концу 80-х — началу 90-х годов эти преобразователи уже смогут конкурировать с другими источниками электроэнергии.

Интересно предложение ученых США о круглосуточном использовании солнечной энергии. Проект предусматривает смонтировать на геосинхронной орбите (на высоте примерно 39 тысяч километров) солнечную электростанцию. Полученная энергия будет передаваться на Землю с помощью микроволн или мощных лазеров. Чтобы создать подобную установку, надо доставить в космос тысячи тонн различных конструкций, разработать мощные энергопередатчики и приемники. Такие электростанции, если они будут созданы, — дело далекого будущего.

Один из перспективных способов непосредственного получения электричества из тепла — так называемый магнитогидродинамический метод. Он разработан на основе физических закономерностей, определяющих движение электропроводящей среды (ионизированного газа или жидкости) в магнитном поле. Дополнительное оснащение теплоэлектростанций магнитогидродинамическими (МГД) генераторами повышает их КПД. В подобных установках плазма (ионизированный газ) пропускается со скоростью около 1000 м/с через канал, помещенный в сильное магнитное поле. При движении электропроводящей плазмы в магнитном поле в ней согласно закону Фарадея наводится электродвижущая сила. Возникающий ток отводят вмонтированные в стенки канала электроды (подробнее об исследованиях и принципе работы МГД-генераторов см. в № 10 «Науки и техники» за 1985 г.).

По этому методу, на основе результатов, полученных на экспериментальных установках, во Всесоюзном проектно-институте атомных и тепловых электростанций была разработана первая сверхмощная установка, строящаяся на Рязанской ГРЭС, ее ввод в эксплуатацию запланирован в 1989 году. Мощность ее МГД-генератора составит 270 МВт, а паровой турбины — 300 МВт. У МГД-генератора канал длиной 17,5 м и сверхпроводящая магнитная система. Сверхпроводящая обмотка помещена в жидкий гелий температурой около 4 К. Вырабатываемый МГД-генератором постоянный ток на инверторной подстанции преобразуется в переменный.

В камере сгорания (тепловая мощность — 1100 МВт, проток плазмы — 230 кг/с) сжигается топливо, происходят испарение ионизирующей добавки и ионизация, а также гомогенизация плазмы. Температура в камере достигает 2300—2700 °С. В системе охлаждения высокотемпературных элементов используется кипящая вода под давлением до 4,5 МПа. Вырабатываемый пар в реге-

неративной системе турбины нагревает подаваемую на парогенератор воду. Парогенератор, в котором используется тепло отводимых от МГД-генератора газов, производит пар с начальным давлением 25 МПа и температурой 545 °С, который после расширения в турбинном цилиндре высокого давления вновь перегревается до 545 °С.

Предусматривается также автономная работа паротурбинной установки при сжигании топлива в камере сгорания парогенератора (работая вместе с МГД-установкой, генератор вырабатывает 850, а в автономном режиме — 1000 тонн пара в час). Таким образом возможно изменять мощность энергоблока в широких пределах, что особенно важно в условиях бурного развития ядерной энергетики.

Для получения электропроводящей плазмы в камеру сгорания подается ионизирующая добавка (поташ), которая затем отделяется от дымовых газов с помощью электрофильтра и возвращается в устройство подготовки и подачи ионизированной добавки. В первом блоке предусмотрено кислородное обогащение воздуха, необходимого для горения, что приводит к повышению температуры сгорания. Горючим сейчас служит природный газ. По сравнению с паротурбинным блоком этот метод дал возможность экономить 16 процентов топлива.

Специалисты разработали технико-экономическое обоснование также и серийных блоков для электростанций подобного типа. Мощность их МГД-генераторов составляет 382 МВт, а паровых турбин — 308,5 МВт, расход электроэнергии 27,6 МВт, потери в инверторе 7,6 МВт, передаваемая в сеть мощность — 655,3 МВт, максимальный КПД — 48,7%, экономия топлива — 21 процент. Применение серийных блоков требует повышения капиталовложений на один киловатт установленной мощности на 25% по сравнению с паротурбинной электростанцией, но, с учетом более высокого КПД, ожидается экономия средств в размере 7 процентов. По сравнению с упомянутой выше рязанской установкой в проекте электростанции с серийными МГД-блоками есть несколько изменений. Вместо одного энергоблока предусмотрено четыре. Это сэкономит средства на строительство помещений для охладителей, ремонтных и монтажных мастерских, складов и др.

Установки будут работать на атмосферном воздухе. Вместо двух компрессоров будет только один — компрессор без воздушного охлаждения, приводимый в действие паровой турбиной мощностью 80 МВт, поэтому повысится температура воздуха, подаваемого в нагреватель. Турбопривод даст возможность экономически регулировать производительность компрессора и давление, изменяя число оборотов. Предусматривается использовать выхлопные газы МГД-генератора для нагрева воздуха после компрессора, а также горючего газа пе-

ред камерой сгорания до 450 °С. Это позволит отказаться от обогащения воздуха кислородом. МГД-канал и камера сгорания будут охлаждаться подаваемой в парогенераторную установку водой под давлением около 10 МПа, тем самым изменится схема регенерационной установки, увеличится ее эффективность. Все это позволит дополнительно сберечь около 5% топлива.

Следующим шагом в совершенствовании МГД-электростанций является переход на твердое топливо. Исследования в этом направлении уже ведутся. Начато проектирование МГД-электростанции на углях Кузнецкого бассейна. Больше всего хлопот доставляет отделение ионизирующей добавки от шлаков и проектирование нового воздухонагревателя. В установке должны иметься сероуловители, чтобы предотвратить загрязнение атмосферы.

Исследуются и МГД-установки замкнутого цикла. В них источником тепла будет служить ядерный реактор, и рабочее вещество будет циркулировать по замкнутому контуру. Это даст возможность выбора рабочего вещества с наиболее выгодными теплофизическими свойствами. Одним из наиболее подходящих в этом отношении считается гелий с примесью ионов цезия. Главная трудность — создать безопасный высокотемпературный ядерный реактор. В существующих высокотемпературных реакторах с газовым охлаждением температура газа не обеспечивает достаточной ионизации. Оболочки тепловыделяющих элементов, изготовленные из графита, карбида кремния или других жаропрочных материалов, при температуре свыше 1500 °С неспособны предотвратить утечку продуктов ядерного деления. Перспективными считаются установки с реакторами на газообразном ядерном топливе. Таким топливом мог бы быть гексафторид урана UF_6 — газ, физико-химические свойства которого хорошо изучены, так как он применяется при обогащении ядерного топлива. В таких МГД-установках открывается возможность достижения температуры в несколько десятков тысяч градусов. Продукты реакции можно было бы отводить, а свежее топливо подавать при работающем реакторе. Пока еще промышленных установок такого типа нет, они будут созданы лишь, когда удастся решить все вопросы, связанные с их безопасной эксплуатацией. Основное преимущество установок замкнутого цикла — в отсутствии выброса в атмосферу каких-либо продуктов сгорания.

В заключение необходимо отметить вклад латвийских ученых в создание магнитогидродинамических установок. Ученые Института физики Академии наук Латвийской ССР решают эти проблемы начиная с 50-х годов. Сейчас в институте данной проблематикой занято несколько лабораторий и специальное конструкторское бюро. В Риге раз в три года проводится всесоюзный симпозиум по проблемам магнитогидродинамики.