

Б48
1068635



Наука и технический прогресс

Б. М. Берковский
В. А. Кузьминов

Возобновляемые источники энергии на службе человека





АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «Наука и технический прогресс»

Б. М. Берковский
В. А. Кузьминов

Возобновляемые источники энергии на службе человека

Ответственный редактор
академик А. Е. ШЕЙНДЛИН



Москва «Наука»

1987

ББК 31.15

Б 48

УДК ~~620.9~~

Рецензент

П. И. КАНАЕВ

Берковский Б. М., Кузьминов В. А.

Б 48 Возобновляемые источники энергии на службе человека.— М.: Наука, 1987.— 128 с., ил.— (Серия «Наука и технический прогресс»).

В книге рассказано о роли энергии в современном мире, о старых и новых методах ее получения, о взаимодействии топливно-энергетического комплекса с окружающей средой, о международном сотрудничестве в области энергетики. Читатель также узнает о возможностях использования энергии Солнца и тепла земных недр, о второй жизни ветряных мельниц и гидроэлектростанций на малых реках и даже ручьях.

Б $\frac{2301000000-464}{054(02)-87}$ 92-87 III

ББК 31.15

От редактора

В последнее время проблемы энергетики стали привлекать внимание не только специалистов, но и представителей других областей науки и техники. Этот интерес обусловлен исключительным значением энергетики для развития хозяйства каждой страны. Проблемы обеспечения энергией, возникшие в настоящее время, объясняются в основном ростом потребления первичной энергии на душу населения, ограниченными запасами наиболее качественного и удобного органического топлива — нефти и природного газа, неравномерностью его распределения, ухудшением природно-географических условий их добычи, глубокой диспропорцией в мировой системе добычи, распределения и потребления энергии. Действительно, валовое производство первичных энергоресурсов с начала XX в. до настоящего времени возросло более чем в 10 раз, достигнув примерно 10 млрд т условного топлива в год, а до конца XX в. превысит примерно в 1,5 раза суммарное производство первичных видов топлива и энергии за весь период развития энергетики.

Таким образом, анализ ситуации в энергетике приводит к очевидному выводу, что без значительного изменения всей структуры топливно-энергетического комплекса, без включения в баланс новых первичных источников энергии и тем самым соответствующего перераспределения традиционных источников энергии, без экономного ее использования уже в 90-х годах нынешнего столетия возникло бы несоответствие между всевозрастающими потребностями в энергии и возможностями ее удовлетворения. В связи с этим особенно большое значение имеют исследования в различных областях развития топливно-энергетического комплекса.

Немаловажны проблемы воздействия топливно-энергетического комплекса на окружающую среду. По мере увеличения производства энергии в мире острота экологических проблем будет возрастать. Это заставляет уже сейчас думать о целесообразности широкого ис-

пользования возобновляемых источников энергии.

Книга, предлагаемая читателю, в популярной форме рассказывает о потребности человечества в энергии, об основных энергетических источниках. Кратко обсуждается развитие традиционной энергетики за последние 100 лет и ее перспективы. Основное внимание уделено анализу перспектив использования новых возобновляемых источников энергии. Разумеется, авторы в рамках небольшой популярной книги не могут осветить весь круг многообразных и сложных проблем энергетики или даже ее малой части, касающейся возобновляемых источников энергии. Однако им удалось дать читателю наглядное представление о состоянии дел в этой новой области энергетики. Используя свой опыт работы по организации международного сотрудничества в области энергетики, они раскрыли содержание международных проектов по этим вопросам.

Хочется выразить надежду, что настоящая книга поможет широкому кругу читателей ориентироваться в современных проблемах использования новых возобновляемых источников энергии.

Академик А. Е. Шейндлин

Прошлое и настоящее энергетики

Многие тысячелетия человек довольствовался весьма скромным источником энергии — собственной мускульной силой, расходуя примерно 2 тыс. ккал/сут. Затем на помощь пришли крупные животные, несколько облегчившие труд человека. По мере развития цивилизации потребность в энергии, и особенно механической, возрастала. Начали создаваться простейшие устройства, способные использовать естественные источники механической энергии, такие, как ветер, небольшие реки и ручьи. Однако еще в XVII в. домашние животные давали больше механической энергии. В XVIII в. человеческая мысль шагнула вперед — реки стали перегораживать плотинами и над кораблями поднялись паруса.

Новой вехой стало освоение тепла сжигаемых природных топлив для обогрева, приготовления пищи, обжига гончарных изделий, выплавки руды.

Следующий этап — использование тепла, выделяющегося при сжигании топлива в паросиловых установках. Это обеспечивало крупномасштабное по тем временам производство механической энергии в любом месте, куда можно было подвезти топливо (до этого фабрики и заводы строили рядом с плотинами). Именно создание паросиловых установок и других тепловых двигателей гарантировало успех промышленной революции XVIII в. Появление легкого и компактного двигателя внутреннего сгорания позволило сконструировать тракторы, комбайны, автомобили, самолеты.

Открытие электричества в XIX в. значительно увеличило энерговооруженность человечества. Теперь каждое здание фабрики имело свою котельную и паровую машину. Электрическая энергия, легко передаваемая по проводам и трансформируемая в любой другой вид энергии, сделала возможным переход к индивидуальному приводу каждого станка от своего мотора. Источник энергии мог находиться сколь угодно далеко от места потребления. К концу первой четверти XX в. появи-

ल्प системы централизованного энергоснабжения. Электроэнергетика все шире использовалась в быту, промышленности, сельском хозяйстве.

Поиск новых форм энергии всегда был и остается одной из важнейших задач человечества. Энергии никогда не было в избытке. Ведь получать устойчивые урожаи, строить заводы, благоустраивать деревни и города, осваивать космос — все это требует энергии. Современный, как говорят «технологический», человек расходует 250 тыс. ккал/сут. В XX в. на службу человечеству была поставлена мощная энергия атомного ядра, высвобождающаяся в ходе ценных реакций деления тяжелых элементов, таких, как уран и плутоний. Осваивается энергия, выделяющаяся в ходе реакций синтеза легких ядер при очень высоких температурах, — термоядерная. Например, реакция синтеза гелия из водорода, по современным представлениям, происходит внутри Солнца при температуре около 20 млн °С.

К мощным источникам энергии относится и процесс аннигиляции вещества и антивещества, в ходе которого выделяется максимально возможное количество энергии. Астрофизики полагают, что именно аннигиляция обеспечивает гигантскую энергию сравнительно недавно открытых квазизвездных объектов — квазаров. Представить себе мощность ядерной энергии и процесса аннигиляции поможет следующий пример.

Известно, что 1 г дерева при сгорании дает энергию, в принципе достаточную для того, чтобы обыкновенная электрическая лампочка мощностью 100 Вт горела в течение 1 мин. На работу двух таких лампочек уйдет 1 г угля. Сгорая в атомном реакторе на медленных нейтронах, 1 г урана дает примерно в 10 млн раз больше энергии. Этой энергии хватило бы, чтобы осветить в течение 1 ч 20 тыс. квартир, т. е. небольшой город. Совершенно новые возможности открываются с созданием ядерных реакторов на быстрых нейтронах, а также с осуществлением управляемой термоядерной реакции.

В процессе термоядерной реакции 1 г дейтерия (тяжелый изотоп водорода) способен выделить энергию, которой хватило бы для освещения всех квартир крупного современного города почти в течение 1 ч. Поистине фантастические перспективы производства энергии открывает процесс аннигиляции: 1 г вещества и антивещества выделяет 3 тыс. т (тонна условного топли-

ва¹). Этого количества энергии достаточно, чтобы осветить квартиры многих миллионов жителей.

Термоядерная энергетика дает ключ к решению проблемы обеспечения человечества практически неисчерпаемым источником энергии. Ведь термоядерным топливом может быть вода, как пресная, так и соленая! Из 1 л воды, точнее, из тяжелого водорода, который в ней содержится, выделяется столько же энергии, сколько из 300 л бензина.

Потребление энергии

В мире много расходуется энергии. Потребление ее на душу населения в 1950 г. выросло по сравнению с началом века в 2 раза. Следующее удвоение произошло уже к 1975 г. При этом суммарное энергопотребление удваивалось каждые 20 лет, а потребление нефти и электроэнергии — за 10—12 лет. Такой рост объяснялся резким увеличением численности населения земного шара — почти на 75%. (По некоторым оптимистическим оценкам, при таких темпах уже через 100 лет энергопотребление возрастет в 150 раз.) Свыше 90% суммарного потребления энергоресурсов приходилось на невозобновляемое ископаемое органическое топливо (нефть, газ, уголь) и лишь 10—15% — на возобновляемые ресурсы — гидроэнергию. Другой возобновляемый энергоресурс — биомасса (дрова, отходы сельского хозяйства и т. п.) сохранила преобладающую роль только в энергетике ряда развивающихся стран.

Если существующие темпы роста потребления топлива сохранятся, то к XXII столетию окажутся полностью израсходованными не только разведанные запасы всех ископаемых органических топлив, но и прогнозные ресурсы, хотя последние и оцениваются значительной величиной — 10—15 трлн тун.

До середины 70-х годов быстрое развитие мировой энергетики было обусловлено дешевизной и несложной техникой добычи ископаемого органического топлива, в первую очередь нефти. Важную роль сыграло открытие новых громадных ее месторождений в районе Персидского залива. Они отличаются очень благоприятными условиями залегания: одна скважина может дать до

¹ За условное принимается топливо, дающее при полном сгорании 7000 ккал/кг, что примерно соответствует очень хорошему каменному углю — антрациту.

500—1000 т/сут нефти (отсюда и исключительно низкая стоимость добычи).

Транспортировка нефти как в танкерах, так и по трубопроводам стоит сравнительно недорого. Поэтому нефть, добываемая даже далеко от потребителя, обходилась дешево в любой точке земного шара. В этих условиях добыча нефти начала стремительно расти, удваиваясь каждое десятилетие, и нефть, а позднее и природный газ стали вытеснять с мирового рынка все остальные виды топлива. К 1970 г. доля нефти и газа достигла 60% мирового потребления топлива, а доля угля с 50% в 1950 г. упала до 25%.

При этом было выгодно вести неглубокую переработку нефти, получая из нее только наиболее легкие фракции для моторного топлива (бензин, дизельное топливо) и нефтехимического сырья, а остающийся мазут использовать как котельно-печное топливо. Дешевизна делала нерентабельными мероприятия и по экономному его потреблению. Например, предпочитали строить дома облегченного типа и расходовать больше топлива на отопление, нежели применять более совершенную теплоизоляцию зданий.

В начале 1970-х годов специалисты показали, что запасы органического топлива, и особенно нефти и газа конечны. Стало ясно, что надо экономить нефть, шире использовать газ, а также решать проблему переработки угля в жидкое и газообразное топливо.

Газ в перспективе может использоваться и в качестве добавок к бензину для частичной замены нефтепродуктов. Газоконденсатные месторождения содержат не только конденсат — природный бензин, но и этан — основу производства полиэтилена, и пропан-бутановую фракцию, которая при умеренном давлении остается жидкой даже при летних температурах. Баллонный сжиженный газ — идеальное топливо для мелких потребителей, не присоединенных к газовой сети. Он также может очень просто заменять бензин на автомобилях. В ряде стран уже широко используются автомашины, имеющие наряду с бензобаком сменные баллоны с жидким пропан-бутаном, причем переключение с одного топлива на другое происходит быстро. К сожалению, ресурсы пропан-бутана ограничены, а основная часть газа — метан при атмосферном давлении переходит в жидкое состояние только при -165°C . Пока метан используют на грузовых автомобилях в

виде газа, сжатого до 200 ат. Однако тяжелые баллоны высокого давления отнимают заметную часть полезной грузоподъемности машин; кроме того, для их перезарядки нужна сеть дорогих заправочных станций.

Значительно труднее заменять жидкие топлива углем у мелких, особенно подвижных автономных потребителей. Делались попытки перевести автомобили на водородное топливо. Однако исследования и разработки последних лет показали, что здесь трудностей еще больше. Работать над этим продолжают, но в ближайшей перспективе массовая замена нефтепродуктов на автотранспорте вряд ли окажется целесообразной.

По-видимому, более перспективен другой, технически давно опробованный путь — превращение угля в жидкое топливо. В середине 70-х годов широко развернулись исследования, направленные на удешевление производства синтетического жидкого топлива из угля. Были достигнуты некоторые успехи, и ожидалось, что при удвоении современных цен на нефть производство синтетического жидкого топлива даже из относительно дорогих углей станет рентабельным. Сейчас цены на нефть несколько снизились. Специалисты утверждают, что в связи с медленным ростом спроса на нефть и успехами в замене нефтепродуктов ядерным топливом, углем и газом цена на нефть в 2000 г. вряд ли превысит современную более чем в 1,5 раза. А при этих условиях в ближайшие годы рентабельным будет производство синтетических жидких топлив только из дешевых углей.

Атомная энергетика

В условиях дороговизны нефти и относительной стабильности стоимости ядерной энергии возрастающую роль начинает играть атомная энергетика. Со времени пуска первой в мире АЭС Советский Союз осуществляет планомерное развитие ядерной энергетики. Создается атомное энергетическое машиностроение, строятся предприятия по добыче урана и производству ядерного горючего.

В нашей стране ведутся работы по использованию ядерной энергии не только для производства электроэнергии, но и в других сферах народного хозяйства: в первую очередь для отопления городов, создания атомных электростанций (АТЭЦ), на которых тепло будет вырабатываться с электроэнергией, и атомных

станций теплоснабжения (АСТ), обеспечивающих потребителя только низкотемпературным теплом. В дальнейшем ядерная энергетика может стать поставщиком энергии также в черной металлургии, химии, в производстве синтетического топлива и других отраслях народного хозяйства.

Современное развитие ядерной энергетики в СССР основано на строительстве и эксплуатации главным образом реакторов на тепловых нейтронах. Советский Союз считается пионером в разработке и строительстве таких реакторов. В 1969 г. в городе Дмитровграде была пущена первая опытная АЭС с реактором на быстрых нейтронах БН-60 мощностью 12 МВт. В 1973 г. в городе Шевченко на берегу Каспийского моря сдана в эксплуатацию опытно-промышленная АЭС с реактором БН-350. Станция мощностью 150 МВт вырабатывает электроэнергию и производит пар для установок, опресняющих 120 т/сут морской воды. В 1980 г. на Белоярской АЭС начал действовать крупнейший промышленный реактор на быстрых нейтронах БН-600 электрической мощностью 600 МВт.

По данным Международного агентства по атомной энергии, к 1984 г. в мире эксплуатировалось 317 ядерных энергетических реакторов общей электрической мощностью 191 ГВт. В 1983 г. на АЭС было выработано 1000 ТВт·ч, что составило 12% всей электроэнергии, произведенной в мире.

Экономия энергии

Решению многих энергетических проблем способствует проведение активной энергосберегающей политики во всех отраслях народного хозяйства. Это направление обуславливается в первую очередь экономическими факторами. Специалисты считают, что капитальные затраты на мероприятия по экономии топлива и энергии в потребляющих отраслях народного хозяйства примерно в 2—3 раза меньше по сравнению с капитальными затратами, необходимыми для выработки эквивалентного дополнительного количества энергии.

В СССР энергосберегающая политика осуществляется на основе долгосрочной Энергетической программы. Экономия топливно-энергетических ресурсов особенно важна в отраслях, которые являются наиболее крупными потребителями энергоресурсов. Например, про-

мышленность, включая энергетику, расходует до 65% всех используемых энергоресурсов. Около 47% всех топливно-энергетических ресурсов в промышленности приходится на три ее энергоемкие отрасли: металлургическую, химическую и алюминиевую. Жилищно-коммунальный сектор расходует около 19% потребления энергоресурсов страны. Из общего объема потребления топливно-энергетических ресурсов в этом секторе около 70% идет на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий, примерно 17% расходуется в виде электроэнергии на широко развитый в СССР городской транспорт, подачу воды и на наружное и внутреннее освещение. Железнодорожный, автомобильный и водный транспорт потребляет до 13% всех топливно-энергетических ресурсов, сельское хозяйство — 5—6% и строительство — 2—3%.

О возможностях экономии топливно-энергетических ресурсов свидетельствует также теплофикация — комбинированное производство электрической и тепловой энергии. Теплофикация существенно экономнее раздельного метода теплоснабжения, когда электрическая энергия вырабатывается на конденсационных тепловых электростанциях, а тепло — в котельных. Теплофикация, являясь одним из основных способов удовлетворения непрерывно возрастающих тепловых нагрузок промышленности и жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивает существенную экономию топливно-энергетических ресурсов, материальных и трудовых затрат в системах теплоснабжения. В СССР работает более 1000 теплоэлектроцентралей, снабжающих теплом свыше 800 городов и промышленных районов.

Экономические преимущества комбинированного производства электрической и тепловой энергии состоят в том, что часть энергии пара, проходящего через турбину, отбирается для подогрева воды, идущей на теплоснабжение. При этом эффективность процесса использования энергии на конденсационных электростанциях повышается с 38—40 до 60—70% за счет сокращения примерно в 2 раза потерь теплоты с охлаждающей водой, проходящей через конденсатор.

Теплофикация наряду с экономией топлива позволяет путем централизации производства тепла обеспечить высокую очистку продуктов сгорания от вредных примесей, сохранить чистым воздух, уменьшить тепловое загрязнение водоемов.

Высокий экономический эффект дает использование вторичных ресурсов — низкопотенциального тепла с температурой 100 °С и ниже (вентиляционные выбросы, сточные воды и сбросы промышленных предприятий, городов, тепловых электростанций и пр.). Резервы низкопотенциального тепла в нашей стране, по оценкам специалистов, составляют несколько десятков миллионов тонн условного топлива. Его можно использовать для обогрева новых типов теплиц с усиленной системой подпочвенного и надпочвенного обогрева, а также для выращивания шампиньонов.

Экономическая выгода от теплиц новых типов по сравнению с традиционными достигается за счет снижения капитальных затрат и уменьшения эксплуатационных расходов на их обогрев. В теплицах традиционных конструкций на сооружение трубопроводной системы обогрева и котельной уходит 40% затрат на строительство тепличных комбинатов, а все расходы на обогрев составляют 50% себестоимости тепличной продукции. Сбросные теплые воды тепловых электростанций используются для разведения в прудах-охладителях рыбы, особенно быстро растущего карпа; успешно разводят и такие ценные породы рыб, как стерлядь, форель.

Многие эксперты считают, что использование невозобновляемых источников энергии ограничено экологически. Предел производства, как известно, связан не только с загрязнением окружающей среды твердыми частицами. Перегрев поверхности Земли и атмосферы в результате выделения тепла в процессе потребления и производства энергии, в ядерных и термоядерных реакторах, при сжигании углеводородных топлив — важный лимитирующий фактор. Любой вид используемой нами энергии, будь то механическая или электрическая, в конце концов переходит в тепло. Это тепло является дополнительным источником нагрева поверхности Земли и атмосферы и в принципе может вызвать локальные и даже глобальные нарушения естественного теплового равновесия, изменение климата. Все зависит от количества вырабатываемой и потребляемой энергии, ее доли в балансе естественных потоков энергии через атмосферу. По оценкам некоторых специалистов, максимальное количество энергии, которое можно произвести на Земле, не вызывая катастрофических изменений климата, равно примерно 70 трлн тут/год. На сегодня это мно-

го больше производимой в мире энергии. Непосредственной опасности глобального изменения климата, по-видимому, пока нет, но локальные нарушения, особенно вблизи крупнейших центров энергопроизводства и потребления, уже возможны.

Дальнейшее развитие мировой энергетики связано с более разумным и бережным расходованием энергии. Ряд специалистов считают первоочередной задачей освоение новых экологически чистых, возобновляемых источников энергии, и в первую очередь солнечной. Согласно другой точке зрения пройдет немало лет, прежде чем новые источники, в частности солнечная энергия, смогут в значительной мере удовлетворить энергетические нужды человечества. Достаточно вспомнить, что для перехода от одного вида топлива к другому — от дерева к углю, от угля к нефти, от нефти к газу — требовалось не менее 60 лет. Полагают, что это может служить ориентиром при оценке времени внедрения новых источников энергии, конечно, с поправками на ускорение научно-технического прогресса.

Вот почему в ближайшие десятилетия энергетике еще не придется сбрасывать со счетов дерево, уголь, нефть, газ и одновременно вести работу по поиску и внедрению новых методов производства энергии. Привлекательность идеи нового метода, кажущаяся простота и безграничность источника (например, солнечной энергии) создают иллюзию возможности немедленного широкого ее использования. Однако история внедрения атомной энергии с момента первых опытных экспериментов насчитывает 35 лет, а ее удельный вес в масштабе всего мира до сих пор составляет менее 1%.

Сегодня не вызывает сомнений, что будущее энергетики за практически неисчерпаемыми и возобновляемыми источниками, такими, как термоядерная и солнечная энергия.

Солнечная и геотермальная энергия, многочисленные потенциальные источники энергии океана, энергия ветра — далеко не полный перечень того, чем человечество располагает, но пока не умеет по-настоящему пользоваться. Ресурсы возобновляемых источников огромны. Достаточно сказать, что на поверхность площадью 20 тыс. км² поступает столько солнечной энергии, что ею можно обеспечить население земного шара. В океанских волнах запасено почти в 3 раза больше энергии, чем весь мир потребляет ее в форме электричества, а сколько геотермальной и гидроэнергии!

Если абсолютная величина запасов возобновляемых источников невероятно велика, то нельзя того же сказать об их плотности. В этом, к сожалению, и состоит трудность их использования. Хорошо известно, что для энергетики огромных мощностей нужны источники с высокой плотностью потока энергии. Данным преимуществом обладают, например, ядерная и термоядерная энергия. В сравнительно небольшом по объему ядерном или термоядерном реакторе удается получить гигантские количества энергии.

Совсем иначе обстоит дело, когда нужно собрать рассеянную энергию волн или ветра, даже солнечную энергию. Расчет показывает, что с каждого квадратного метра поверхности Земли можно снять в среднем не более 160 Вт солнечной энергии. Ни один из существующих методов преобразования солнечной энергии пока не в состоянии сделать это экономически целесообразным для крупномасштабного производства энергии. В то же время использование возобновляемых источников для удовлетворения нужд мелкого, особенно изолированного от сети распределения, потребителя становится рентабельным.

Использование солнечной энергии

Солнце — неисчерпаемый источник энергии

Солнце — самая близкая звезда к Земле — является родоначальником практически всех горючих ископаемых нашей планеты, а также первоисточником новых и возобновляемых видов энергии.

Солнечная энергия аккумулируется растениями в процессе фотосинтеза, в результате которого содержащийся в воздухе углекислый газ и солнечный свет участвуют в образовании углеводов. Все виды горючего топлива (уголь, нефть, природный газ, горючие сланцы, торф), а также древесина, сельскохозяйственные продукты являются производными этого феноменального механизма.

Недра Солнца обладают температурой, достаточной для постоянного синтеза водорода в гелий, т. е. для термоядерной реакции, которая и является источником колоссальных энергетических потоков, выпускаемых Солнцем в виде электромагнитного излучения. Если исследо-

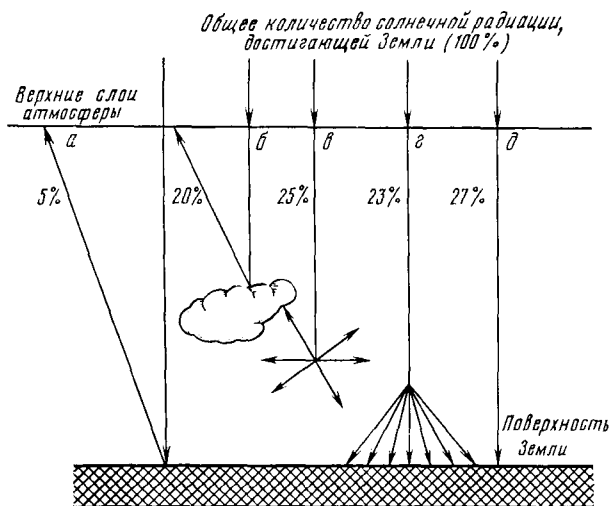
вать спектр электромагнитного излучения Солнца, то окажется, что примерно 7% общей солнечной радиации приходится на ультрафиолетовое излучение (длины волн до 38 мкм), 47,3% лежит в спектре видимого света (длины волн между 38 и 78 мкм) и 45,7% приходится на спектр инфракрасного и теплового излучения (длины волн до 100 мкм). Энергетическая отдача Солнца равнозначна превращению в энергию вещества массой $4,2 \cdot 10^6$ т/с, что позволит ему быть центром нашей планетарной системы еще примерно 15 трлн лет.

Электромагнитное излучение Солнца распространяется в космическом пространстве со скоростью света (300 тыс. км/с) в виде расходящихся лучей. Земля получает лишь $0,2 \cdot 10^{-9}$ излучения Солнца. Однако это количество солнечной энергии, достигающей нашей планеты за год, в 50 раз превосходит энергию, которую можно было бы извлечь из мировых разведанных запасов горючих ископаемых, и в 300 тыс. раз — ежегодное потребление энергии. Вместе с тем на поверхность Земли попадает лишь 50% этого энергетического потока, остальная часть поглощается и рассеивается атмосферой, отражается облаками и самой поверхностью (рис. 1).

Расчеты показывают, что современные мировые энергетические потребности можно было бы обеспечить за счет солнечной энергии, ежегодно получаемой площадью в 20 тыс. км², что составляет всего 0,005% земной поверхности. Если даже принять во внимание, что КПД энергетических устройств, использующих солнечное излучение, не превышает 10%, то территория, примерно равная Белоруссии, могла бы удовлетворить мировые энергетические потребности за счет падающей на нее солнечной энергии.

Однако при оценках потенциальных возможностей солнечной энергии необходимо учитывать климатические особенности рассматриваемых территорий, загрязненность атмосферы, ее влажность, т. е. факторы, которые особенно влияют на поглощение и рассеивание солнечного излучения.

В среднем годовое количество солнечной радиации, поступающей на поверхность Земли, составляет 2000—2500 кВт·ч/м² в зонах пустынь и 1000—1500 кВт·ч/м² в районах высоких широт. Кроме того, интенсивность солнечной радиации зависит от времени года и уменьшается в зимнее время по сравнению с летним периодом более чем в 2 раза в районах пустынь и примерно в



Р и с. 1. Прохождение солнечных лучей через атмосферу Земли
 а — отражение от поверхности Земли; б — отражение облаками; в — поглощение самой атмосферой; г — рассеивание атмосферой с достижением земной поверхности; д — доля излучения, достигающая поверхности Земли

10 раз в районах высоких широт. Вместе с тем необходимо отметить, что солнечная энергия распределяется на поверхности Земли гораздо равномернее, чем другие источники.

Отличительной особенностью солнечной энергии является то, что она сильно зависит от атмосферных условий, и в первую очередь от облачности. Интенсивность солнечного излучения в течение суток меняется от максимума в полдень до нуля ночью. Поэтому на энергетических системах, использующих солнечную энергию, должны устанавливаться специальные устройства, которые аккумулировали бы солнечную энергию в периоды излучения высокой интенсивности и могли бы включаться в систему в ночное время или при слишком малом солнечном излучении. По сравнению с традиционными источниками энергии солнечная энергия обладает малой плотностью. Поэтому для получения тепловых потоков, достаточных для функционирования современных энергетических систем и технологических процессов, необходимо применять солнечные концентраторы. В современных солнечных установках с концентратора-

ми достигнута температура выше 3000 К, позволяющие использовать энергию Солнца для таких высокотемпературных процессов, как плавка металлов.

Применение солнечной энергии

С давних времен солнечная энергия использовалась людьми для сушки сельскохозяйственных продуктов, обогрева теплиц, вентиляции жилищ в зонах жаркого сухого климата. В настоящее время некоторые способы применения солнечной энергии достигли уже высокого технологического совершенства и эффективности и широко практикуются во многих странах с различными климатическими условиями. В целом способы утилизации солнечной энергии делятся на две основные группы: прямое использование солнечной радиации и косвенное, через ее вторичные проявления, в виде энергии ветра, тепловой энергии океана, энергетических запасов биомассы растений, гидроэнергии и т. д.

Прямое использование солнечной энергии, в свою очередь, можно подразделить на тепловое, фото- и термоэлектрическое превращение солнечной радиации, т. е. получение тепловой или электрической энергии при воздействии солнечной радиации на различного рода специальные устройства, известные под названием гелиоприемников или коллекторов.

Солнечные тепловые системы бывают пассивными и активными. Пассивные системы — это, как правило, неподвижные устройства, ориентированные под определенным углом к горизонту на юг. Ими могут быть стены или крыши домов, сельскохозяйственных помещений. Специальным образом окрашенные и остекленные, они позволяют получать за счет солнечной радиации низкотемпературное тепло, используемое для обогрева и вентиляции помещений, для подогрева воды.

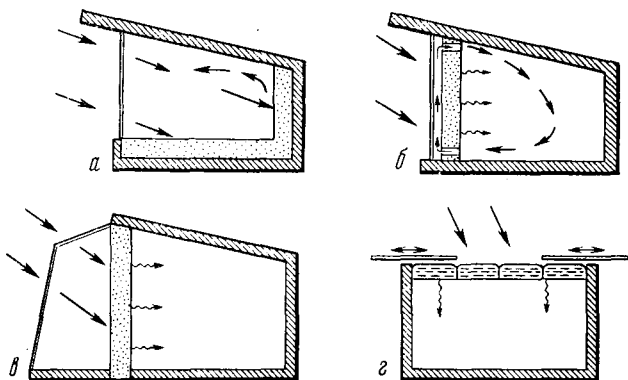
Большими возможностями обладают активные тепловые солнечные системы, которые обеспечивают получение низко- и высокотемпературного тепла. В них применяются коллекторы для сбора солнечной радиации и подогрева до определенной температуры различных теплоносителей, прокачиваемых через эти устройства с помощью насосов или других устройств. Во многих случаях такие солнечные установки снабжаются особыми приспособлениями, позволяющими коллекторам «следить» за положением солнца, а следовательно, находить-

ся в течение всего дня под постоянным воздействием солнечной радиации. Эти системы называются «следающими». На них достигаются температуры от 100° С до нескольких тысяч. Активные тепловые солнечные системы находят более широкое применение, чем пассивные. Они используются для обогрева и вентиляции различного рода помещений, включая жилые, для приготовления пищи, нагрева воды для бытовых и производственных нужд, для очистки и опреснения воды, для сушки сельскохозяйственных продуктов и древесины, для производства электричества и механической энергии. Безусловно, не все установки такого класса способны выполнять вышеперечисленный круг «обязанностей». В большинстве случаев каждая система может осуществлять одну или две функции, например служить для обогрева помещения и нагрева воды. Практически все типы солнечных тепловых устройств стационарны.

Фото- и термоэлектрическое превращение солнечной энергии относится по своей физической природе к категории устройств, осуществляющих прямую трансформацию солнечной радиации в электричество без промежуточных стадий. Данные системы, в свою очередь, подразделяются на наземные и космические. Наземные системы могут также снабжаться «следающими» устройствами, значительно повышающими эффективность фото- и термоэлектрических устройств. Солнечные фотоэлектрические преобразователи — главные источники энергии на космических аппаратах. Некоторые специалисты предсказывают в будущем создание крупных космических фотоэлектрических станций, с которых передача энергии на Землю будет осуществляться при помощи коротковолнового электромагнитного излучения.

Пассивные солнечные системы применяются в течение многих лет. Остекленные теплицы и террасы домов, как правило обращенные на юг, являются простейшим способом улавливания и использования лучистой энергии Солнца и классическим примером таких систем. Они и в настоящее время наиболее распространены. На них базируется такое важное направление в энергетике и строительстве, как «солнечная архитектура».

В основе работы пассивных устройств лежит принцип сбора солнечной энергии на зачерненных поверхностях, их разогрев и последующая передача тепла за счет теплопроводности и свободной конвекции обогреваемому пространству или теплоносителю. Самая простейшая из



Р и с. 2. Пассивные солнечные системы

таких систем — ориентированное на юг окно (рис. 2, а). Солнечные лучи, проникающие через окно, разогревают воздух, находящийся в помещении, а также стены. Практически эта система не нуждается в каких-либо сложных инженерных устройствах. Окно должно быть лишь правильно ориентировано и соблюдены его размеры. Опыт, накопленный при использовании данного метода обогрева помещений, показывает, что при выполнении этих условий, по существу, без дополнительных затрат можно добиться повышения температуры воздуха в помещении на 10° в весенне-осенний период и на $5-8^{\circ}$ в зимнее время.

Более сложной представляется система (рис. 2, б) с аккумулялирующей зачерненной стеной, которая разогревается за счет поглощения солнечных лучей, а затем передает тепло обогреваемому помещению. Чтобы сократить потери тепла, стену обычно остекляют (получается изолятор вместе с воздушной прослойкой). Данная схема имеет существенное преимущество перед предыдущей, так как обладает простейшим аккумулятором, который может отдавать тепло окружающему пространству после захода солнца.

Практически аналогично строение системы, изображенной на рис. 2, в. Только здесь увеличено остекление, что позволяет расширить продолжительность воздействия солнечного излучения на аккумулялирующую стену. Эта схема нашла широкое применение в солнечных теплицах.

Несколько отличается от предыдущих схема с так называемой аккумулирующей крышей. Она применяется как для обогрева помещений, так и для их охлаждения (рис. 2, з).

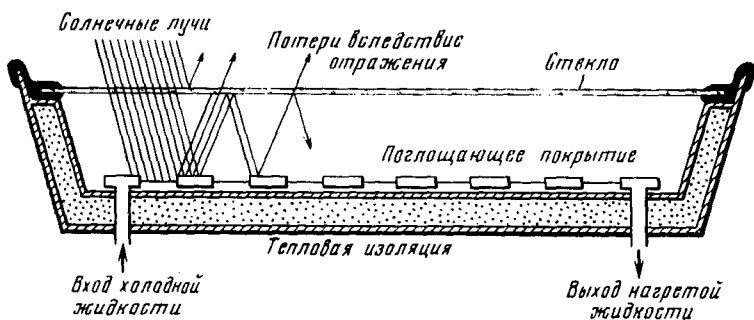
Обычно такие крыши снабжаются жалюзи и закрытыми резервуарами (баллонами) с водой, которые выполняют роль тепловых аккумуляторов. В прохладное время года днем жалюзи крыши остаются открытыми и за счет солнечной радиации баллоны с водой нагреваются. Ночью тепло от баллонов передается помещению, жалюзи закрываются.

В жаркие же периоды ночью крыша раздвигается и водяные резервуары охлаждаются за счет излучения в ночное небо. Днем жалюзи крыши задвигаются, начинается отбор тепла из помещения охлажденной за ночь водой. Применение такой схемы особенно перспективно в районах с жарким и сухим климатом.

Описанные выше схемы являются основными для «солнечной архитектуры». С учетом сезонности и зависимости интенсивности солнечного излучения от климатических условий здания, использующие солнечные установки, обычно снабжаются традиционными отопительными системами, которые включаются в периоды, когда интенсивность солнечной радиации недостаточна, или ночью. В настоящее время паходят применение «солнечные дома» с тепловыми аккумуляторами.

Роль «солнечной архитектуры» особенно возросла в последние годы, когда стоимость эксплуатации обычных отопительных систем, использующих электричество, газ, нефтяные продукты или даже уголь и дрова, увеличилась в несколько раз. Опыт показывает, что пассивные солнечные системы позволяют обеспечить от 30 до 60% тепла, требуемого для обогрева помещений. Вместе с тем необходимо отметить, что эффективность данных систем в большой степени зависит от качества проектирования, методов строительства и теплофизических качеств строительных материалов, а также от наличия и качества аккумулирующих элементов.

В «солнечной архитектуре» часто встречаются более сложные по своему устройству солнечные коллекторы, которые для сбора солнечного тепла используют различные теплоносители. Такого типа системы относятся к классу тепловых стационарных устройств. Коллекторы являются основным элементом активных тепловых солнечных систем. Плоские коллекторы, имеющие в своем



Р и с. 3. Плоский солнечный коллектор

составе трубчатые или плоские теплообменники, в которых теплоноситель нагревается за счет поглощения зачерпненными поверхностями теплообменника тепловой солнечной энергии, получили широкое распространение. Принципиальная схема плоского коллектора дана на рис. 3. Обычно коллекторы делают неподвижными, ориентируя их на юг, и наклоняют под некоторым углом к горизонту. В ряде случаев коллекторы оснащают простейшими приспособлениями для изменения угла наклона в зависимости от времени года.

Эффективность системы зависит и от качества ее зачернения. В настоящее время существуют специальные покрытия, эффективно поглощающие солнечное излучение и позволяющие подогреть теплоноситель до 100°C . Благодаря вакуумной изоляции в подобных системах достигается температура выше 150°C .

К основным элементам солнечных коллекторов относится стеклянная изоляция. Она значительно уменьшает тепловые потери, которые обычно возникают у нагретых поверхностей за счет свободной конвекции, теплопроводности воздуха и излучения в инфракрасном диапазоне. Но пожалуй, самый важный компонент системы — теплоноситель. Различают коллекторы с естественной и принудительной (с помощью насосов) его циркуляцией. В настоящее время широкое применение находят солнечные установки не только с водой, но и с воздухом, а также с низкокипящими жидкостями типа аммония (NH_3). Исследования и практика показывают достаточно высокую их эффективность.

Наиболее распространенными системами данного типа являются водяные коллекторы, которые успешно

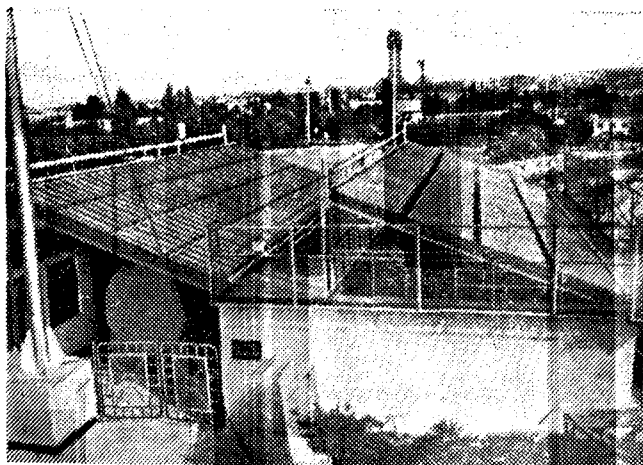
используются в районах с жарким климатом для нагрева воды до $40-80^{\circ}\text{C}$. Вода с такой температурой может употребляться в санитарных целях, для обогрева помещений, а также после дополнительного подогрева для приготовления пищи. Например, коллектор площадью $1,5\text{ м}^2$ способен нагреть за 5–6 ч около 100 л воды до 70°C , т. е. один такой коллектор может обеспечить небольшую семью горячей водой в течение одного дня.

Водяные солнечные коллекторы устанавливаются в гостиницах, пансионатах, домах отдыха, детских учреждениях и в спортивных комплексах. В нашей стране они начали применяться в республиках Средней Азии, на Кавказе, в Крыму. Одной из первых была оборудована водонагревательной солнечной системой гостиница «Спортивная» в Симферополе. Рядом с гостиницей установлено на специальной форме 320 солнечных коллекторов общей площадью 200 м^2 (рис. 4). Они снабжены водяным баком объемом 25 м^3 , который осуществляет функции аккумулятора. Система весьма эффективна. В отопительный период эта установка дает экономию до 20 тыс. м^3 природного газа, она обеспечивает 70% потребностей в горячей воде в летнее время и до 25% — за весь год.

В гостинице «Акация» на курорте «Золотые пески» в Болгарии прямо на крыше установлено 120 коллекторов площадью по $1,5\text{ м}^2$. Они позволяют нагревать в течение дня 12 м^3 воды до температуры $55-60^{\circ}\text{C}$. На другом болгарском курорте — «Албена» на крыше ресторана «Орхидея» размещено 100 водяных коллекторов. Они нагревают более 10 т воды в день до температуры 70°C . Часть воды дополнительно подогревается при помощи обычных нагревателей до 100°C и используется для приготовления пищи. Эти установки снабжены также хорошо изолированными резервуарами для сохранения горячей воды в течение 2–3 сут.

Экономичность и целесообразность применения водяных систем очевидны и доказаны практикой, и думается, что они найдут в ближайшее время самое широкое применение в различных районах нашей страны.

Использование воздуха в качестве теплоносителя вместо жидкости в солнечных коллекторах дает возможность широко применять данные системы в сушильных установках. С учетом необходимости непрерывной работы сушильных установок, особенно в период уборки урожая, они должны быть обеспечены аккумулярующими



Р и с. 4. Коллекторы водонагревательной солнечной системы гостиницы «Спортивная», город Симферополь

ми теплоустройствами. В основном применяются аккумуляторы, работающие по принципу «каменной подушки» (рис. 5). Горячий воздух, проходя через несколько слоев камней с большой теплоемкостью, разогревает их. Это, в свою очередь, позволяет использовать накопленное тепло, прогоняя через данную «каменную подушку» холодный воздух. Продолжительность эксплуатации аккумулятора данного типа зависит от его размера и теплофизических свойств «каменной подушки». Обычно благодаря подобным системам накопленное тепло сохраняется в течение нескольких суток.

Плоские солнечные коллекторы применяются в отопительных системах помещений. Наиболее распространены схемы пассивная и «солнечный дом» с так называемой активной системой. Пассивная схема работает по принципу термосифонного эффекта, когда разогретая в коллекторе жидкость, обладая меньшей плотностью, движется вверх и поступает в обогреваемое помещение. Поскольку система действует в замкнутом цикле, подогретая жидкость постоянно вытесняется более холодной, и это будет продолжаться до тех пор, пока коллектор облучается солнцем.

В схеме «солнечный дом» вода нагревается в плоских коллекторах и поступает в резервуар, окруженный «каменной подушкой». Горячая вода отдает свое тепло

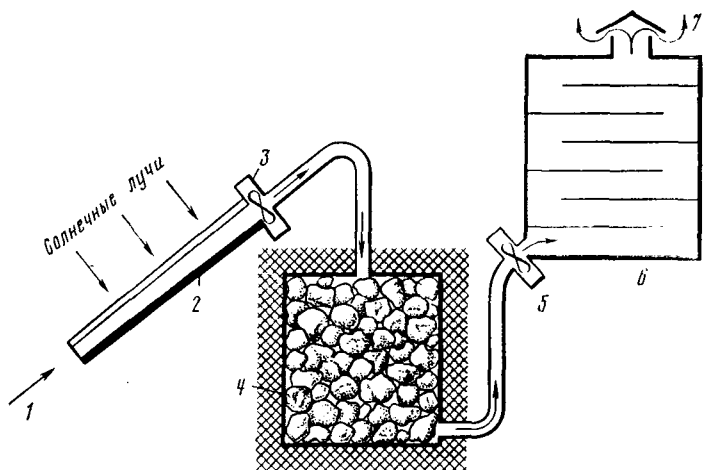
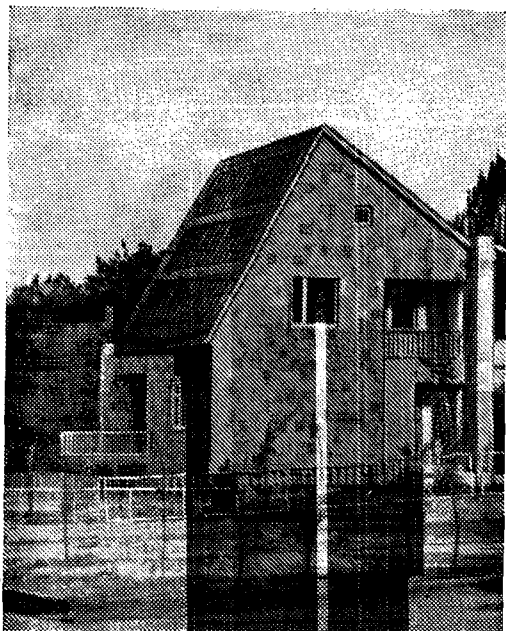


Рис. 5. Солнечная сушильная установка с тепловым аккумулятором
 1 — вход холодного воздуха; 2 — солнечный коллектор; 3 — вентилятор или компрессор; 4 — аккумулятор («каменная подушка»); 5 — вентилятор; 6 — контейнер для сушки продуктов; 7 — выход воздуха

«каменной подушке». Через нее пропускается холодный воздух, который, нагреваясь, подается в обогреваемое помещение. Как правило, и водяная и воздушная системы действуют по замкнутому циклу. «Каменная подушка» в данном случае используется как аккумулятор. Необходимо также отметить, что все солнечные отопительные системы применяются в комбинации с традиционными.

В настоящее время в СССР построено несколько десятков опытных индивидуальных жилых домов с различными системами солнечного снабжения. Распирается опытное строительство и «солнечных домов». В 1981 г. в районе Еревана был построен такой дом. За четыре года его эксплуатации ежегодно экономилось до 2,8 тун, в среднем за счет солнечной энергии было получено 52% тепла (рис. 6).

Как уже упоминалось выше, водонагревательные, отопительные и сушильные солнечные системы нуждаются в аккумуляторах. Простейшими из них являются водяные резервуары, а также «каменные подушки». Вода и камень аккумулируют энергию за счет своей теплоемкости. Сравнительно низкая теплоемкость этих материалов не позволяет сделать аккумуляторы ком-



Р и с. 6. «Солнечный дом», пригород Еревана

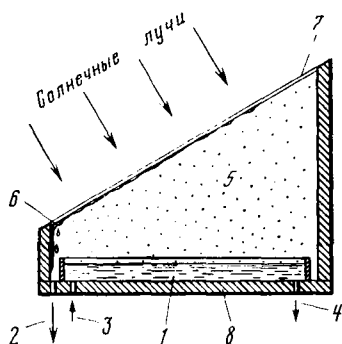
пактными, что и ограничивает их применение. Вместе с тем благодаря дешевизне и достаточной простоте водяные и каменные аккумуляторы весьма перспективны в солнечной энергетике.

Аккумуляция тепла при фазовых переходах, например поглощение его при плавлении материалов, дает возможность создать более компактные и эффективные устройства для накопления и хранения тепла. В качестве недорогих материалов могут быть использованы гидраты солей. Применение такого рода аккумулирующих агентов обеспечивает сокращение размеров самого аккумулятора более чем в 5–10 раз по сравнению с водяными и каменными.

Солнечные дистилляторы

Производство питьевой воды — большая проблема. Во многих районах земного шара применение в этих целях солнечной энергии особенно перспективно.

Простейшей дистилляционной, или опреснительной, системой является резервуар с водой, имеющий наклонную стеклянную крышу (рис. 7). Резервуар выполнен в виде теплоизолированного и зачерченного изнутри сосуда, дно которого заливается соленой водой или водой, требующей очистки. Солнечные лучи, проходя через стеклянную поверхность, поглощаются зачерченными стенками. В результате происходит нагрев воды и ее



Р и с. 7. Солнечный дистиллятор

- 1 — вода;
- 2 — выход очищенной воды;
- 3 — вход очищаемой воды;
- 4 — выпуск воды с повышенным содержанием соли или примесей;
- 5 — пар;
- 6 — пленка конденсата;
- 7 — стеклянная крыша;
- 8 — тепловая изоляция

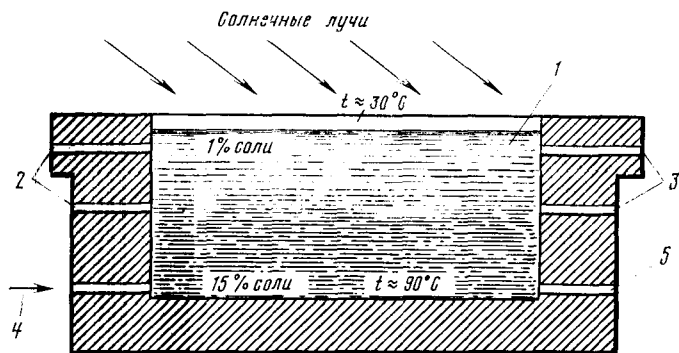
испарение. Водяные пары конденсируются на прозрачной крыше резервуара, имеющей температуру, близкую к температуре наружной среды, и пресная вода стекает по наклонным поверхностям в сборник. Солнечные дистилляторы обычно ориентируются на юг, а угол наклона прозрачной крыши выбирается с учетом высоты положения солнца над горизонтом и условий безотрывного стекания пленки конденсатора на наклонной поверхности в сборник. Производительность таких систем определяется в основном интенсивностью солнечного излучения, а также поглощающей способностью черного покрытия и степенью герметизации всей системы. Обычная производительность таких опреснителей составляет 3—5 л/м²·сут.

Солнечные дистилляторы широко применяются в районах, где особенно ощущается дефицит в пресной воде при достаточных запасах засоленных вод. Это пустыни и полупустыни, а также морские побережья. При опреснении соленой воды в таких системах имеется еще один дополнительный продукт — соль, которая может использоваться для различных целей. Солнечные дистилляторы применяют и для очистки промышленных вод, имеющих в своем составе примеси, трудно извлекаемые обычными способами.

Необходимо, однако, отметить, что, несмотря на техническую простоту данных систем, стоимость 1 л очищенной воды в настоящее время примерно в 5 раз выше стоимости 1 л воды, полученной в обычных установках по производству дистиллированной воды. Вместе с тем установка солнечных дистилляторов в отдаленных районах, в которых транспортные расходы по доставке питьевой воды достаточно высоки, экономически обоснована.

«Солнечные пруды»

Одним из самых нетрадиционных и экзотических способов использования солнечной энергии является ее аккумулирование в искусственных или естественных водоемах с соленой водой, которые могут рассматриваться как водяные солнечные коллекторы. Эти коллекторы получили название «солнечные пруды», очевидно, потому,



Р и с. 8. «Солнечный пруд»

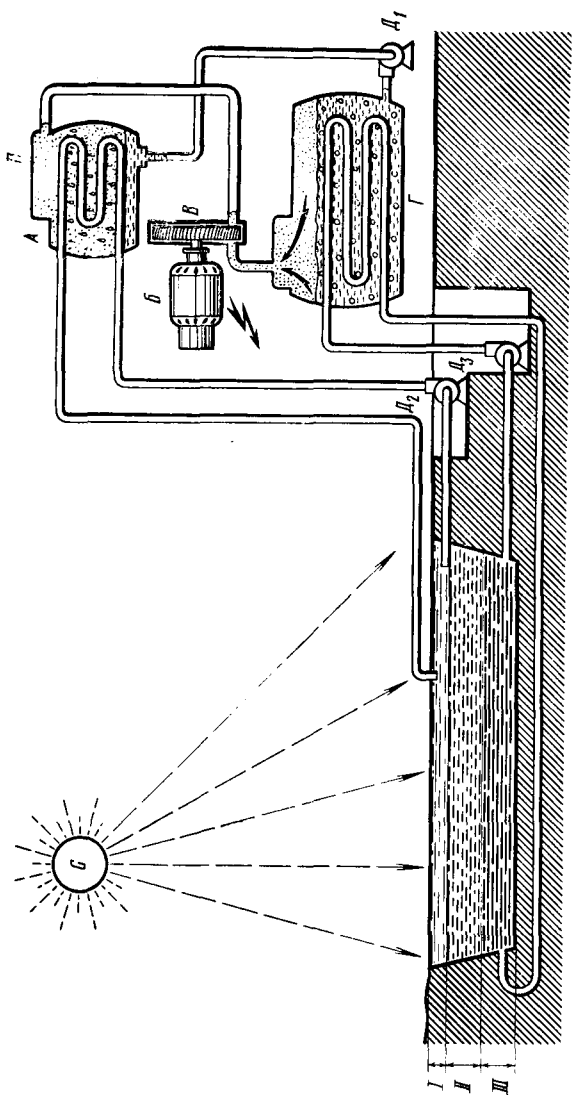
1 — вода; 2 — вход воды с пониженной концентрацией соли; 3 — выход воды из слоев с пониженной концентрацией соли; 4 — вход воды с повышенной концентрацией соли; 5 — выход горячей воды

что работы по исследованию данной системы впервые проводились на небольших соляных озерах. Каков же принцип действия «солнечных прудов»? Основное условие функционирования подобных систем — наличие градиента концентрации соли по толще воды. Обычно глубина водоемов не должна превышать нескольких метров. В искусственных водоемах концентрация соли в различных слоях воды регулируется путем введения солевых растворов различной концентрации на различ-

ные глубины так, чтобы нижние слои воды обладали максимальным ее содержанием (рис. 8). Если данный водоем находится под воздействием солнечного излучения, его вода прогревается по всей толще, но в разной степени. Верхние слои прогреваются до меньшей температуры, поскольку они находятся в прямом контакте с воздухом, а так как в верхних слоях воды наблюдается повышенная конвекция, это приводит к дополнительной теплоотдаче. Солнечные лучи проникают на дно и нагревают воду нижних слоев. Любые же конвективные потери сокращаются благодаря наличию градиента плотности. Поэтому нижние слои воды могут прогреваться значительно сильнее, чем верхние.

Этот эффект позволяет получить в нижних слоях воду с температурой, близкой к 100°C , тогда как в верхних слоях температура будет не выше температуры окружающего воздуха. Подсчитано, что водоем площадью 1 км^2 может дать около 60 м^3 воды с температурой до 96°C . Наряду с искусственными «солнечными прудами» существуют и естественные соляные озера или водоемы с подсоленной водой, в которых наблюдается точно такой же эффект. Например, в озере Балатон в Венгрии, в котором концентрация солей увеличивается ко дну и которое не является глубоким, придонные слои бывают очень теплыми. «Солнечные пруды» относятся к классу активных солнечных систем.

Существуют проекты больших энергетических установок по производству электроэнергии на базе «солнечных прудов». В такой установке (рис. 9) горячая вода из слоя *III* поступает в теплообменник-испаритель при помощи насоса *D*₃ и возвращается снова в свой слой. В парогенераторе *Г* образуется низкотемпературный пар из низкокипящей органической жидкости, который затем поступает в турбину *В*. Она, в свою очередь, приводит в движение электрический генератор *Б*. После турбины пар направляется в конденсатор *А*, куда также идет холодная вода из слоя *I* при помощи насоса *D*₂. Вся схема работает в замкнутом цикле, позволяя использовать многократно низкокипящую жидкость. Эффективность данной системы во многом зависит от перепада температур между слоями *I* и *III*. Несмотря на то что данная схема практически не отличается от обычных тепловых установок по производству электроэнергии, исследователи на практике сталкиваются с проблемами создания турбин, работающих при низких



Р и с. 9. Электростанция на базе «солнечного пруда»

Слой с концентрацией соли: *I* — с низкой; *II* — со средней; *III* — с высокой (горячий слой)
C — солнце; *A* — конденсатор; *B* — генератор электричества; *B* — турбина; *Г* — теплообменник-испаритель (парогенератор); *Д₁* — насос для холодной воды; *Д₂* — насос для горячей воды; *Д₃* — пар, получаемый из низкокипящей жидкости

давлениях и температурах. Для получения вращающихся генератор усилий, близких к усилиям, которые существуют в обычных системах, приходится значительно увеличивать их размеры. Поскольку в газогенератор поступает вода повышенной солености, возникают серьезные проблемы коррозионной стойкости данных устройств. В некоторых странах существуют экспериментальные электростанции мощностью до 300 кВт, работающие по данному принципу.

Вентиляция и охлаждение помещений

В районах с жарким климатом интенсивное солнечное излучение приводит к перегреву помещений. В связи с этим возникает важная проблема использования энергетического потенциала солнца для создания систем вентиляции и охлаждения. Выше уже описывалась простейшая система для вентиляции жилых помещений при помощи открывания жалюзи крыши в ночное время. Данная схема может применяться и днем, если резервуары с водой, установленные под жалюзи, будут открыты. Тогда под влиянием солнечных лучей вода начнет испаряться. Процесс испарения требует значительного количества тепловой энергии. При этом способе большая часть лучистой энергии солнца уйдет на испарение воды и здание будет прогреваться слабо.

Можно также установить открытые резервуары с водой в помещении, что будет способствовать отбору тепла из него на испарение воды. Данные методы следует применять в районах с жарким сухим климатом, а также при дополнительной вентиляции помещения, чтобы избежать в них повышенной влажности.

Описанные методы относятся к пассивным системам. Вместе с тем в настоящее время находят практическое применение активные охладительные системы. Одна из таких систем — обычная холодильная установка с компрессором, который приводится в движение электрическим мотором, питающимся от солнечных батарей.

Принципиально отличными схемами, использующими солнечную энергию в большей мере, чем предыдущая, являются абсорбционная водоаммиачная для холодильных установок и водобромлитиевая для охлаждения помещений. Обе системы имеют одинаковый принцип действия. Основными рабочими жидкостями являются аммоний, выступающий в качестве охладителя, и вода, используемая в качестве абсорбента.

Смесь аммония и воды поступает в парогенератор, в качестве которого используется плоский солнечный коллектор. Под тепловым воздействием солнца аммоний испаряется в коллекторе и переходит в конденсатор, где он охлаждается до состояния жидкостно-паровой смеси. Далее смесь поступает в клапан, понижающий давление, где, расширяясь, она дополнительно охлаждается и затем направляется в парогенератор, установленный в охлаждаемом пространстве. Испаряясь в парогенераторе, аммоний отбирает теплоту окружающего пространства и, следовательно, охлаждает его. Жидкостно-паровая смесь аммония в дальнейшем смешивается с водой и снова идет в солнечный коллектор — парогенератор. Система работает по замкнутому циклу и обеспечивает минусовые температуры в охлаждаемом пространстве.

Большие холодильные установки такого рода должны снабжаться насосами для подкачки рабочей жидкости, которые могут получать электроэнергию от солнечных батарей.

«Следящие» солнечные системы

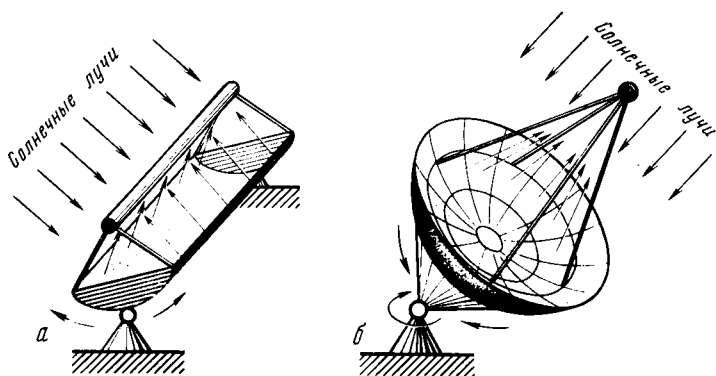
К активным тепловым солнечным системам относятся плоские, а также параболические зеркальные концентраторы с одной и двумя степенями свободы и со специальными приводами, позволяющими системе «следить» за положением солнца на небосводе (рис. 10).

Параболические прямоугольные концентраторы (рис. 10, а) имеют одну степень свободы. Данные системы способны концентрировать солнечные лучи на плоском или трубчатом теплообменнике, зачерпленном снаружи. На поверхности теплообменника достигается уровень температур до 300°C . Если через него пропускать воду, то полученный пар может использоваться для вращения электрогенератора и других механизмов, например водяных насосов.

Более сложной и дорогостоящей солнечной системой являются круглые параболические зеркала — концентраторы с двумя степенями свободы, фокусирующие солнечные лучи в одной точке (рис. 10, б). В таких концентраторах температура нагреваемого объекта поднимается выше 1000°C . Подобные концентраторы применяются в лабораториях и в некоторых случаях в промышленных условиях в целях получения сверхчис-

тых сплавов. Так, в Физико-техническом институте им. С. В. Стародубцева АН УзССР разработаны и созданы параболические концентраторы, позволяющие достичь температуру 4000°C , при которой возможно получение металлокерамических сплавов.

Простейшие параболические солнечные системы используются также в бытовых условиях — для приготовления пищи и кипячения воды. Эти устройства, получившие название «солнечные кухни», распространены в отдаленных районах, куда затруднен подвоз топлива. В связи с удорожанием энергии некоторые зару-



Р и с. 10. Принципиальные схемы „следающих“ солнечных систем

бежные фирмы начали серийное производство таких кухонь для пользования ими в летнее время в пригородах и в сельской местности.

Активные солнечные тепловые системы находят все большее применение и в крупномасштабной энергетике. В настоящее время построено несколько крупных тепловых солнечных электростанций в различных странах мира. Солнечные ТЭС действуют по следующему принципу: на вершине башни устанавливается водяной котел, над которым при помощи системы зеркал фокусируются солнечные лучи, разогревающие котел до температуры выше 200°C . Получаемый в котле пар подается на турбину, которая, в свою очередь, вращает энергогенератор. Для повышения эффективности станции зеркальные отражатели снабжаются «следающей» за солнцем системой.

В 1985 г. осуществлен пуск солнечной ТЭС мощностью 5 МВт на берегу Апшатского озера в Крыму. Станция имеет башню высотой 70 м с водяным котлом на ее вершине. Солнечные лучи будут концентрироваться на стенках котла при помощи 1600 зеркал площадью 25 м² каждое. Зеркала размещаются в чашеобразной выемке диаметром 500 м, в центре которой и устанавливается башня. Каждое из зеркал по специальной программе с помощью вычислительного комплекса «следит» за солнцем, двигаясь синхронно со светилем по двум осям — вертикальной и горизонтальной. В схему солнечной ТЭС входит также тепловой аккумулятор — резервуар, вмещающий 400 т воды с начальной температурой 300° и конечной 120° С. Такие температуры в аккумуляторе поддерживаются с помощью высокого давления.

Крымская станция экспериментальная. На пей будут отрабатываться режимы работы, проверяться оборудование, различные механизмы. Результаты исследований лягут в основу строительства более крупных электростанций, до 300 МВт.

Электроэнергия, получаемая на солнечных ТЭС, обходится в несколько раз дороже, чем электричество, вырабатываемое на традиционных электростанциях, и этот фактор является серьезным препятствием для широкого внедрения таких установок.

Прямое превращение солнечной энергии в электрическую

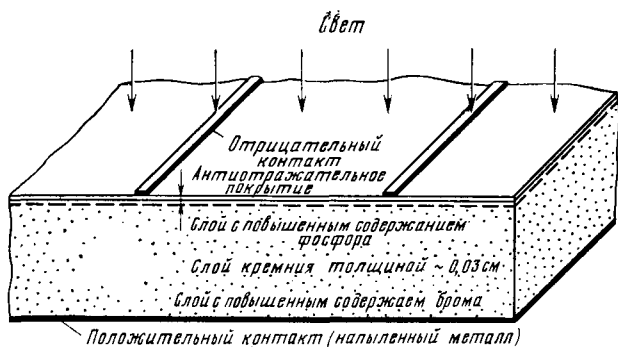
Большие перспективы по прямому получению электричества из солнечной энергии открывает использование фото- и термоэлектрических преобразователей. Энергетические системы с такими преобразователями находят применение в отдаленных и сельских районах при производстве небольших количеств электроэнергии для бытовых нужд, электропитания радио- и телеаппаратуры, а также в целях обеспечения энергией средств связи. Данные системы размещаются и в пустынях для производства электроэнергии, приводящей в действие водяные насосы.

Фотоэлектрические батареи широко распространены в космической технике, для питания бортовых систем аппаратов, находящихся на околоземных орбитах или в открытом космическом пространстве. Основную часть

фотоэлектрических генераторов составляют полупроводниковые элементы, в которых под влиянием солнечного излучения проявляется фотоэлектрический эффект. Он возникает в результате воздействия солнечного излучения на поверхностные слои полупроводника толщиной примерно 2—3 мкм, высвобождая при этом некоторое количество электронов. С появлением в теле полупроводника свободных электронов и при наличии разности электрических потенциалов в нем возникает электрический ток. Разность потенциалов образуется между облучаемой поверхностью полупроводника и его «тене-вой» стороной за счет внедрения в его поверхностные слои специальных добавок. Один вид добавок образует дополнительные электроны и отрицательный заряд поверхности, другой — дефицит электронов и, следовательно, положительный заряд. Положительный и отрицательный заряды создают разность потенциалов.

Большинство фотоэлектрических генераторов изготовляется из кремниевых элементов. Разрез такого элемента показан на рис. 11. Кремний — один из самых дешевых материалов на земле — может быть выделен из простого песка. Фотоэлектрические элементы получают из кварцевых кристаллов, к которым предъявляются высокие требования по чистоте. Они производятся путем плавления кремния и затем выращивания в виде круглых стержней диаметром от 5 до 8 см. Для получения непосредственно полупроводниковых элементов эти стержни разрезаются на тонкие пластины, толщиной около 300 мкм, которые и служат основной частью фотоэлектрических элементов. На сторону, обращенную к солнцу, наносится тонкий слой фосфора, дающий избыток электронов для отрицательного заряда. Положительный заряд достигается за счет присутствия брома, дающего недостаток в поверхностном слое «тене-вой стороны». На паружную сторону элемента накладывается металлическая сетка (она служит отрицательным электродом), на внутреннюю напыляется металл, который выполняет функцию положительного электрода. В наземных условиях с интенсивностью светового излучения 1 кВт/м^2 КПД данных элементов может достигать примерно 19%. В настоящее время для обычных кремниевых элементов КПД 10—15%.

Другим весьма перспективным полупроводниковым материалом для изготовления фотоэлектрических элементов является сульфид кадмия. Несмотря на то что



Р и с. 11. Схематический разрез кремниевого фотоэлемента

КПД сульфидно-кадмиевых элементов меньше, чем кварцевых, и приблизительно равен 8—10%, данные элементы проявляют большую стабильность при высоких температурах. Если эффективность кремниевых элементов падает с повышением их температуры, сульфидно-кадмиевые сохраняют постоянный КПД до 90° С. Это свойство особенно важно в условиях жаркого климата.

Еще один перспективный полупроводниковый материал — арсенид галлия. Он обладает высокой эффективностью по превращению лучистой энергии в электрическую с КПД до 27%. Это самый высокий КПД для солнечных фотоэлектрических генераторов. Кроме того, арсенид галлия проявляет стабильность при температурах выше 100° С. Однако ограниченные запасы и высокая цена этого материала затрудняют его широкое применение.

Фотоэлектрические генераторы, как уже упоминалось, состоят из отдельных полупроводниковых элементов, соединенных последовательно или параллельно. Их размеры зависят от параметров электрического тока, который они должны производить, и различаются по мощности от нескольких ватт до десятков киловатт, а по размерам — от нескольких квадратных миллиметров до десятков квадратных метров.

Перспективным направлением в создании фотоэлектрических генераторов является разработка технологии изготовления тонкопленочных полупроводниковых покрытий, которые в сочетании с синтетической основой могут найти широкое применение. Получение таких

пленок может значительно сократить стоимость фотоэлектрических генераторов, а следовательно, и стоимость производимой ими электроэнергии.

Для повышения эффективности фотоэлектрических генераторов применяются солнечные зеркальные концентраторы, способствующие повышению плотности световой энергии, падающей на поверхность генератора. Однако при этом неизбежно повышение температуры поверхности генератора, и в этом случае применение сульфида кадмия и арсенида галлия, не меняющих своих характеристик при высоких температурах, особенно перспективно.

Основные достоинства фотоэлектрических генераторов — их сравнительная простота в изготовлении и обслуживании, долговечность, отсутствие по сравнению с традиционными генераторами механических потерь при трансформировании энергии. Они являются практически «чистыми» энергетическими устройствами, т. е. не загрязняющими окружающую среду.

Основной недостаток солнечных фотоэлектрических преобразователей — их высокая стоимость.

Другая система, которая позволяет осуществлять прямое преобразование солнечной световой энергии в электрическую, — солнечные термоэлектрогенераторы. Принцип действия термоэлектрогенератора основан на эффекте Зеебека. Суть его в том, что в замкнутой цепи, состоящей из разнородных проводников, возникает электродвижущая сила, если места контактов поддерживаются при разных температурах. В простейшем случае, когда электроцепь состоит из двух различных проводников, она называется термопарой.

Обычно в состав солнечных термоэлектрогенераторов входит сам генератор и фокусирующая солнечную энергию система (часто «следающая»). В генераторе есть термобатареи, набранные из термоэлементов, соединенных последовательно или параллельно, и теплообменники горячих и холодных спаев термоэлементов. Величина электрического тока зависит от температур горячего T_1 и холодного T_2 контактов, а также от материалов проводников. В небольшом интервале температур электродвижущую силу (ЭДС), от которой зависит величина генерируемого электрического тока, можно считать пропорциональной разности температур T_1 и T_2 , т. е. $ЭДС = K (T_1 - T_2)$, где K — коэффициент, характеризующий термоэлектрическую способность пары ме-

таллов. Он определяется материалом проводников и интервалом температур, в некоторых случаях с изменением температуры меняется знак. КПД термоэлектрогенераторов равняется примерно 15%, а достигаемая мощность — несколько сот киловатт.

Из вышеописанных свойств следует, что, чем выше температура поверхности горячих слоев, тем выше их производительность. Поэтому, как правило, солнечные термоэлектрогенераторы снабжаются отражателями, которые концентрируют солнечную энергию на поверхности спаев, увеличивая тем самым их температуру. В отдельных системах на поверхность спаев наносятся покрытия с хорошо поглощающими солнечное тепловое излучение свойствами.

Фото- и термоэлектрические солнечные генераторы находят, как уже отмечалось, применение в различных областях народного хозяйства. В настоящее время широкое использование этих энергетических устройств сдерживается их высокой стоимостью по сравнению с обычными системами, а следовательно, и высокой стоимостью электричества, ими генерируемого. Однако для районов, в которых доставка топлива связана с высокими транспортными расходами, применение солнечных фото- и термоэлектрогенераторов экономически оправдано. При этом необходимо также принимать во внимание простоту эксплуатации данных систем, их высокую надежность и длительный срок службы.

Солнечные электрогенераторы этих типов нашли широкое распространение в космической технике. Фото- и термоэлектрогенераторами оборудованы практически все космические аппараты, запускаемые на околоземные орбиты и в открытое космическое пространство.

В настоящее время рассматриваются проекты по крупномасштабному производству электроэнергии в космосе с последующей ее передачей на Землю. Все эти проекты основаны на создании фотоэлектрических приемников площадью в несколько десятков квадратных километров на высоте до 35 тыс. км и расположенных над экватором. В отличие от наземных систем такие станции не создают проблем хранения энергии, так как солнечный свет будет падать на их поверхность непрерывно.

С околоземной орбиты станция будет передавать энергию на громадную, диаметром до 10 км, принимающую антенну на Земле. Энергия микроволн, принимае-

мая аптепной, затем будет преобразовываться в электроэнергию.

Сами орбитальные электростанции в соответствии с этими проектами будут состоять из массы солнечных фотоэлементов и снабжаться микроволновыми антеннами для передачи производимой энергии на Землю. «Следящая» система обеспечивает их постоянную направленность на принимающую антенну, расположенную на Земле. Конечно, такие станции будут иметь и большой вес, зависящий от их мощности. Например, станция мощностью 5000 МВт (что достаточно для обеспечения электроэнергией такого города, как Нью-Йорк) будет весить около 20 тыс. т. Для строительства такого рода электрических станций необходимо иметь околоземные космические транспортные устройства, которые бы осуществили доставку материалов с Земли и монтаж станции в условиях космического пространства. Все это требует решения крупнейших научно-технических проблем современности, включая создание новых видов космических аппаратов и сверхмощных ракет-носителей.

Как уже подчеркивалось, солнечная энергия является «чистым» видом энергии, и в этом заключаются ее преимущества перед другими источниками энергии. Однако при эксплуатации различных систем и приспособлений, использующих солнечную энергию, возникает ряд проблем, связанных с охраной окружающей среды. Применение низкокипящих жидкостей в солнечных энергетических системах и неизбежные утечки этих жидкостей во время длительной эксплуатации систем могут привести к значительному загрязнению питьевой воды. Особую опасность представляют жидкости, содержащие хроматы и нитриты, являющиеся высокотоксичными веществами.

Чтобы уменьшить коррозию водяных солнечных систем, предназначенных для обогрева и охлаждения помещений, и предотвратить их замерзание, добавляются соли на основе хромитов, боритов, нитратов, сульфатов и др., которые представляют серьезную опасность для человеческого организма. Поэтому во время работы солнечных тепловых и холодильных систем, использующих указанные вещества, необходимо периодически проверять, нет ли утечек рабочих жидкостей.

Применение двухконтурных схем теплообмена в солнечных системах позволяет в значительной степени уменьшить опасность появления токсичных веществ в

окружающей среде. Поскольку данные рабочие жидкости, утратившие свои первоначальные свойства, должны заменяться, возникает проблема их очистки. Использование обычных очистительных систем зачастую не представляется возможным, так как появление вышеупомянутых элементов в больших количествах в воде может привести к бурному росту синезеленых водорослей. Последние при своем росте и разложении потребляют большое количество кислорода, что, в свою очередь, уменьшает содержание кислорода в водоемах и вызывает гибель живых организмов, и прежде всего рыбы.

Другая, не менее важная проблема — опасность перегрева и возгорания систем, использующих солнечные концентраторы. В теплообменных устройствах таких систем, как правило, применяются различного рода изолирующие материалы. При перегреве и возгорании они могут выделять такие токсичные газы, как пары аммония, соляной кислоты, фторной кислоты и др. Поэтому уровень температур в теплообменных системах должен строго контролироваться, высокие требования также должны предъявляться к химическим и тепловым свойствам изоляции.

В солнечных системах, применяемых для обработки сельскохозяйственных продуктов, возникают две основные проблемы. Одна — опасность заражения продуктов токсичными веществами, описанными выше, которые могут появиться в продуктах вследствие возможных утечек рабочих жидкостей систем. Другая — возможность быстрого развития бактерий и грибов при низких рабочих температурах (30–60° С) во время сушки сельскохозяйственных продуктов, таких, как зерно и табак. Когда работают большие солнечные энергетические системы, в частности солнечные ТЭС, из тепловых аккумуляторов возможны утечки рабочих жидкостей, содержащих натрий, гидроокись патрия, питраты или нитриты калия. Эти компоненты вызывают загрязнение воды, увеличивают засоленность почвы. Кроме того, высококонцентрированные водяные растворы указанных солей взрывоопасны.

Особое внимание должно уделяться и уровню температур в приемных и теплообменных устройствах, чтобы избежать их перегрева и пожара, которые могут привести к выделению вредных газов, описанных выше.

Затемнение солнечными концентраторами больших территорий земли может привести к ее деградации.

Необходимо также отметить экологические последствия в районе расположения станции нагрева воздуха при прохождении через него солнечного излучения, сконцентрированного зеркальными отражателями. Это — изменение теплового баланса, влажности, направления ветров и т. д. Следует учесть и то, что строительство солнечных электростанций требует больших территорий: например, станция мощностью 100 МВт займет площадь почти 5 км².

Некоторые экологические проблемы возникают при эксплуатации фото- и термоэмиссионных солнечных электрических систем. Во время изготовления кремниевых, кадмиевых и арсенидо-гелиевых фотоэлектрических элементов в воздухе производственных помещений появляются кремниевая пыль, кадмиевые и арсенидовые соединения. Попадая при вдыхании в человеческий организм, они способны вызвать серьезные заболевания. Технологические процессы, связанные с очисткой кремния и галлия, могут приводить к загрязнениям воды щелочами и кислотами.

В заключение необходимо отметить, что нежелательные последствия, вызванные использованием солнечных энергетических систем, носят местный характер и их можно избежать при точном соблюдении правил техники безопасности.

Вторая жизнь ветряных мельниц

Как возникает ветер?

Когда солнце нагревает некоторую часть поверхности Земли интенсивнее, чем окружающие, воздух стремится переместиться. При этом теплые слои поднимаются вверх, а их место занимают более холодные. Такое перемещение воздуха и есть ветер. Крупномасштабная циркуляция воздуха происходит между высокими широтами и экватором. Типичная картина крупномасштабных ветров представлена на рис. 12. В экваториальных областях солнце очень сильно нагревает поверхность Земли. В результате горячий воздух вблизи экватора поднимается вверх и двумя потоками движется в сторону северного и южного полушарий. Охладившись в районе полюсов, воздух опускается вниз, образуя крупно-

масштабное циркуляционное течение у поверхности Земли от полюсов к экватору.

Конечно, данное представление о ветрах идеализировано. Вращение Земли, наличие суши и моря, гор и долин, участков суши, покрытых растительностью, и пустынь значительно усложняют картину ветров.

Например, на границе между сушей и морем весьма часто дуют ветры. Это связано с тем, что твердая поверхность и вода охлаждаются и нагреваются неодинаково. Днем под лучами солнца суша нагревается быстрее, чем море. Это приводит к тому, что над теплой сушей к солнечному полудню начинается интенсивный восходящий поток воздуха, а с моря на место поднявшегося теплого воздуха приходит более прохладный. Возникает хорошо известный ветер с моря, известный под названием «бриз».

Ночью суша охлаждается быстрее, чем море, и становится вскоре холоднее моря. Тогда над морем возникает восходящий поток воздуха, и ветер дует теперь в противоположном направлении (рис. 13).

Периодические изменения температуры в прибрежных районах морей и океанов вызывают циркуляцию более крупного масштаба, чем бризы, называемые муссонами. Они делятся на морские и материковые, отличаются, как правило, большими скоростями и в течение ночи меняют свое направление. Аналогичные процессы происходят в гористых местах и в долинах из-за разных уровней нагрева экваториальных зон и полюсов Земли. Характер циркуляции земной атмосферы усложняется вследствие сил инерции, возникающих при вращении Земли. Они вызывают отклонения воздушных течений, образуется множество циркуляций, в большей или меньшей мере взаимодействующих между собой.

Сила и направление ветра в различных зонах по-разному изменяются в зависимости от высоты над поверх-

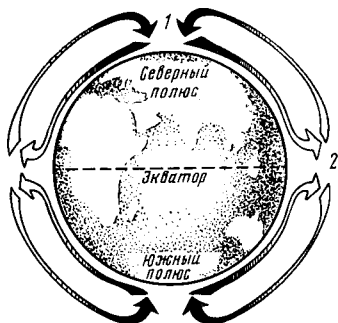
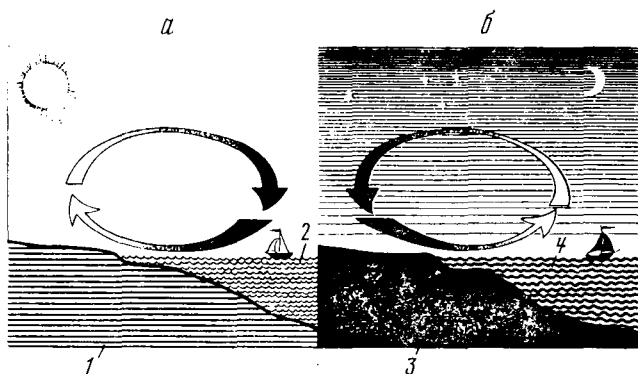


Рис. 12. Глобальная циркуляция воздуха

1 — холодный воздух опускается;
2 — горячий воздух поднимается



Р и с. 13. Возникновение бризов

а — день; *б* — ночь; 1 — подогретая земля; 2 — охлажденный океан; 3 — охлажденная земля; 4 — подогретый океан

ностью Земли. Так, на экваторе близко к земной поверхности расположена зона с относительно небольшими скоростями ветра, переменного по направлению, а в верхних слоях рождаются достаточно большие по скорости воздушные потоки в восточном направлении. На высоте от 1 до 4 км от поверхности Земли, между 30° северной и южной широт, образуются достаточно равномерные воздушные течения, называемые пассатами. В северном полушарии ближе к поверхности Земли их средняя скорость составляет 7–9 м/с.

Вокруг зоны пониженного давления возникают крупномасштабные циркуляции воздушных масс: в северном полушарии — против направления движения часовой стрелки, а в южном — по направлению ее движения. Из-за наклона на $23,5^\circ$ оси вращения Земли к плоскости ее движения относительно Солнца происходят сезонные изменения тепловой энергии, получаемой от него, величина которых зависит от силы и направления ветра над определенной зоной земной поверхности.

На относительно большой высоте над поверхностью Земли (в среднем 8–12 км) в тропосфере возникают достаточно равномерные и мощные воздушные течения, получившие название струйных. Их образование вызвано особенностями высотной атмосферной циркуляции, поэтому характеристики струйных течений существенно отличаются от параметров приземного ветра. Размеры струйных течений в поперечнике достигают 400–600 км,

а протяженность — до 1000 км. Обычно они не подвержены большим сезонным изменениям, но могут менять свое расположение по высоте. Над Восточной Сибирью и Чукоткой они, например, иногда опускаются до 3—4 км от поверхности Земли. Скорости воздушных масс в ядре струйного течения составляют 30—80 км/ч, но часто доходят до 200 км/ч.

Тепловая энергия, непрерывно поступающая от солнца, преобразуется в кинетическую энергию движения в атмосфере огромных масс воздуха, циркуляция которых и называется ветром.

Ветер является одним из наиболее мощных энергетических источников и может быть утилизирован в народном хозяйстве в значительно больших масштабах, чем в настоящее время. По ориентировочным оценкам, энергия, которая непрерывно поступает от солнца, превышает 10^{11} ГВт. Отсюда можно определить годовую выработку энергии ветроагрегатами — $1,18 \cdot 10^{13}$ кВт·ч. Эта величина во много раз превышает количество энергии, потребляемой сегодня в мире (около 3 млрд тут). Ветроэнергетический потенциал приземных слоев атмосферы только над территорией СССР составляет не менее 30 тыс. ГВт·ч/г, что примерно в 1,5 раза больше энергетического потенциала всех рек Советского Союза. Любопытно, что 80% этой энергии сосредоточено на половине площади страны, в зонах, где скорость ветра больше 6—7 м/с. Еще более значительные энергетические запасы сосредоточены на высотах 8—12 км, где скорости ветра весьма постоянны и достигают 20 м/с.

Энергетические установки обычно используют ветер в приземном слое на высоте до 50—70 м, реже — до 100 м от поверхности Земли, поэтому наибольший интерес представляют характеристики движения воздушных потоков именно в этом слое. В дальнейшем, по мере создания соответствующих технических средств, удастся использовать и струйные течения, характерные для тропопаузы.

Важнейшей характеристикой, определяющей энергетическую ценность ветра, является его скорость. В силу ряда метеорологических факторов (возмущения атмосферы, изменения солнечной активности, количества тепловой энергии, поступающей на Землю, и др.), а также вследствие влияния рельефных условий непрерывная длительность ветра в данной местности, его скорость и направление изменяются по случайному закону. Поэто-

му мощность, которую способна выработать ветроустановка в различные периоды времени, можно предсказать с малой вероятностью. В то же время суммарная выработка агрегата, особенно за длительный промежуток времени, рассчитывается с высоким уровнем достоверности, так как средняя скорость ветра и частота распределения скоростей в течение года или сезона изменяются мало.

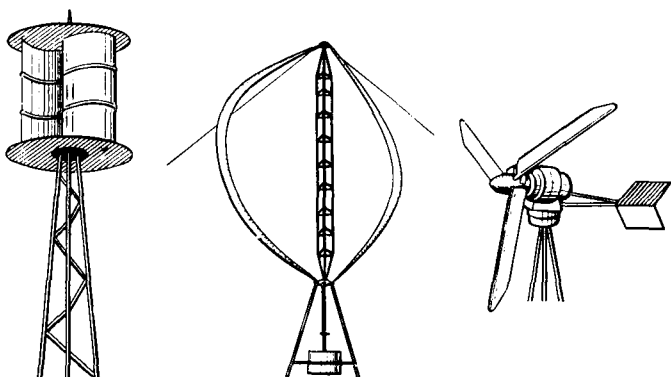
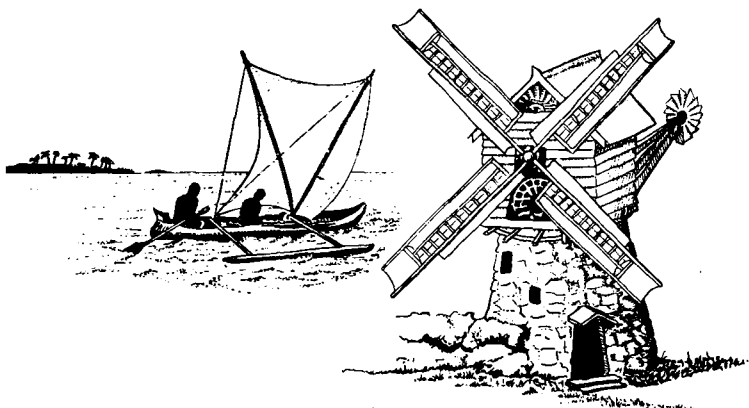
Основные типы ветроэнергетических установок

Уровень развития ветроэнергетики и применения ветроэнергетических агрегатов зависит прежде всего от технических и эксплуатационных параметров и экономической эффективности ветродвигателей и ветроустановок. В соответствии с принятой в СССР классификацией под ветродвигателем понимают любое устройство (двигатель), использующее кинетическую энергию ветра для выработки (производства) механической энергии (рис. 14).

Ветроэнергетический агрегат (ВЭА) — это система, состоящая из ветродвигателя, одной или нескольких рабочих машин (генератора, насоса, компрессора и т. д.), служащих для выработки определенного вида энергии (например, электрической) и (или) для выполнения заданного процесса (подъема воды, сжатия воздуха, размола зерна и др.). Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) представляет собой комплекс технических устройств, в который входят ветроагрегат и, в зависимости от схемы, аккумулирующее или резервирующее устройство, двигатель, дублирующий мощность ветродвигателя, системы автоматического управления и регулирования режимов работы установки и ее элементов. По своему назначению и устройству ветроустановки бывают насосными, зарядными и специализированными.

Большой вклад в разработку теоретических и практических основ ветродвигателестроения внесли советские ученые. Еще в середине 30-х годов Н. Е. Жуковский разработал теорию идеального и реального ветродвигателей, которая и поныне используется во всем мире.

Ветроустановки прошлых лет были, как правило, универсальными, т. е. механическим приводом различных рабочих машин, современные ветроагрегаты стали



Р и с. 14. Типы ветроустановок

специализированными: водоподъемными, зарядными и др. Для работы с комплексом оборудования предназначены агрегаты средней мощности с электрическим приводом рабочих машин.

Поскольку на «добычу» и транспортировку энергии ветра затраты не производятся, часто говорят, что ветер является «даровым» энергетическим источником. Бытует мнение, что энергия, получаемая с помощью ветродвигателя, тоже дешевая и даже практически «даровая». Это далеко не так. Нужно очень хорошо знать условия, чтобы определить, где и для каких целей выгодно использовать энергию ветра и когда целесообразнее и экономичнее применить энергетические установки других типов. При этом необходимо наиболее

полно учесть требования потребителей, особенности ветра как энергоисточника, режимы работы ветроустановки и качество производимой энергии. Только комплексное рассмотрение всех факторов дает объективные результаты, на основании которых можно судить об экономической целесообразности и технических возможностях применения в конкретных условиях той или иной ветроэнергетической установки.

Одна из характерных особенностей ветра как энергетического источника заключается в его непостоянстве, которое обусловлено большой изменчивостью скорости. Это приводит к значительному изменению кинетической энергии ветрового потока даже в течение относительно малых промежутков времени — от нулевой энергии при штиле до существенно превышающей расчетную в периоды бурь и ураганов. Отсюда непостоянство мощности, развиваемой ВЭУ. Поэтому, чтобы при определенных скоростях ветра сохранить мощность ветроагрегата почти неизменной, предохранить его от перегрузок, обеспечить заданную частоту вращения ветроколеса и присоединенных к ветродвигателю рабочих машин, приходится применять автоматические системы регулирования или ограничения мощности или частоты вращения. Малая плотность воздуха — причина относительно низкой концентрации энергии в потоке, приходящейся на единицу площади его поперечного сечения. Чтобы получить ощутимую мощность, необходимо использовать агрегаты с ветроколесами достаточно большого диаметра.

Ветер меняет не только свою скорость, но и направление. Для наиболее полного использования энергии потока ветроколесо (или любой другой рабочий орган, преобразующий кинетическую энергию ветра в механическую) должно занимать определенное положение относительно ветрового потока. Поэтому ветродвигатели многих типов необходимо оборудовать системами автоматической ориентации. Для двигателей крыльчатого типа с горизонтальной осью вращения плоскость вращения ветроколеса должна быть перпендикулярна вектору скорости ветра.

Когда наступают более или менее длительные затишья, скорости ветра недостаточны для работы ветроагрегата. Поэтому приходится предусматривать те или иные аккумулирующие устройства, резервные двигатели или установки, дублирующие мощность ветроагрега-

та, благодаря которым удастся обеспечить бесперебойную подачу потребителю энергии, тепла, воды или продуктов технологической переработки. Все это, естественно, усложняет и удорожает ВЭУ, и в ряде случаев ни по себестоимости вырабатываемой энергии и приведенным затратам на ее производство, ни по удельным капитальным вложениям такая установка уже не может конкурировать с энергетическими агрегатами, использующими жидкое топливо или какой-либо другой вид традиционного топлива.

Одно из главных условий, гарантирующих целесообразность применения ветроэнергетической установки, — наименьшие приведенные затраты на единицу производимой энергии по сравнению с другими типами энергетических установок. В зависимости от конкретных условий и целей эффективность ВЭУ может оцениваться и по другим критериям. Установки, использующие энергию ветра, становятся вполне конкурентоспособными, а малое загрязнение окружающей среды при их работе дает им определенные преимущества.

Одно время ученые шли по пути создания больших аппаратов с горизонтально установленным ветродвигателем. Но практика показала, что подобные установки себя не оправдывают. Недавно появились более удачные конструкции. На обдуваемых ветрами склонах холмов в различных районах можно, например, видеть устройства, напоминающие сбивалку для яиц. Это весьма эффективные новые ветровые двигатели системы Дарье.

Во всех ветродвигателях используется один и тот же принцип. Ветер обдувает поверхность лопастей, и возникающее при этом разряжение создает силу. Действуя на лопасть, она заставляет ее вращаться вокруг центрального вала, приводящего в движение электрогенератор. В различных конструкциях данный принцип используется по-разному. На протяжении многих лет он воплощался в двигателях винтового типа, где располагающиеся в вертикальной плоскости лопасти вращают горизонтальный вал. У наиболее крупных моделей размах лопастей достигает 90 м, высоты 26-этажного здания. Для обеспечения равномерной работы этих гигантов необходимы компьютеры, гидравлические системы регулирования положения лопастей и другая сложная аппаратура.

Считалось, что чем больше ветродвигатель, тем он

эффективнее (более длинные лопасти захватывают большую площадь), гораздо лучше преобразовывает порывы ветра в устойчивый поток электроэнергии, предназначенной для использования в промышленности и быту. Однако гигантские установки оказались ненадежными и очень дорогими. Один из первых ветродвигателей — МОД-1, сконструированный в США и обошедшийся в 30 млн долл., проработал всего 300 ч и сломался. То же случилось и с ветродвигателем МОД-2, имевшим винт с размахом лопастей 90 м. По современным представлениям экономически рентабельными считаются ВЭУ с диаметром ротора 50—60 м.

В самом начале XX в. французский изобретатель Г. Дарье получил патент на воздушную турбину, построенную им по принципу «яйцесбивалки». В 70-х годах его идея легла в основу создания агрегата ВАФТ — воздушной турбины с вертикальной осью. В отличие от ветродвигателя с большими винтами, вращающимися вокруг горизонтальной оси, у этой воздушной турбины лопасти сидят на вертикальной оси. Преимущество конструкции заключается в том, что она использует ветер, дующий с любой стороны. Винтовые воздушные турбины направлены навстречу ветру, и поэтому оборудование должно фиксировать направление ветра и поворачивать турбину, установленную на высокой мачте. Кроме того, у «яйцесбивалки» генератор и управляющие устройства располагаются на земле, а не на высоких мачтах, что облегчает их обслуживание и ремонт. Воздушная турбина с вертикальной осью проста по конструкции. Это очень важно, так как ветровым двигателям в процессе работы приходится выдерживать натиск бурных порывов ветра. У воздушной турбины нет движущихся частей для поворота по направлению ветра. Кроме того, технология изготовления лопастей основана на прессовании выдавливанием алюминия.

Основной недостаток «яйцесбивалки» заключается в том, что она нуждается в двигателе для раскручивания ее в начальный момент. При этой операции потребляется электрический ток, получаемый из электросети. Неспособность самостоятельно начать движение обусловлена аэродинамическими особенностями этой воздушной турбины и фиксированным положением ее лопастей.

Типичные ветродвигатели системы Дарье имеют высоту 20 м, ширину 10 м. Изгибающиеся лопасти при-

риной 5 м и длиной 27 м от вершины до основания приводят в действие генератор, пиковая мощность которого достигает 100 кВт. Основанная на этом принципе ВЭУ позволяет получить большие мощности и, конечно, при несколько больших размерах.

Хотя «яйцесбивалка» и лидирует сейчас в своеобразном состязании, целью которого является создание наиболее эффективного ветродвигателя, тем не менее она пуждается в испытании ее надежности временем. Эта конструкция находится в эксплуатации всего несколько лет.

В настоящее время разработан еще один принципиально новый тип ветроэлектростанции (ВЭС), позволивший значительно увеличить установленную мощность агрегата. Ветродвигатель состоит из цилиндрической полой башни, в стенках которой сделаны вертикальные щели, снабженные створками (жалюзи). Открытая сверху башня имеет полое конусное основание с проемами на его боковых стенках для входа воздуха. В горловине основания размещается воздушная турбина, вал которой через маховик и муфту соединяется с вертикальным валом генератора.

Принцип действия такого агрегата сводится к следующему. Воздушный поток, поступая внутрь башни через открытые с наветренной стороны створки в тангенциальном направлении, обтекает цилиндрические стенки башни, в которых жалюзи закрыты, и завихряется. При этом окружная скорость по мере приближения к выходу из башни все время увеличивается из-за уменьшения радиуса вращения. В результате внутри башни образуется вихрь, в центре которого создается область пониженного давления — «стержень». Паружный воздух через проемы на боковых стенках конусного основания под действием избыточного давления устремляется в основание «стержня» и, перемещаясь вверх, вращает лопасти воздушной турбины, а следовательно, и вал генератора.

Такой вихревой ветродвигатель может работать при слабом ветре и даже без него. В этом случае достаточно перепада температур на дне и в верхней части башни не менее 10°C . Для подогрева воздуха в основании башни устанавливается подогревательная камера, в которой используется, например, теплая вода конденсаторов ТЭС, солнечная энергия и т. п. Подобный ветровой двигатель может обеспечивать значительную единичную

мощность и противостоять разрушительным воздействиям ураганных ветров (при открытых створках ветер, продувая башню насквозь, не оказывает давления на ее стенки).

В настоящее время в Советском Союзе ведутся интенсивные работы по созданию ВЭУ различного назначения. Разработано более 10 типов ветродвигателей малой мощности, используемых главным образом в сельском хозяйстве.

Уже говорилось, что ветер как энергетический источник обладает большой изменчивостью. И поскольку его режимы трудно предсказать заранее с большой точностью, приходится во многих случаях комплектовать ветроустановку аккумулялирующим устройством или использовать дублирующую неветровую энергоустановку. С помощью аккумулялирующих устройств можно выравнивать пульсирующую мощность, которую вырабатывает агрегат в условиях постоянно изменяющейся скорости ветра; координировать графики производства и потребления энергии в периоды, когда ветроагрегат не работает или его мощности не хватает для обеспечения полной нагрузки; снабжать объекты энергией (водой, продуктом) по заданному графику; увеличивать суммарную выработку ветроустановки; повышать эффективность использования энергии ветра; получать большую мощность за короткий промежуток времени.

Первая и последняя задачи решаются с помощью аккумулялирующих устройств относительно небольшой емкости. Они называются буферными и в определенных случаях могут способствовать увеличению выработки энергии за счет лучшего использования воздушных потоков, скорости которых выше расчетных. Главная их функция — сглаживать выработку энергии, вызванную микропульсациями ветра и кратковременными снижениями его скорости, обеспечивать устойчивую работу в пиковых по нагрузке режимах. Такие аккумуляторы отдают потребителю накопленную энергию сразу или через короткие промежутки времени, после того как они полностью или частично зарядились.

Для реализации других задач применяют, как правило, так называемые емкостные аккумулялирующие устройства, в которых запас энергии или продукта определяется двух-трехсуточным потреблением и более. Они рассчитаны на использование в периоды достаточно длительных спадов скорости ветра. Накопленную энер-

гию эти устройства могут отдавать потребителю после ее накопления за часы и сутки.

При решении вопросов, связанных с аккумулярованием энергии, производимой ветроустановками, должны приниматься во внимание многие характеристики аккумуляторов: их относительный вес, удельные затраты, длительность хранения энергии и возможные ее потери при хранении, сложность энергетических преобразований для зарядки аккумулятора, его конструктивные параметры, безопасность эксплуатации и др.

В общем виде любую систему аккумулярования можно характеризовать следующими основными величинами: максимальной емкостью системы; максимальной скоростью зарядки (заполнения) и допустимыми уровнем и скоростью разрядки; эффективностью системы, ее КПД.

Основные требования, которые предъявляются к аккумулярующему устройству ветроустановки, могут быть сформулированы следующим образом: высокий КПД и малая стоимость на единицу запасаемой энергии; надежная и эффективная работа в условиях выработки ветроагрегатом непостоянной по своим параметрам энергии; гарантированное покрытие заданного графика потребления с определенной обеспеченностью; простота устройства и технического обслуживания, высокая надежность в эксплуатации, безопасность.

Требуемая емкость аккумулятора зависит от типа и характеристик агрегата, режимов ветра, условий и схемы использования ветроустановки, мощности нагрузки и требований потребителя. Она определяется также исходя из технико-экономических показателей, поскольку аккумулярующее устройство не должно приводить к большому увеличению затрат на энергоснабжение объекта. Следовательно, нужно применять оптимальные по своей емкости аккумуляторы, которые, с одной стороны, хорошо удовлетворяют требованиям потребителей, т. е. графику нагрузки и нормативам качества, а с другой — ненамного удорожают установки и себестоимость производства энергии. Отсюда, естественно, следует вывод, что стремиться к покрытию всех, даже самых длительных, по редко повторяющихся, затопий в большинстве случаев не следует, так как это может привести к неоправданно большим капиталовложениям на аккумулятор и недостаточно полному в течение года использованию его полезной емкости.

Перспективы развития ветроэнергетики

Наиболее эффективным вариантом использования ВЭУ большой и средней мощности является их совместная работа с неветровыми станциями. Относительно простая схема позволяет максимально использовать энергию ветра, располагать ВЭС в наиболее выгодных по ветровым условиям местах (на возвышениях, в долинах с сильными местными ветрами), работать с любым числом различных электростанций, не усложняя при этом схему электрических соединений и не увеличивая протяженность питающих линий электропередачи.

Развитие крупномасштабной ветроэнергетики выдвигает на первое место использование ВЭС большой мощности (от 2 МВт и выше) в электроэнергетических системах. Интерес к этому направлению ветроэнергетики обусловлен не только новыми техническими возможностями, но и развитием электрических сетей в районах с особенно благоприятными ветровыми условиями, что сокращает затраты на строительство.

Поскольку любая электроэнергетическая система должна обеспечить выработку определенного количества энергии, а также выдавать ее по заданному графику, то даже при наличии необходимого энергоносителя нельзя гарантировать 100%-ую надежность энергоснабжения, если не иметь в системе резервы мощности. Однако ВЭС не могут производить энергию по заданному графику, их в принципе следует рассматривать как дублирующие станции. Они экономят топливо и позволяют или несколько сократить ввод новых мощностей традиционных (обычных) электростанций, или изменить их структуру и состав в целях сокращения капиталовложений и затрат на энергоснабжение. Удельный вес ВЭС в балансе мощности системы и выработки энергии определяется долей установленной мощности системы, ветровым режимом, особенностями графика потребления электроэнергии, взаимным расположением ВЭУ, характеристиками традиционных электростанций и другими факторами.

В зависимости от сочетания различных условий и факторов оптимальное значение удельного веса ВЭС в системе меняется. Естественно, что, чем меньше удельный вес, тем полнее можно использовать энергию, производимую ВЭУ. Кроме того, в системе должны быть станции, которые можно легко загружать за счет

использования ВЭС, и при этом они будут экономить топливо.

Эффективной схемой применения ВЭС малой и средней мощности, имеющих для нашей страны наибольшее практическое значение на ближайшие 8—10 лет (до создания мощных ВЭС), является схема, предусматривающая наряду с ВЭС наличие параллельно работающих тепловых агрегатов примерно равной мощности. При этом возможны два варианта: ВЭС выступает в роли базовой станции или дублирует мощность основной установки. Когда ВЭС дублирующая, то она включается в работу параллельно с тепловой установкой по мере увеличения средней скорости ветра в целях экономии топлива. Если ВЭС в состоянии одна обеспечить потребителей энергией хорошего качества (при относительно сильных ветрах), ТЭС выключается из работы и переводится в состояние горячего резерва или режим холостого хода при сохранении электрической связи с ВЭС. Естественно, что ВЭС не может самостоятельно обеспечить покрытие всей базисной части графика нагрузки в течение всего времени.

Считается, что с точки зрения влияния на окружающую среду ветроэнергетика является одним из наиболее чистых источников энергии. Это верно, однако вредное экологическое воздействие широкого использования энергии ветра все же имеется. Приведем некоторые примеры. Плотность энергии ветра сравнительно невелика. Следовательно, чтобы произвести значительное количество энергии, нужно много ВЭУ. А это, в свою очередь, требует дополнительных участков земли. Придется вырубать леса, строить заводы по производству необходимых металлов, пластмасс и т. д.

ВЭУ изымает энергию из дующего ветра, нарушает естественный ход процессов и может привести к нежелательным локальным климатическим изменениям. Определенные проблемы возникают в связи с тем, что лопасти ветродвигателей представляют опасность для мигрирующих птиц. Лопасти старых ветродвигателей вращаются сравнительно медленно и хорошо видимы. В более современных моделях они вращаются весьма быстро и почти незаметны для пролетающих птиц.

ВЭУ морского базирования приведут к необходимости модификации традиционных морских перевозок, нарушат режим жизни окружающих морских животных и растений. Они могут служить источниками дополнитель-

ной опасности даже для мореплавателей. Накопец, возникает проблема шума и электрических помех. ВЭУ, безусловно, повышает уровень шума в окружающем ее пространстве и становится источником помех для радиопередач и радиоприема.

Энергия океана на службе человека

Океан — колоссальный аккумулятор солнечной энергии. Притяжение Луны создает в морях и океанах приливы, энергия которых также весьма велика. В последние десятилетия на шельфе Мирового океана нашли нефть, началась разработка и других органических богатств его дна. Еще совсем недавно использование энергии океана считалось фантастикой. Однако сейчас, когда запасы минерального топлива на суше истощаются, все больше усилий прилагается для того, чтобы найти пути прямого преобразования энергии океана в электрический ток.

Энергия, запасенная в градиентах температуры и солености, является, по-видимому, самым большим энергетическим источником океана. Возможность извлечь энергию из перепада температуры между теплыми, приповерхностными и холодными, глубинными слоями океана подтверждает следующее. Если имеется два резервуара тепла разной температуры, то от резервуара с большей температурой (нагревателя) с помощью периодически работающей тепловой машины можно отобрать часть тепла и превратить его в полезную работу.

Для непрерывного получения работы из теплоты необходимо иметь рабочее тело, которое осуществляет последовательность круговых процессов, т. е. таких процессов, при которых оно периодически возвращается в исходное состояние. В каждом таком круговом процессе, называемом циклом, рабочее тело получает некоторое количество теплоты Q_1 от первичного источника энергии при достаточно высокой температуре и отдает меньшее количество теплоты Q_2 окружающей среде. Так как само рабочее тело, вернувшись в исходное состояние, имеет первоначальную внутреннюю энергию, то в соответствии с первым законом термодинамики разность теплот превращается в работу: $A = Q_1 - Q_2$.

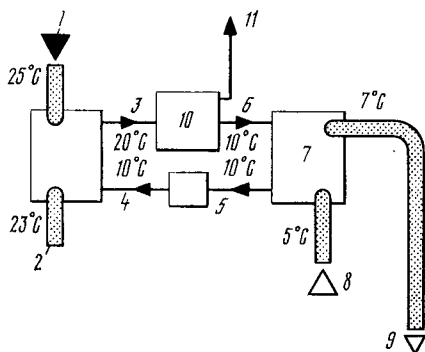
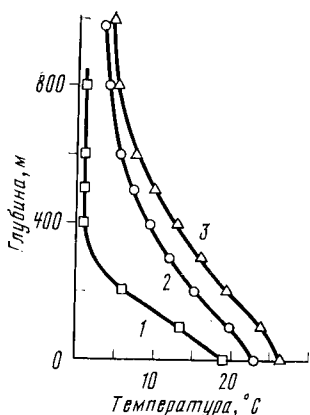
Эффективность преобразования теплоты в другие формы энергии (механическую, электрическую) в пер-

вую очередь определяется температурой, при которой теплота Q_1 может быть передана рабочему телу. Степень преобразования теплоты в работу оценивают термическим КПД η_t , под которым понимают отношение работы A , получаемой за цикл, к теплоте Q_1 , получаемой рабочим телом от первичного источника энергии: $\eta_t = A/Q_1$. Из термодинамики известно, что если задана температура T_1 подвода теплоты Q_1 и температура T_2 отвода теплоты Q_2 , то наибольший возможный термический КПД определяется следующим выражением:

$$\eta_{t,\max} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Из формулы можно сделать вывод, что с точки зрения эффективности преобразования теплоты в работу источники теплоты не равноценны. Чем выше температура первичного источника энергии и ниже температура окружающей среды, тем большую долю теплоты можно превратить в работу. Например, если иметь источник теплоты с температурой 360°C (типичная температура геотермальных источников), то из 1 Дж такой теплоты можно в лучшем случае получить 0,2 Дж механической работы (КПД 20%). Если же источник теплоты имеет температуру 2000°C , то из 1 Дж такой теплоты уже можно получить 0,85 Дж механической работы. Теплота при температуре окружающей среды $T_1 \approx T_2$ не имеет энергетической ценности, ибо из нее нельзя получить механическую работу или электроэнергию ($\eta_{t,\max} \sim 0$).

Идея использования тепловой энергии океана была впервые выдвинута в 1881 г. французским физиком Ж. д'Арсонвалем. Он обратил внимание на то, что во многих районах Мирового океана существует устойчивая разница между температурой приповерхностных и глубинных слоев воды, которую можно использовать для производства электричества. В ряде тропических районов она достигает 20°C (25°C на поверхности океана и 5°C на глубинах порядка 400 м) (рис. 15). Термодинамическая эффективность извлечения полезной энергии из океанической разности температур составляет в лучшем случае 7%. Следовательно, требуется высокое техническое совершенство устройств океанских тепловых электростанций (рис. 16). Ученик Ж. д'Арсонваля Ж. Клод первым продемонстрировал возможность практического осуществления этой идеи. Вначале он провел



Р и с. 15. Зависимость температуры океана от глубины

1 — в бухте Тояма; 2 — в проливе Осуми; 3 — у острова Ириомото

Р и с. 16. Схема основных элементов ОТЭС замкнутого цикла

1 — теплая вода; 2 — теплая вода, охлажденная до 23°С; 3 — рабочий пар высокого давления; 4 — рабочая жидкость высокого давления; 5 — рабочая жидкость низкого давления; 6 — рабочий пар низкого давления; 7 — конденсатор; 8 — холодная вода; 9 — холодная вода, подогретая до 7°С; 10 — турбогенератор; 11 — электричество

ряд экспериментов на барке в Средиземном море, а затем построил в конце 20-х годов демонстрационную установку в заливе Матансас на Кубе. В ходе этих опытов в конце концов удалось генерировать электроэнергию в течение нескольких дней. Мощность установки была около 22 кВт, но трубы, по которым поступала холодная вода, были разрушены штормом. Поскольку нефть в те годы была дешевой и имелась в избытке, установка так и не была восстановлена. Ж. Клод использовал морскую воду в качестве рабочего тела так же, как в наши дни используют пар для производства электроэнергии. В 1944 г. во Франции была создана частная компания «Энергия морей», которая спроектировала две достаточно крупные для того времени электростанции, работающие на тепловой энергии океана. Техническая реализация этих проектов была принципиально возможна, однако экономически они были убыточны.

В начале 70-х годов в связи с энергетическим кризисом работы по использованию тепловой энергии океана в ряде стран развернулись значительно шире. В частности, общий объем финансирования американских работ достигает почти 100 млн долл. в год. В Японии

планируется создание ОТЭС мощностью 100 МВт. Во Франции проектируется ОТЭС мощностью 1 МВт. Организован консорциум ряда европейских крупных частных компаний «Евроокеан».

В августе 1979 г. в США вступила в строй установка ОТЭС, дающая «чистый» выход энергии. Миниустановка была смонтирована на барже вблизи мыса Кеахале на Гавайских островах (рис. 17). На примере этой установки была показана возможность производства в небольшом масштабе энергии за счет перепада температур в океанских водах. На барже размером 10×35 м была размещена небольшая установка в 50 кВт, состоящая из теплообменников и турбогенераторной системы. Рабочей жидкостью служил аммиак, циркулирующий в замкнутой системе, действующей по принципу кондиционера воздуха, включенного наоборот.

Миниустановка ОТЭС использует 10 тыс. л тепловой воды при температуре 27,2° С и такое же количество воды при 6° С для производства 50 кВт энергии. Холодная вода подается на поверхность по трубе длиной почти 675 м, сделанной из высокоплотного полиэтилена. Труба служит еще и основой якорной системы судна. Полный выход энергии был немного выше расчетной величины. Установка была смонтирована в основном из стандартных деталей. Расчетный КПД цикла Карно составлял около 7,5%.

Тепловая энергия океана

Для того чтобы представить себе перспективы использования ОТЭС, оценим запасенную в океанах тепловую энергию. Это можно сделать разными способами, поэтому в отечественной и зарубежной литературе приводятся данные, различающиеся во много раз. При этом, как правило, учитываются лишь тропические районы океана. Если известны объем V и температура T_1 тепловых поверхностных вод, их плотность ρ и удельная теплоемкость C , а также температура, до которой можно охладить этот слой, то запасенную энергию в нем подсчитывают по хорошо известной из термодинамики формуле $E = \rho CV(T_1 - T_2)$.

На протяжении более 6000 км вдоль экватора, между 15° южной и северной широт, поверхностный перемешанный слой толщиной 100 м имеет температуру 27—28° С, а температура, до которой можно его охладить, 5° С. Объем теплых вод поверхностного слоя в указан-

ных районах оценивается в 10 млн км^3 , удельная теплоемкость морской воды — примерно в 4200 Дж/кг·град, а плотность — порядка 1 т/ м^3 . Следовательно, запасенная тепловая энергия 10^{24} Дж. Для того чтобы определить, какую часть из этого огромного количества можно теоретически превратить в механическую или электрическую энергию, величине 10^{24} Дж умножим на КПД цикла Карно, работающего между температурами 28 и 5°C . В результате получаем $6 \cdot 10^{22}$ Дж. Если учесть, что время перемешивания вод океана, установленное на основе исследований глубоководной циркуляции, равно примерно 1 тыс. лет, то мощность тропических морей достигает 10 ТВт, что почти в 10 раз больше годового производства электроэнергии во всем мире.

Конечно, извлечь теоретически доступную тепловую энергию океана невозможно. Нельзя, например, всю поверхность тропических вод покрыть плавучими электростанциями, необычайно трудно создать тепловую машину с КПД, близким к КПД цикла Карно. Поэтому ясно, что вопрос об оценке тепловых энергетических ресурсов океана требует дополнительного рассмотрения. Реально извлекаемые энергетические ресурсы океана должны определяться из условия сохранения теплового равновесия природной среды, причем равновесие должно сохраняться не только в глобальном, но и в региональном масштабе. Таким образом, необходимо выявить допустимое изменение температуры воды в океане.

Главное влияние, которое оказывают на природу океанские тепловые электростанции, заключается в уменьшении температуры воды в океане, вследствие чего изменяются основные потоки энергии между океаном и атмосферой. Любая система преобразования энергии, если она изменяет естественные потоки энергии, не может быть свободна от искусственных климатических эффектов.

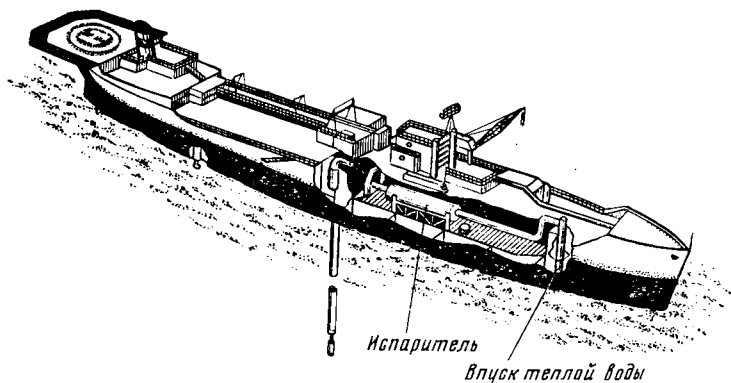
Разумно предположить, что изменение температуры поверхностных слоев океана в силу преобразования их тепловой энергии не должно превышать естественные флюктуации средней глобальной температуры Земли. Необходимые данные о них дают многолетние наблюдения за климатом. Данные о средней температуре северного полушария Земли за 1880 — 1980 гг., например, показывают, что в целом первая половина этого периода была холоднее второй на $0,3^\circ$. Многие специалисты считают, что изменение средней температуры Земли

приблизительно на $0,5^\circ$ не должно вызывать серьезные климатические отклонения.

В нашем случае рассматривается изменение температуры не всей глобальной системы, а только ее части — верхнего, перемешанного тропического слоя Мирового океана. Кроме того, океан поглощает в 1,8 раза больше солнечной энергии, чем суша, и тем самым существенно быстрее восстанавливает потерянную тепловую энергию. Поэтому предполагают, что допустимое уменьшение температуры поверхностных слоев океана вследствие использования его тепловой энергии может составлять $0,5^\circ$. При изменении температуры поверхности океана на эту величину меняется тепловое излучение водной поверхности. Количество тепловой энергии, которое без ущерба можно изъять из океана, как раз и равно изменению теплового излучения тропических областей Мирового океана, т. е. в 2 раза больше мирового потребления электроэнергии в 1980 г. Мощность тепловых ресурсов океана приближается к 11 млрд кВт.

Использование достаточно мощной ОТЭС в одном и том же месте в океане ограничено во времени. Представим себе, что средняя температура теплового слоя упала ниже допустимой нормы. Дальнейшая эксплуатация ОТЭС возможна только при наличии течений, приносящих тепловую энергию из других районов океана. Перепад температур ΔT при разности глубин ΔH сохраняется в этом случае постоянным, и мощность системы можно оценить по формуле $W = \rho C \Delta T \Delta H U S \kappa \eta / L$, где ρ и C — плотность и теплоемкость воды; U — скорость горизонтального течения; S — площадь океана, занятая электростанцией; L — размер системы вдоль направления течения.

Кроме коэффициента η , в формулу введен некий коэффициент совершенства технической системы преобразования энергии κ . Естественно, что коэффициент κ всегда меньше единицы. В случае термомеханического преобразования энергии при использовании турбогенераторов, приводимых в движение нагретым паром испарившейся жидкости, коэффициент κ может иметь значение от 0,1 до 0,5. Возможно прямое термоэлектрическое преобразование энергии океана при использовании затопленных полупроводниковых батарей. В этом случае коэффициент κ обычно не превышает 0,1. Даже с учетом таких малых величин коэффициента преобразования энергии в океане при перепаде температур



Р и с. 17. Конструкция системы ОТЕС-1, разрабатываемой в США для работы вблизи Гавайских островов

$\Delta T = 10^\circ \text{C}$ на глубинах $h = 1000$ м с поверхности $S = 1$ км² можно получить электрическую мощность около 1 тыс. МВт при скорости горизонтального течения воды 10 см/с. Это мощность примерно 10 современных атомных электростанций.

В океане встречаются районы со значительными термальными ресурсами. Например, в Тихом океане у берегов Японии перепад ΔT может достигать более 20°C даже в широтах севернее субтропических. Именно здесь предполагается создание первых японских ОТЭС.

Важное преимущество солнечной энергии, накапливаемой в океане, заключается в том, что она практически не меняется в течение суток. Малость суточных вариаций, связанная с большой теплоемкостью и механической инерционностью воды, позволяет обходиться без систем аккумулирования энергии, которые принципиально необходимы при использовании солнечной энергии на суше.

Тропические океанские тепловые электростанции

В настоящее время проводятся эксперименты с двумя типами систем преобразования тепла приповерхностных слоев океана — «закрытой» и «открытой». На рис. 16 показана первая система. Насос обеспечивает циркуляцию аммиака, имеющего очень низкую температуру кипения, в замкнутом контуре. Теплая океаническая вода

(25° С) нагревает в бойлере аммиак до 20° С, который переходит в газообразное состояние. В этом виде он поступает на турбину, где расширяется и приводит в действие генератор. Оттуда выходит с пониженной температурой и давлением и пропускается через теплообменник, использующий холодную воду; газ сжимается, и цикл повторяется вновь.

В «открытой» системе в качестве рабочего тела используется морская вода. С помощью насоса она передается из теплого слоя (25—28° С) в частично вакуумированный испаритель, где поддерживается давление на уровне 3,5% атмосферного. При пониженном давлении температура кипения воды уменьшается, она превращается в пар и направляется в турбогенератор. Отработанный пар конденсируется холодной водой из океанских глубин. Отработанная вода сбрасывается в океан. Реально оцениваемый КПД такого цикла значительно меньше теоретического и составляет лишь 3—4%.

Трудности использования энергоресурсов океана возникают и вследствие низкой плотности энергии. Это приводит к необходимости прокачивать через систему преобразования энергии большое количество воды. Для тропических районов океана теоретически объемный расход теплой воды через систему равен $V=W/2000$, где W — мощность ОТЭС, кВт. Для тепловой электростанции мощностью 100 МВт, например, получаем расход в 50 м³/с (180 тыс. м³/ч).

Необходимо также отметить следующее условие, которое нужно соблюдать при определении наибольшей мощности системы преобразования энергии для конкретного района в океане: подача теплой воды должна быть такой, чтобы не вызвать гидродинамического возмущения воды в термоклине непосредственно под теплым перемешанным слоем океана. В противном случае в систему будет поступать более холодная вода, что вызовет снижение мощности.

Наряду со стационарными электростанциями, расположенными как вблизи берега, так и на самом берегу в районах океана с наибольшей разностью температур, разрабатывается теория «океанских плавучих электростанций». Они будут представлять собой плавучие заводы, направляющиеся в районы с наибольшей разностью температур. Для определения таких районов и прогнозирования маршрутов перемещения плавучих электростанций уже используются спутники.

Транспортировка энергии с моря на берег может осуществляться различными способами, и прежде всего по подводному кабелю. Это экономически целесообразно в том случае, если расстояние до берега не превышает 300 км, однако сейчас изучаются и другие способы передачи энергии. Одновременно рассматривается возможность организации на месте энергоемких производств, например аммиака для удобрений, алюминия.

Энергия океана позволяет производить такое перспективное топливо, как водород. Методы получения водорода могут быть самыми разнообразными: электрохимическими, термохимическими, термическими и т. д. Водород называют топливом будущего. И это верно, так как ему свойственна значительная энергоемкость. Теплотворная способность водорода почти в 3 раза больше, чем у нефти, и примерно в 4 раза больше, чем у каменного угля. При сгорании водорода в среде кислорода образуются только пары воды, поэтому его применение в качестве основного топлива наиболее перспективно с точки зрения сохранения окружающей среды.

Системы преобразования энергии океана следует, по-видимому, совместить с производством водорода, который можно накапливать, превращать из газообразного состояния в жидкое и в дальнейшем транспортировать с помощью специальных судов типа танкеров. Особый интерес представляют системы преобразования термальной энергии океана, вынесенные в удаленные от основных потребителей экваториальные зоны Мирового океана. В океане можно производить не только водород, но и другие вещества, требующие большого количества энергии и использующие в качестве сырья океанскую воду с растворенными в ней компонентами. Например, в океане можно получать в больших количествах аммиак, используя тот же водород и азот из воздуха. В будущем, вероятно, ОТЭС можно применять для производства пресной воды. Сопутствующее этому производству получение солей из морской воды может послужить сырьевой базой для развития специальных отраслей химической промышленности. Помимо производства пресной воды и выработки электричества, возникает возможность широкого развития рыболовства в окрестных водах. Холодная вода, которая при помощи насосов поднимается на поверхность, богата питательными веществами, что благоприятствует развитию морской фауны. В водах течения Гумбольдта — холодного пото-

ка, поднимающегося па поверхность у берегов Перу, добывается примерно 20% мирового улова рыбы. Сейчас возлагаются большие надежды на развитие марикультуры или аквакультуры (морского сельского хозяйства).

Тепловая энергия океана, хотя и представляется многообещающим источником энергии, однако ее освоение связано с решением ряда сложных проблем. Морские организмы сплошь покрывают днища кораблей, поверхности теплообменников. Поэтому уже сейчас разрабатываются соответствующие методы очистки. Сложнейшую техническую проблему представляет транспортировка и сборка труб для подъема на поверхность холодной воды, они могут достигать 20 м в диаметре и многих сотен метров в длину. Возникают трудности не столько в области техники, сколько в области морского права. Где могут работать ОТЭС, как должна регулироваться их деятельность, как облагать их налогами?

Арктические океанические тепловые электростанции

Для производства электрической и механической энергии принципиально возможно использовать разность температур между морской водой и холодным воздухом арктических (антарктических) районов земного шара. Средняя многолетняя температура воздуха, например, у Арктического побережья СССР, в районах от 150 до 163° в. д., составляет — 13,7° С. При этом более 150 сут в году температура держится менее — 10° С. Температура морской воды в рассматриваемых районах в зимний период непосредственно в слоях подо льдом близка к температуре замерзания при данной солености и колеблется от — 0,5° до — 1,5° С. На глубинах от 200 до 800 м температура воды даже в районе Северного полюса достигает 1° С. Таким образом, можно уверенно говорить об устойчивой разности температур около 15°.

В ряде районов Северного Ледовитого океана, особенно в устьях больших рек, таких, как Енисей, Лена, Обь, в зимнее время года имеются особо благоприятные условия для работы арктических ОТЭС. Средняя многолетняя зимняя (ноябрь—март) температура воздуха не превышает здесь — 26° С, а скорость ветра весьма постоянна — 10 м/с. Более теплый и пресный сток рек прогревает морскую воду подо льдом до 3° С. Здесь

же наиболее высокая скорость течения достаточно толстого слоя (15 м), доходящая до 0,4 м/с. Для сравнения укажем, что характерная скорость постоянных течений в прибрежных районах Северного Ледовитого океана составляет лишь 0,02 м/с при глубине менее 100 м.

Каков же энергетический потенциал арктических морей? Для ответа на этот вопрос еще раз вспомним, что тепло отбирается от морской воды, которая при этом охлаждается. Но воду можно охладить только до температуры замерзания. Следовательно, можно рассчитывать на тепло, которое отдаст морская вода, изменяя свою температуру в лучшем случае с 3°C до температуры замерзания $-0,5^{\circ}$. Считается, что 1 м^2 поверхности арктических морей может дать мощность 4—9 кВт в зависимости от температуры атмосферного воздуха ($-10\dots -30^{\circ}\text{C}$).

Арктические океанские тепловые электростанции могут работать по обычной схеме ОТЭС, основанной на закрытом цикле с низкокипящей рабочей жидкостью. В ОТЭС входят: парогенератор для получения пара рабочего вещества за счет теплообмена с морской водой, турбина для привода электрогенератора, устройство для конденсации отработавшего в турбине пара, а также насосы для подачи морской воды и холодного воздуха. Основные различия в схемах относятся к контуру конденсации. В качестве конденсатора часто рассматривается теплообменный аппарат поверхностного типа, в котором имеет место теплоотдача от трубок к воздуху. Воздух через конденсатор продувается вентилятором или за счет естественной конденсации. Применяется также промежуточный теплоноситель (раствор CaCl_2), циркулирующий в своем замкнутом контуре. Охлаждение раствора после выхода из конденсатора осуществляется в дополнительном поверхностном теплообменнике. Продувание воздуха через этот теплообменник производится вентилятором или за счет естественной конвекции.

В обычных условиях работы этих аппаратов коэффициент теплоотдачи к воздуху составляет не более $50\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$, а плотность теплового потока $0,25\text{ Вт}/\text{м}^2$. Удельная тепловая мощность конденсатора (в киловаттах тепловой мощности на 1 кВт эффективной мощности станции) составляет 30—45, а удельная поверхность теплообмена конденсатора 120—225 $\text{м}^2/\text{кВт}$. Очевидно, что в этом случае размеры конденсатора огромны. Это же относится к массе конденсатора. Пред-

ставляется, что применение этих схем в арктических ОТЭС маловероятно.

Более перспективна схема арктической ОТЭС с промежуточным теплоносителем, охлаждаемым воздухом в оросительном режиме. Промежуточным теплоносителем может быть водный раствор CaCl_2 , широко используемый в холодильной технике. При концентрации 26 кг соли на 100 кг воды раствор при температуре -25°C имеет плотность 1261 кг/м^3 , удельную теплоемкость $2805\text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$, коэффициент теплопроводности $0,5\text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$, кинематический коэффициент вязкости $1,04\cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{с}$. В схеме с оросительным охладителем пар рабочего вещества ОТЭС конденсируется за счет прокачивания через него холодного раствора хлористого кальция. После конденсатора раствор в виде капель диаметром $1\text{--}2\text{ мм}$ соприкасается с атмосферным воздухом и охлаждается. Коэффициент теплоотдачи от капель к воздуху значительно выше, чем для трубок воздушного конденсатора, из-за небольшой толщины теплового и гидродинамического пограничных слоев у поверхности капель. В оросительном охладителе высокая относительная скорость воздуха может быть получена без применения вентилятора. Например, для капли раствора диаметром $1,5\text{ мм}$ скорость падения в воздухе (скорость витания) составляет не менее 6 м/с , а для капли 2 мм — более $7,5\text{ м/с}$. Кроме того, при использовании энергии ветра суммарная скорость воздуха относительно капли больше скорости ее падения, что увеличивает коэффициент теплоотдачи. К достоинству схемы арктической ОТЭС с оросительным охладителем следует отнести то, что конденсатор станции практически не отличается от конденсатора ОТЭС для тропических районов океана и нет принципиальных ограничений для применения различных термодинамических циклов.

Отметим также, что основным вариантом схемы с дополнительным оросительным охладителем можно считать конструкции парогенератора и конденсатора с горизонтальными пучками гладких труб, в которых течет охлаждающая жидкость.

Рабочее вещество арктических ОТЭС должно удовлетворять ряду (зачастую противоречивых) требований. Важнейшие из них следующие. 1. Давление рабочего вещества при наименьшей температуре цикла не должно быть ниже атмосферного во избежание подсосов воздуха, что ведет к остановке станции и потере неко-

торой части дорогостоящего вещества во время регламентных работ. Давление при наибольшей температуре должно быть минимально возможным во избежание плохих весогабаритных характеристик. 2. Рабочее вещество должно обеспечивать максимальную термодинамическую эффективность цикла, так как термодинамические потери в ОТЭС являются главными. 3. Интенсивность теплообмена рабочего вещества в аппаратах станции должна быть высокой, чтобы обеспечить приемлемые массу и габариты этих аппаратов. 4. Эксплуатация установки с данным веществом должна быть безопасной.

Перечисленным выше условиям для арктических ОТЭС удовлетворяют дифтордихлорметан (фреон-12), трифтормонохлорметан (фреон-13), дифтормонохлорметан (фреон-22), пропан, аммиак и некоторые другие вещества. Рассмотренные вещества, кроме фреона-13, практически равнозначны для применения в арктических ОТЭС по таким основным параметрам установки, как КПД и полезная мощность. Различия возникают при оценке габаритов теплообменников и турбин, зависящих, как было показано выше, от возможного значения коэффициентов теплопередачи. Здесь преимущество имеет аммиак, хотя при использовании современных методов интенсификации теплообмена для других веществ это преимущество уменьшается. Аммиак имеет и более высокую теоретическую работу 1 кг пара в турбине, например по сравнению с фреоном-22 в 6 раз, что приводит к меньшему расходу аммиака при одинаковой мощности установки. Но объемный расход аммиака не меньше, чем фреона-22, из-за большого удельного объема пара аммиака. Так как объемный расход вещества определяет габариты различных элементов установки, то, следовательно, и с этой точки зрения рассмотренные вещества равнозначны. Аммиак наименее удовлетворяет требованиям безопасной эксплуатации.

Следует отметить, что, проектируя арктические ОТЭС, нужно учитывать ряд их специфических особенностей. Станция сбрасывает охлажденную воду в виде струи, распространяющейся по определенному закону. Область возмущения акватории при истечении пьезотермической струи должна быть тщательно определена. При создании арктических ОТЭС необходимо новое проектирование основных элементов и лишь в отдельных случаях возможно применение выпускаемого в

настоящее время оборудования. В первую очередь это относится к насосам. Полезная мощность станции может составлять в зависимости от метеорологических условий только 15—16% номинальной. Следовательно, арктические ОТЭС должны состоять из блоков (модулей), а также иметь значительный запас установленной мощности.

Считается, что зимой в арктических районах океана энергия, обусловленная разностью температур морской воды подо льдом и атмосферного воздуха, может использоваться достаточно эффективно.

Важные, но в количественном отношении еще недостаточно ясные ограничения возникают вследствие влияния систем преобразования тепловой энергии океана на природную среду. В частности, гидродинамические и тепловые возмущения в океане в районе ОТЭС настолько велики, что позволяют говорить о влиянии этих систем на окружающую среду от местного до регионального и глобального масштабов. Эти влияния выражаются в местном изменении циркуляции вод, в биологическом воздействии на район океана, в региональных аномалиях и изменениях климата и др. Охлаждение вод океана вниз по течению за ОТЭС может вызвать увеличение питательных веществ в поверхностном слое и, как следствие, рост фитопланктона.

В отличие от обычных электростанций, в значительной мере загрязняющих окружающую среду, энергия океана представляется сегодня более чистым источником энергии. После проведения предварительных исследований по изучению воздействия ОТЭС на окружающую среду против них были выдвинуты лишь минимальные возражения. С одной стороны, морские организмы защищены от водозаборников экранами, с другой — на их развитии благоприятно сказывается богатая питательными веществами вода, которая поднимается с больших глубин, где жизнь очень ограничена. Специалисты подсчитали, что в 2000 г., если вся энергия на Земле будет производиться за счет солнечной энергии океана, температура поверхности тропической части Мирового океана может понизиться меньше чем на полградуса, поскольку будет постоянно подогреваться за счет солнечных лучей.

Последствия этих изменений должны еще тщательно изучаться. Может так оказаться, что глубинные микроорганизмы при подъеме к поверхности будут просто

загрязнять океан и придется принимать специальные меры по его очистке.

К отрицательным влияниям можно отнести и утечки из действующих ОТЭС в океан аммиака или фреона, а также веществ, используемых для промывки теплообменников (хлор и др.). Возможно также значительное выделение углекислого газа из холодных глубинных вод, поднимаемых на поверхность вследствие снижения их давления и повышения температуры. Выделение углекислоты из воды при работе океанских тепловых станций может быть на 30% больше, чем при работе обычных ТЭС той же мощности, использующих органическое топливо.

Создание ОТЭС потребует новых синтетических материалов, дефицитных дорогостоящих металлов, таких, как магний, титан и др. Сложной представляется организация технической безопасности, аварийных служб, контроля экологической чистоты.

Энергия морских приливов

Использовать энергию приливной волны человек научился много веков назад. Приливы — периодические колебания уровня океана — вызываются притяжением Луны и Солнца, а также центробежными силами, возникающими при вращении Земли. Влияние Луны, которая находится значительно ближе к Земле, чем Солнце, является преобладающим и определяет основные черты морских приливов. Луна притягивает к себе как воду, так и сушу. В силу более высокой текучести океанская вода смещается и как бы приподнимается с той стороны Земли, которая обращена к Луне, в открытом океане уровень воды поднимается до 60 см. По мере вращения Земли эта область перемещается. На границе раздела океан—суша в зависимости от структуры побережья и прибрежного шельфа высота приливной волны достигает 18 м (с шестиэтажный дом).

Взаимное положение Луны, Земли и Солнца все время меняется, подчиняясь законам небесной механики. Соответственно непостоянны и приливы. В течение суток, например, наблюдается периодическое изменение уровня воды. Обычно прилив и отлив бывают 2 раза в сутки. Максимальное поднятие уровня называется полной водой, минимальное — малой. Колеблется высота прилива и в течение месяца.

Каковы же потенциальные запасы приливов? По мнению специалистов, на земном шаре имеется 100 участков морского побережья, где можно построить приливные электростанции (ПЭС) и выработать примерно 26 ТВт·ч/год электроэнергии. Однако не всю эту энергию экономически целесообразно производить сегодня. Дело в том, что на большинстве побережий средняя высота прилива всего несколько метров. Ясно, что при таком маленьком напоре преобразование гидравлической энергии вряд ли окажется эффективным.

Какие же участки считаются наиболее перспективными для использования энергии приливов? В первую очередь — это достаточно большой залив (губа, бухта, эстуария), который сравнительно просто отделить дамбой от моря для создания рабочего бассейна. Перепад уровня воды во время приливов и отливов при этом должен превышать 5 м. Глубина воды вблизи перемычки невелика, поэтому не надо строить большие подводные сооружения. А участок, который нужно перекрыть дамбой, мал и достаточно лишь для того, чтобы разместить необходимое оборудование. В мире насчитывается лишь 20 мест, где по географическим условиям сооружение приливных электростанций сегодня могло бы оказаться экономически целесообразным.

Сколько-нибудь серьезных успехов в использовании приливов еще не достигнуто, хотя первые приливные мельницы работали на побережьях Андалусии и Англии в XI в. В XIII в. приливы уже вращали жернова мельниц во Франции, в Канаде, России и США. Вблизи города Шербур (Франция) и по сей день работают две такие мельницы. Промышленная революция, создание систем энергоснабжения способствовали тому, что приливные мельницы, как и ветровые, почти исчезли.

Впервые использовать энергию приливов для производства электроэнергии попытался инженер Д. Купер, решив построить ПЭС мощностью 230 тыс. кВт в заливе Пассамакводи. Работы начались в 1935 г. и вскоре были приостановлены, когда эксперты определили, что стоимость 1 кВт·ч, производимого этой электростанцией, будет значительно выше, чем производимого гидроэлектростанцией. Однако этот опыт не пропал даром. С тех пор удалось разработать более экономичные схемы генерации электроэнергии на ПЭС.

В простейшем варианте принцип действия приливной электростанции сводится к следующему. Во время

прилива вода наполняет какой-либо резервуар, а во время отлива вытекает из него, вращая гидравлические турбины. Это так называемая одnobассейновая схема приливной электростанции. Более сложная схема — двухбассейновая: энергия производится как во время прилива, так и во время отлива. Но для реализации ее нужны специальные гидравлические турбины, работающие при противоположных направлениях потока воды.

Энергия приливов непостоянна, и поэтому совсем не просто ее использовать. Время наступления полной и малой воды, например, меняется от дня ко дню: каждый следующий день наступает позже на 50 мин. и редко совпадает с пиком потребления. В случае одnobассейновой схемы ПЭС имеются длительные периоды времени, когда энергия и вовсе не производится. Даже в более сложных многобассейновых схемах производство энергии далеко не постоянно во времени. Для устранения этого недостатка целесообразно, чтобы ПЭС была включена в крупную энергосистему, т. е. работала не изолированно, а совместно с другими типами электростанций. Например, если в системе имеется гидроэлектростанция, то в часы, когда ПЭС имеет максимальную мощность, она могла бы работать на пониженном режиме, экономя запасы водохранилища, реализуя их позже, когда мощность ПЭС будет падать. Более того, избыточную энергию тепловых электростанций, скажем, ночью, когда нагрузка в сети упала, удобно использовать для того, чтобы качать воду из моря в бассейн выше уровня полной воды. В утренние часы «пик» запасенную в бассейне энергию ПЭС может отдавать в сеть, если мощность тепловых электростанций оказывается недостаточной для покрытия растущих нагрузок.

Современные конструкторские разработки позволяют строить технически совершенные ПЭС, которые обладают рядом неоспоримых преимуществ. Они, например, очень надежный возобновляемый источник энергии, не требуют отторжения больших территорий суши и моря и, как правило, долговечны — могут эксплуатироваться до 100 лет.

Сегодня в мире имеются две достаточно крупные ПЭС — Раис во Франции и Кислогубская в СССР. Раис была сдана в эксплуатацию в ноябре 1967 г. вблизи города Сен-Мало. Средняя высота прилива составляет здесь 8,5 м, а максимально полная вода поднимается

до отметки 13,5 м. На ПЭС установлено 24 капсульных агрегата по 10 МВт каждый. Агрегаты электростанции многоцелевые: могут вырабатывать электроэнергию, служить насосами и шлюзами независимо от направления течения воды. Они устойчиво дают запланированные 500 млн кВт·ч/год электроэнергии. На ПЭС прошли проверку временем важнейшие элементы конструкции.

Кислогубская приливная электростанция сооружена на побережье Баренцева моря. Она пущена в эксплуатацию в 1968 г. На станции установлены две турбины мощностью по 400 кВт каждая. При сооружении Кислогубской ПЭС были использованы приемы, позволившие удешевить и ускорить строительство.

В канадской провинции Новая Шотландия строится одна из крупнейших в мире электростанций на приливной волне. У побережья Атлантического океана возводится гигантская дамба длиной 8 км. В ней строители должны проделать 80 шлюзов, через которые устремится вода прилива. Приливная волна будет приводить в движение 106 турбин. Мощность электростанции составит 4800 МВт, что примерно в 22 раза больше мощности французской электростанции Ранс. О масштабах проекта говорит тот факт, что через шлюзы за 1 с будет проходить 30 тыс. м³ воды. Стоимость электростанции составит более 20 млрд долл. Работы по сооружению колоссальной электростанции продлятся по меньшей мере 10 лет.

Энергия волн

Волны, налетающие на берег во время сильного шторма, весьма наглядно демонстрируют, какая громадная энергия таится в них. Известны случаи, когда во время шторма опрокидывался волнолом весом 7 тыс. т, разрушались береговые сооружения весом почти 18 тыс. т, у тяжелого крейсера волна однажды оторвала 30-тонный кусок носовой части судна.

Энергия волны пропорциональна квадрату ее амплитуды, а мощность — произведению квадрата амплитуды на ее период. Так, мощность волны высотой 1 м с периодом 5 с равна примерно 2,5 кВт/м, двухметровой — почти в 10 раз больше, 22,1 кВт/м, а четырехметровой — 39,2 кВт/м. Мощность десятиметровой волны с периодом 15 с достигает громадных значений — 735 кВт/м.

На интенсивность волнообразования влияет состояние моря. Например, перед штормом или после него амплитуда волн равна 1—2 м, имеющаяся в них энергия составляет 2—8 кВт/м. При умеренном шторме энергия волн достигает 250 кВт/м, при сильном — до 900 кВт/м. Средняя энергия волн зимой может быть в 5—6 раз больше, чем летом, осенью море, как правило, более беспокойное, чем весной.

Период ветровых волн лежит в диапазоне от 2 до 20 с, а высота гребня достигает 30 м. В 1971 г. волна высотой 27 м снесла буровую вышку на острове Ванкувер в Тихом океане. Морские волны в отличие от звуковых и электромагнитных движутся со скоростью, существенно зависящей от периода. Чем больше период, тем выше их скорость, следовательно, одна волна может догнать другую, имеющую меньший период. Когда вершина одной волны настигает вершину другой, временно возникает волна, превышающая по высоте и ту и другую.

Оценки показывают, что вблизи береговой линии Мирового океана мощность волн равна примерно 2,7 тыс. ГВт. Если же говорить о всей поверхности Мирового океана, то потенциальный ресурс волн доходит до 70 тыс. ГВт. Для большинства прибрежных районов мира нет сколь-либо точных данных о мощности волн. Наиболее достоверные имеются лишь для северных районов Атлантики. Так, в Северо-Восточной Атлантике средняя годовая мощность, приходящаяся на 1 м длины волнового фронта, составляет 88 кВт, в Северной Атлантике — 15—70 кВт. Изучены возможности волновой энергетики в Великобритании. На каждый метр волнового фронта вдоль Британского побережья в среднем за год приходится мощность 80 кВт.

Приведенные выше цифры относятся к энергии волн, движущихся во всех направлениях. Реально можно использовать, как это представляется сегодня, только часть этой энергии, например энергию волн, двигающихся по направлению к берегу. Нужно также учесть, что КПД преобразования механической энергии волн в электрическую далек от 100%. Существуют также потери энергии в системе передачи энергии к потребителю. Все это свидетельствует о гораздо более скромных возможностях волновой энергетики.

Как образуются волны? Читатель, несомненно, знает, что первопричина волн на поверхности океанов, морей,

озер и рек — ветер. Это он дает часть своей энергии воде, приводя в движение поверхностные слои. Океан никогда не бывает абсолютно спокоен, а движущиеся массы воды обладают значительной инерцией. Следовательно, волны являются своеобразным аккумулятором энергии ветра. Ветер часто меняет свое направление и силу, поэтому волны также, как правило, неодинаковы, нерегулярны, движутся в разных направлениях и с разной скоростью. Из штормовых областей океана они движутся со сравнительно малым затуханием, пока не разрушатся на береговой полосе.

Возможность извлечения энергии волн в течение многих лет привлекала внимание людей. Впервые предложили использовать энергию волн в 1799 г. отец и сын Жерары из Парижа. Их идея заключалась в том, чтобы построить гигантский рычаг с точкой опоры на берегу и понтоном на конце рычага, находящимся в море. Когда устройство поднимается и опускается, следуя колебаниям волн, береговое плечо рычага, двигающегося вверх-вниз, можно использовать для вращения жерновов мельниц, движения кузнечных молотов, пил и пр.

По современным представлениям преобразователи энергии волн следует располагать не на берегу, а в прибрежных районах океана. Предлагается сооружать плавающие конструкции, которые при прохождении волн должны либо качаться друг относительно друга, либо иметь шарнирную конструкцию, позволяющую одной части подниматься и опускаться вслед за волной, а другой — оставаться неподвижной. Относительные смещения элементов конструкций используются для прокачки воздуха или воды через турбины, соединенные с электрогенераторами. Преобразователи энергии волн следует устанавливать относительно близко к суше и максимально использовать набегающие на нее волны. Устройство должно эффективно утилизировать энергию волн всех периодов и амплитуд, характерных для данного места, и полностью использовать энергию волн до глубины, где круговое движение частиц воды становится пренебрежимо малым. Материалы конструкций и конструкторские решения, безусловно, обязаны быть рассчитаны на возможность использования энергии волн во время шторма. Хорошая конструкция должна содержать минимальное количество движущихся частей. Поскольку волнообразование существенно меняется во времени и далеко не регулярно, то в конструкции необходимо

предусмотреть широкий диапазон функционирования ее элементов.

Устройства волновой энергетики приводят к уменьшению волнообразования и тем самым нарушают привычную картину морского побережья. Следует обратить внимание на неудобство движения транспортных судов вдоль побережья, на существенное изменение характера движения прибрежных песков, а также на эрозию побережья. Конструкции волновых электростанций могут оказаться опасными для судов во время сильных штормов. Особое внимание придется уделять прочности и надежности якорных устройств, которые должны быть рассчитаны на экстремальные штормовые условия. Зрительное восприятие волновых электростанций с побережья также должно быть учтено архитекторами и строителями. Элементы волновых электростанций весьма массивны и требуют большого количества материалов. Например, волновая электростанция, предложенная в Великобритании фирмой «Волновая энергия», имеет 100 м в длину, 50 м в ширину и 8 м в глубину. Если она будет построена из стали, то ее вес достигнет 3,5 тыс. т, на ее заякорение уйдет 12 тыс. т балласта.

Несмотря на даровое «топливо» волновых электростанций, их установка и эксплуатация требуют больших капитальных затрат. Следовательно, они должны быть рассчитаны на длительный период работы, чтобы стоимость сэкономленного топлива превысила все сделанные расходы. Отметим еще одно важное обстоятельство. Большинство традиционных электростанций могут работать с той мощностью, которая отвечает уровню спроса. Волновая энергетика, как и ветровая, зависит от капризов погоды и не может обеспечить постоянную подачу энергии потребителям без дополнительного использования мощных аккумулирующих устройств. А это, в свою очередь, дополнительно удорожает эксплуатацию волновых электростанций.

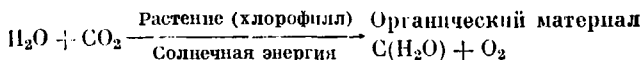
Плантации горючего

Основные источники биомассы

Самым древним возобновляемым источником энергии является биомасса, производимая живой природой. В основе этого производства лежит механизм фотосин-

теза растений, при помощи которого аккумулируется солнечная энергия, переходящая в химическую.

Фотосинтез является ключевым процессом жизни на Земле и может быть схематично представлен в виде следующей простейшей формулы:



В органическом материале с помощью реакций, протекающих под воздействием солнечного излучения, связываются также азот и сера, находящиеся в атмосфере и в самих растениях. По существующим оценкам, ежегодно растения в результате фотосинтеза аккумулируют около $2 \cdot 10^{11}$ т углерода с общим энергосодержанием $3 \cdot 10^{21}$ Дж, что в 10 раз превышает годовое потребление энергии человечеством и в 200 раз — энергосодержание потребляемой человеком пищи.

Основным источником биомассы бесспорно являются лес и сельскохозяйственные угодья. Только за год лес производит примерно $75 \cdot 10^9$ т биомассы с энергетическим содержанием, в 3 раза превышающим мировое энергопотребление за год. Отходы же сельскохозяйственного производства (в виде соломы и навоза) ежегодно составляют $4,2 \cdot 10^9$ т. Если эти отходы превратить в метан и углекислоту, то только они дадут одну десятую часть энергии, ежегодно потребляемой на земле.

Леса в настоящее время покрывают примерно 30% суши, что составляет около $4 \cdot 10^9$ га, из которых более половины принадлежит тропическим, субтропическим и саванным районам, где КПД фотосинтеза максимален, а следовательно, и прирост и возобновление использованной биомассы также максимальны.

Другой важный источник биомассы — трава, произрастающая на территории $25 \cdot 10^8$ га. В ряде районов она служит основным продуктом питания для многих видов диких и домашних животных. Отдельные быстрорастущие травы могут стать источником энергии.

Практически все виды сельскохозяйственных растений следует рассматривать как источники энергии. Однако в настоящее время в этом качестве используются прежде всего сахарный тростник, сладкое сорго, маниока, а также отходы сельского хозяйства и пищевой промышленности. Количество отходов сельскохозяйственных культур при их производстве зависит от вида возделываемых растений. Например, от люцерны

не остается практически никаких отходов, тогда как от пшеницы с 1 га паппи обычно получают более 6 т соломы, которая представляет собой высококалорийный источник энергии.

Хлебные злаки — самые большие источники сельскохозяйственных отходов, имеющих огромное энергетическое значение. Так, в конце 70-х годов после уборки урожаев только пшеницы, сорго и проса во всем мире оставалось более 1700 млн т соломы, бóльшая часть которой не использовалась.

Сахарная промышленность является другим крупным «производителем» биоотходов. Только от переработки сахарного тростника ежегодно получается около 50 млн т обрезков и более 60 млн т отжимок. На базе этих отходов можно производить различные виды топлива: синтетические нефть и газ, биогаз и спирты, которые заменят нефтепродукты и природный газ в различных энергетических установках. До настоящего времени отходы сельского хозяйства и агропромышленности не находили должного энергетического применения. Согласно имеющимся оценкам общее мировое использование этих отходов в качестве топлива не превышает 10 млн т/год, что составляет около 5% их общего энергетического потенциала.

Воды морей, океанов и внутренних водоемов также являются неиссякаемыми производителями биомассы. Это еще один, не менее перспективный источник энергии. С недавнего времени специалисты уделяют ему все больше внимания. Поскольку до 9% веса морских растений составляет вода, традиционное применение их, например сжигание для получения тепла, затруднено. Поэтому в настоящее время они являются сырьем для получения топлива через ферментационные процессы.

Определенное значение для энергетического производства могут иметь и экскременты животных. Их ежегодный объем, используемый в мире в целях получения энергии, оценивается примерно в 150 млн т.

Отходы промышленной деятельности, а также городские отходы содержат в себе большое количество органических компонентов (бумага, полимерные упаковочные материалы, пищевые отходы), которые могут быть применены для получения энергии. Специалисты подсчитали, что в городе с населением 500 тыс. человек ежегодно образуется более 150 тыс. т мусора, а пер-

гия, выделяемая при его сжигании, может на 10% удовлетворить энергетические потребности такого города.

Городские канализационные стоки также имеют определенный энергетический потенциал. Путем биогазификационных процессов из них можно получить метан — ценный энергоноситель.

Использование биомассы для производства энергии

Несмотря на то что применение биомассы в энергетике изучается немногим более двух десятилетий, в настоящее время разработаны уже достаточно надежные технологии.

Какими же способами осуществляется «энергетическая» переработка всевозможных видов биомассы? Для того чтобы ответить на этот вопрос, представляется целесообразным подразделить все виды имеющейся на нашей планете биомассы на следующие основные группы: биомасса неживотного происхождения; отходы животноводства; водная биомасса; физиологические отходы человека; промышленные и городские отходы органического происхождения.

Самую большую группу составляет биомасса неживотного происхождения, которая находит наиболее широкое применение при получении энергии и энергоносителей. Она употребляется для прямого производства: тепла через сжигание в различных топочных устройствах; угля путем сухой перегонки; спиртов с использованием процессов гидролиза, ферментации и сухой перегонки; синтетических нефти и газа с помощью процессов гидrogenизации и газификации, а также биогаза в условиях анаэробного разложения.

Отходы животноводства главным образом перерабатываются в метан, а также в высококачественные удобрения через анаэробное разложение. Водная биомасса представляет исключительный интерес для получения метана и спиртов с применением вышеупомянутых процессов. С анаэробным разложением физиологические отходы человека, так же как и отходы животноводства, можно превращать в метан и органические удобрения.

Более широкий спектр энергетического применения имеют органические отходы промышленности и комму-

нальных хозяйств городов, сжигая которые можно получать тепло, а через уже упомянутые выше процессы — биогаз, синтетические нефть и газ.

«Энергетические» продукты переработки биомассы могут использоваться в обычных энергетических установках, выступая в качестве традиционных топлив, а спирты — добавляться в определенных пропорциях к горючему, что дает существенную экономию горючего, полученного из природной нефти.

Древесина, древесный уголь и их использование

Пожалуй, самым распространенным видом биомассы неживотного происхождения является древесина. Это древнейшее топливо на земле, которое обогревало человека, давало ему энергию для приготовления пищи и освещения жилища. Древесина состоит в основном из целлюлозы, лигнина, смол и определенного количества влаги. Если сделать рапжировку основных энергетических элементов, находящихся в древесине, то окажется, что она содержит примерно 50% углерода, 6% водорода и 44% кислорода. Теплотворная способность древесины варьирует от 14 до 17 кДж/г в зависимости от вида дерева.

На сегодня мировые запасы древесины оцениваются в $360 \cdot 10^9$ м³, что почти соответствует по энергетическому содержанию $175 \cdot 10^9$ тун. Однако ежегодное потребление древесины постоянно увеличивается и превышает ее естественный прирост. Так, в 1978 г. для различных нужд согласно официальным данным было использовано $(2,6-4,8) \cdot 10^9$ м³ древесины, причем около половины этой величины было потреблено в виде топлива и для производства древесного угля.

Специалисты приходят к выводу, что мировое потребление древесины как топлива к 2000 г. составит $(4-5) \cdot 10^9$ м³. Это значительное увеличение будет происходить за счет развивающихся стран, где древесина — основной (на 80%) источник энергии. Уже в настоящее время некоторые африканские страны, богатые лесами, испытывают недостаток древесины для топлива. Вырубка лесов на больших участках земли способствует также развитию эрозийных процессов почвы, что, в свою очередь, обуславливает наступление степей и пустынь. Однако можно замедлить развитие

этих крайне нежелательных явлений. Для этого пужно прежде всего повысить эффективность процессов сжигания древесины в нагревательных и кухонных устройствах, что позволит значительно сократить объемы использования дерева в качестве топлива.

Древесный уголь является одним из топливных продуктов, которые могут быть произведены из дерева. Он насчитывает многовековую историю своего использования и до появления кокса, получаемого из каменного угля, был основным источником энергии для металлургической промышленности.

Древесный уголь образуется при пиролизе дерева, т. е. когда древесина нагревается при отсутствии кислорода. В результате древесина разлагается на комплекс химических продуктов: газы, жидкие компоненты, а также остаточный углерод, который и образует древесный уголь. Традиционно древесный уголь производился в примитивных печах, где терялись ценные побочные компоненты. Современные пиролизные установки позволяют дополнительно к основному продукту извлекать масла, деготь и синтетический газ, имеющие большую ценность.

Существующие технологии дают 1 т древесного угля из 3,3 т дерева. По официальной статистике, ежегодно в мире производится около $5 \cdot 10^6$ т древесного угля. Однако если принять во внимание оценки экспертов в данной области, то годовое производство древесного угля составит примерно $50 \cdot 10^6$ т. Такое расхождение в оценках (в 10 раз) происходит из-за того, что официальная статистика очень часто не располагает данными по производству того или иного продукта для домашних нужд, особенно в сельских местностях развивающихся стран. В данном случае это древесный уголь.

По своей энергетической ценности древесный уголь имеет много преимуществ перед древесиной. Во-первых, его теплотворная способность в два с лишним раза выше, чем сухого дерева. Он более удобен для транспортировки. Если учесть, что КПД топочных установок, использующих уголь, в 5–6 раз выше КПД печей, работающих на древесине, то можно считать, что производство древесного угля экономически оправдано.

Древесный уголь играет важную роль и в промышленном производстве. Так, в Бразилии за счет древес-

ного угля на 40% удовлетворяются нужды металлургической промышленности. В некоторых странах древесный уголь широко применяется для производства цемента.

Производство спиртов из биомассы

Для ряда стран, которые не располагают запасами нефти или газа, использование биомассы растений для получения заменителей горючего — один из реальных путей решения их энергетических проблем. Такими заменителями могут быть спирты. Основными из них являются метанол (CH_3OH) и этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).

Метанол ранее получался в небольших количествах как побочный продукт процесса производства древесного угля — из подсмольной воды от сухой перегонки древесины. Отсюда и происходит его название — «древесный спирт». Содержание метилового спирта в подсмольной воде не превышает 3%, а выход его в зависимости от породы древесины 3—6 кг на 1 м³ сухой древесины. После разработки синтетических методов получения метанола сухая перегонка древесины потеряла промышленное значение. Спирта выходило мало и низкого качества.

В настоящее время главным методом производства метилового спирта является каталитический синтез его из окиси углерода и водорода при температурах 300—400° С и давлениях 100—1000 атм. Сырьем служат отходы коксового производства и природный газ. Интерес к древесному спирту особенно возрос в связи с решением проблем по использованию городских отходов и отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности. Существующие методы переработки древесины для получения метанола позволяют повысить его выход до 200 кг на 1 м³. Экономические оценки производства метилового спирта из древесины показывают, что стоимость его превышает стоимость обычного бензина на 60—70%. Причем эта разница в большой степени зависит от масштаба производства, и при его расширении метанол может быть гораздо дешевле. Учитывая все эти факторы, некоторые страны, например Канада, изучают вопрос о широкомасштабном получении метанола из древесины, древесных и других отходов в целях частичной замены нефтепродуктов в двигателях внутреннего сгорания.

Одно из достоинств метанола — его низкая температура горения. Это дает возможность, используя его в смеси с бензином, значительно уменьшить содержание окислов азота и серы в выхлопных газах автомобилей, которые, как известно, главным образом загрязняют окружающую среду.

Большое внимание сейчас уделяется производству этанола, особенно в странах с климатическими условиями, благоприятными для выращивания сахаросодержащей биомассы в больших количествах. Получение этанола возможно несколькими путями: через прямую ферментацию с использованием естественного сахара, содержащегося, например, в сахарном тростнике; через кислотный, или энзиматический, гидролиз целлюлозы с выходом сахара, который затем при помощи ферментации переводится в этанол; через перевод углеводов в глюкозу и затем при помощи ферментации — в этанол.

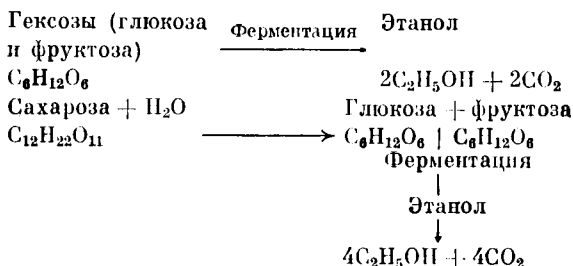
До недавнего прошлого нефть была основным источником этанола (до 75%). Он получался путем химической модификации этилена. Переработка целлюлозы давала до 25% этилового спирта. Прямые ферментационные процессы использовались в ограниченных масштабах из-за дороговизны исходного сахаро- или крахмалосодержащих материалов, имеющих большую пищевую ценность.

Сейчас значительное количество этилового спирта производится при помощи гидролизной переработки целлюлозы с получением сахара в качестве промежуточного продукта. В связи с резким ростом цен на нефть некоторые страны, зависящие в значительной степени от экспорта нефти и располагающие климатическими условиями для быстрого роста таких сахаро- или крахмалосодержащих растений, как сахарный тростник, сладкое сорго, маниока и др., начали ускоренное развитие производства этилового спирта. Его можно использовать как самостоятельное топливо для двигателей внутреннего сгорания или добавлять к бензину (20%-ная добавка спирта в бензин, наиболее эффективная с технико-экономической точки зрения, не требует модификации или дополнительной регулировки существующих двигателей). Особенно перспективен для производства этанола сахарный тростник, который является самой быстрорастущей сельскохозяйственной культурой с максимальным содержанием сахара. Еже-

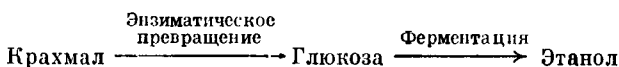
годная урожайность этой культуры достигает 60 т/га.

В состав сахарного тростника входят (в %): сахар (сахароза и гексозы) — 15, клетчатка — 12, влага — 73.

Ферментация сахаров происходит по следующим реакциям:



Крахмалосодержащее сырье используется для производства этанола посредством тех же реакций с предварительным переводом крахмала в глюкозу:



Наиболее перспективными районами земного шара для производства сахаросодержащей биомассы являются бассейн Амазонки, Экваториальная Африка, Юго-Восточная Азия.

В настоящее время существует несколько национальных программ по производству этанола, который предназначается для покрытия дефицита нефтяных продуктов. Наиболее крупная из них — бразильская. Она начала осуществляться с 1975 г., когда в стране было произведено 60 тыс. м³ этилового спирта (причем треть этого количества использовалась в качестве 1%-ной добавки к бензину, потребляемому в автомобильных двигателях). Уже в 1980 г. в соответствии с этой программой было произведено 3,2 · 10⁶ м³ спирта (добавка к автомобильному горючему составила 20%). В ближайшие пять-шесть лет производство спирта в Бразилии должно вырасти до (10—14) · 10⁶ м³, что позволит практически полностью обеспечить потребности автомобильного транспорта в горючем.

Предпринятый бразильскими специалистами экономический анализ перспектив использования этилового спирта показал, что его производство и потребление как топлива экономически выгодны. Опыт Бразилии внима-

тельно изучается в ряде стран Латинской Америки и Азии в целях возможного расширения производства этилового спирта для использования в качестве горючего на транспортных средствах.

Биогазификация

Переработка органических отходов сельскохозяйственного производства, промышленности, а также домашнего хозяйства и любой другой биомассы при помощи микробов открывает широкие перспективы для использования биомассы в целях получения биогаза — высококачественного источника энергии. Производство биогаза из органических отходов насчитывает более чем полувековую историю. Анаэробное, т. е. без кислорода, разложение органических отходов для получения биогаза свыше 30 лет применяется в ряде европейских стран. В 1951 г. в ФРГ действовало 48 заводов по переработке сточных вод, которые производили 16 млн м³ биогаза в год, используемого для различных целей, и в первую очередь для городского энергоснабжения.

Особенно бурно начала развиваться биогазификация в 60-х и в начале 70-х годов. Для получения биогаза было построено огромное количество установок в Китае, Индии и других странах Юго-Восточной Азии. К настоящему времени в Китае насчитывается более 5 млн действующих установок, обеспечивающих население газом круглый год. В Индии построено более 80 тыс. таких установок. Еще совсем недавно в развитии этого направления энергетики основной упор делался на мелкомасштабное производство биогаза, удовлетворяющее потребности одной или нескольких семей, проживающих в сельских местностях. Однако в настоящее время в Китае, Индии и Шри-Ланке появился ряд крупных заводов, которые могут снабжать биогазом население целой деревни или поселка.

По оценкам советских специалистов, только органические отходы животноводства нашей страны позволяют получить количество биогаза, эквивалентное более чем 25 млн тунт/год, а с учетом других видов органических отходов — до 40 млн тунт/год. Сейчас в стране начали строиться и эксплуатироваться крупные биогазификационные установки. Например, анаэробная установка по переработке навоза на свиноферме вблизи города Пярну дает свыше 6 тыс. м³ биогаза в сутки, значитель-

пос количество органических удобрений, а также улучшает санитарное состояние окружающей среды в районе свинофермы.

Анаэробное разложение биомассы является двухстадийным биологическим процессом. Первая стадия включает в себя процесс превращения жиров, углеводов и белков в простые органические кислоты при помощи кислотоформирующих бактерий. Вторая стадия связана с переводом кислот в метан и углекислоту. На этой стадии действует другой вид бактерий — так называемые метаноформирующие.

В настоящее время известно несколько биогазификационных установок, которые довольно просто устроены и дешевы (рис. 18). Основными продуктами в этих устройствах являются биогаз и отстой.

Биогаз представляет собой смесь различных газов, в которой 65% приходится на долю метана, около 30% на долю углекислого газа и примерно по 1% на водород, кислород, сульфид водорода, азот и оксид углерода. Теплотворная способность биогаза составляет 20—26 МДж/м³ и зависит от находящегося в нем количества углекислого газа.

Биогаз находит весьма широкое применение: для приготовления пищи, освещения помещений, в двигателях внутреннего сгорания.

Отстой, получаемый в результате анаэробного разложения, имеет гораздо большую ценность как удобрение, чем как исходный органический материал, так как содержит много азота. Опыты показывают, что применение отстоя в качестве удобрения повышает урожайность различных сельскохозяйственных культур от 10 до 28%.

Более того, отстой способствует росту сельскохозяйственных культур в засушливые периоды, резко сокращает количество сорных растений на полях, так как их семена в основном разрушаются во время ферментационных процессов. Некоторые специалисты считают, что отстой как удобрение не уступает по качеству минеральным. Эти выводы находят практическое подтверждение. Так, на Филиппинах с 1 га земли, удобренной мочевиной, было получено 6,5 т риса, в то время как использование отстоя после анаэробной газификации дало в среднем более 8 т.

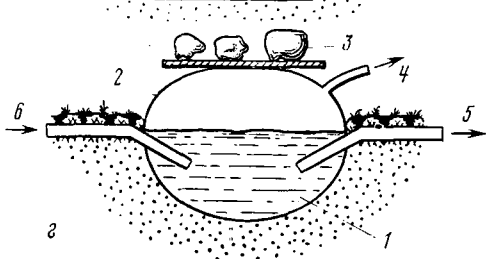
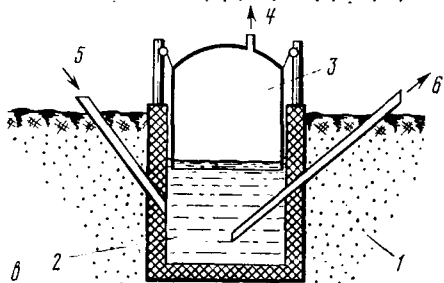
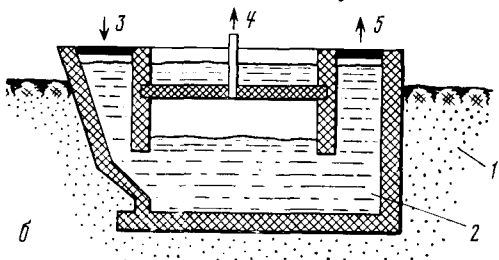
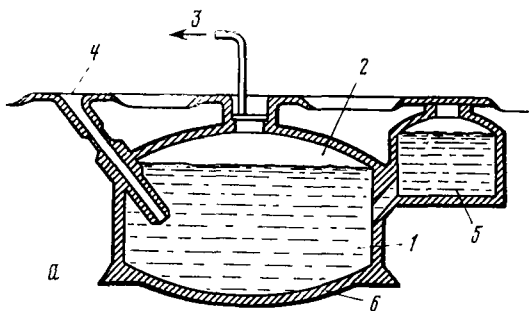
Отстой может применяться и в специальных прудах для ускоренного выращивания водорослей, которые,

в свою очередь, могут являться кормом для сельскохозяйственных животных и сырьем для анаэробного разложения при производстве биогаза.

Несмотря на то что биомасса рассматривается как практически «чистый» источник энергии, специалисты многих стран изучают различного рода экологические последствия, которые могут быть значительными, если биомасса начнет широко использоваться.

Прежде всего необходимо остановиться на проблемах, возникающих в связи со сжиганием древесины. Образующиеся твердые частицы, органические компоненты, окись углерода и другие газы способны вызывать заболевания органов дыхания человека. Исследования показывают, что в дыме дровяных печей и каминов содержатся канцерогены, а также сопутствующие канцерогенам вещества и токсичные вещества органического происхождения. И хотя изучение продуктов горения древесины началось сравнительно недавно, специалисты приходят к заключению, что по концентрациям некоторых опасных загрязнителей окружающей среды они превосходят продукты горения нефти и ее производных.

Другим важным экологическим аспектом сжигания древесины являются значительные тепловые потери. Средний КПД устройств для сжигания дерева в развивающихся странах не превышает 10%. А это означает, что около 90% энергетического потенциала древесины выбрасывается в окружающую среду. В ряде европейских стран КПД дровяных печей достигает 25—30%. При этом надо учитывать, что тепло, получаемое в процессе сжигания древесины, тратится не только на приготовление пищи, но также на обогрев помещений, сушку некоторых продуктов питания и т. д. Совершенно очевидно, что необходимо существенно повысить эффективность этих печей. Это позволит значительно сократить потребление древесины, а следовательно, замедлить процесс уничтожения лесов. Однако при этом должен быть найден оптимальный вариант топочных устройств, так как некоторые из них способствуют появлению в дыме повышенного количества указанных выше компонентов. В данном случае дровяные печи начинают работать как газификаторы или пиролизные установки, что приводит к повышенным газовым выбросам, загрязняющим окружающую среду



и оказывающим нежелательное влияние на человеческий организм.

Производство биогаза из различного рода биомассы благоприятно воздействует на окружающую среду. Особенно этот фактор важен для сельских и некоторых городских районов, где зачастую отсутствует канализация. Биоотходы содержат в себе питательную среду для возникновения и бурного развития насекомых-вредителей, микробов и бактерий, представляющих серьезную опасность для человеческого организма. Это прежде всего возбудители холеры, тифа, дизентерии и других заболеваний, а также личинки различного рода кишечных паразитов.

Анаэробное разложение этих отходов в целях получения биогаза позволяет в большинстве случаев ликвидировать упомянутые патогенные факторы. Кроме того, производство и употребление биогаза уменьшают потребность в древесине, а следовательно, замедляют процесс уничтожения лесов. По сравнению с древесной биогаз является значительно более чистым топливом, не производящим опасных для человеческого организма газов и частиц.

Вместе с тем необходимо предусматривать определенные меры предосторожности при производстве и потреблении биогаза, так как метан взрывоопасен. Поэтому системы его хранения, транспортировки и использования должны регулярно контролироваться.

Ферментационные процессы по переработке биомассы в этанол производят большое количество побочных продуктов, таких, как сточные воды и отходы процессов перегонки. Остатки перегонки, пожалуй, самый

Р и с. 18. Конструктивные схемы различных биогазификационных установок

a — газогенератор с фиксированным сводом

1 — компост; 2 — сборник газа; 3 — выход газа; 4 — загрузка навоза; 5 — резервуар отработанных компонентов; 6 — основной резервуар

б — газификационная установка, широко применяемая в КНР

1 — земля; 2 — ферментационная камера; 3 — загрузка навоза; 4 — газ; 5 — отбор компоста для удобрений

в — газификационная установка с подвижным стальным накопителем биогаза

1 — земля; 2 — ферментационная камера; 3 — подвижный накопитель газа; 4 — выход газа; 5 — загрузка навоза; 6 — отбор компоста

г — газификационная установка с мягкой оболочкой для сбора биогаза

1 — навоз; 2 — оболочка газового резервуара; 3 — груз; 4 — отбор газа; 5 — отбор компоста; 6 — загрузка навоза

серьезный источник загрязнения окружающей среды, поскольку их количество в несколько раз (до 10) превышает производимый продукт, т. е. этиловый спирт. В среднем, по оценкам экспертов, 2 л остатков перегонки могут загрязнить водоем в такой же степени, как сточные воды, образующиеся в результате жизнедеятельности одного человека в течение суток.

Вместе с тем необходимо отметить, что остатки перегонки не содержат патогенных организмов и токсичных элементов, а извлечение минеральных веществ из этих отходов представляет интерес для химической промышленности. Считается технико-экономически оправданным перерабатывать отходы перегонки в удобрение, а также в добавки к метану, которые повышают его теплотворную способность. В настоящее время необработанные отходы перегонки широко употребляются в качестве удобрений на плантациях сахарного тростника в Бразилии, что позволяет значительно сократить или даже исключить использование минеральных удобрений.

Применение же этилового спирта в качестве 10%-ной или 20%-ной добавки к бензину существенно улучшает состав выхлопных газов автомобилей, уменьшая в них соответственно на 20 и 30% содержание углеводородов, на 18 и 35% окиси углерода, наиболее вредного для здоровья человека компонента выхлопных газов. Добавки спирта в бензин имеют также антидетонирующее свойство, поэтому отпадает необходимость использования присадок свинца как антидетонатора. Наличие же свинца в выхлопных газах крайне нежелательно. Необходимо отметить, что при добавках этилового спирта в бензин наблюдается некоторое увеличение содержания ангидридов в продуктах сгорания, возможные последствия которого для организма человека еще недостаточно изучены.

В заключение необходимо отметить, что современные методы переработки биомассы, и особенно органических отходов деятельности человека, открывают новые перспективы для использования этого поистине неисчерпаемого источника энергии и позволяют решать многие проблемы охраны окружающей среды.

Геотермальная энергия

Природа геотермальных явлений

Геотермальная энергия представляет собой естественное тепло нашей планеты. О колоссальных запасах тепловой энергии свидетельствуют горячие источники, гейзеры, извержения расплавленной магмы из вулканов. С давних пор люди научились использовать эту энергию для своих нужд. Известно, что еще древние римляне на горячих геотермальных источниках строили бани, а также обогревали горячей водой жилые помещения.

Впервые геотермальная энергия была поставлена на службу человеку в промышленных масштабах в Италии. Еще в XVIII в. в районе Лардерелло начала добываться борная кислота, а в 1904 г. здесь же была построена первая электростанция, использующая геотермальный пар. В настоящее время ее мощность доведена до 390 МВт.

Сейчас около 20 геотермальных электростанций работают в Исландии, Италии, Мексике, СССР, США и Японии, однако их общая мощность невелика и составляет примерно 1,5 тыс. МВт.

Геотермальная энергия находит широкое применение для обогрева жилых помещений и теплиц, в промышленных и лечебных целях. Во всех этих случаях на поверхность Земли самостоятельно или через пробуренные скважины выходит горячая вода или пар.

В настоящее время внимание ученых и инженеров все больше концентрируется на извлечении глубинного тепла земной коры, или, как его называют, «сухого» тепла Земли. Уже в XVIII в. было замечено, что по мере углубления в угольных шахтах температура породы повышается. Впоследствии было установлено, что с ростом глубины температура земных недр увеличивается примерно на 20–40° С на каждый километр. Следовательно, на глубине 5 км существуют температуры, достаточные для образования пара, что открывает новые перспективы для использования тепла. Однако возникает вопрос: откуда берется эта энергия? Чтобы ответить на него, необходимо рассмотреть строение нашей планеты.

Земля состоит из нескольких слоев, различающихся температурой, плотностью и давлением. Верхний слой — кора — имеет толщину не более 35 км на суше и около 5 км в Мировом океане. Континентальная кора состоит в основном из гранитных пород, океаническая — из базальтовых.

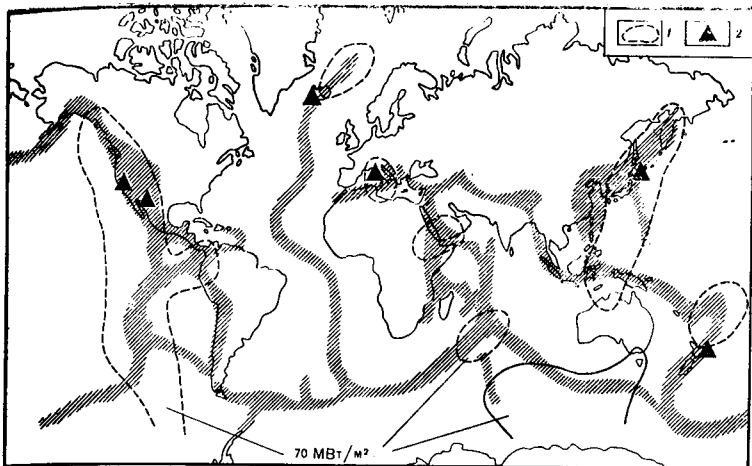
Ниже располагается мантия толщиной 2900 км, что примерно равняется половине радиуса земного шара. Мантия занимает почти 80% объема нашей планеты и отделяется от земной коры поверхностью Мохоровичича. На этой границе наблюдается резкое изменение плотности материалов земных недр. Мантию слагают преимущественно тяжелые минералы, богатые магнием и железом. Температура здесь достигает столь высоких значений, что ее материал сильно размягчен. Однако жидкими являются только верхние слои мантии, внутри же при температурах 3000—4000° С и сверхвысоких давлениях вещество находится в состоянии ползучести.

На глубине 2900 км наблюдается резкий переход к сверхплотному расплавленному ядру. Еще ниже располагается внутреннее ядро радиусом около 1350 км, состоящее из твердого железа. Здесь температуры достигают 4000° С, а давление свыше 3 млн атм.

Как видно из описания структуры Земли, ее недра обладают высокими температурами, а следовательно, и огромными запасами энергии. За счет каких же источников они поддерживаются? Если предположить, что во время формирования нашей планеты образовался тепловой запас, оцениваемый в $18 \cdot 10^9$ ТВт/год, то для полного ее охлаждения нужно примерно 500 млн лет (Земля теряет 32 ТВт/год энергии, излучая ее в космос). Вместе с тем известно, что возраст Земли составляет 4,5 млрд лет.

Следовательно, энергии, накопленной ею во время образования, недостаточно, чтобы поддержать как высокие температуры, так и процессы, требующие колоссальных затрат энергии (например, передвижение материков, геотермальные извержения и т. д.). Вероятно, в недрах Земли существует дополнительный источник энергии, который и обеспечивает тепловой баланс планеты и высокоэнергетические процессы. Таким источником может быть энергия распада радиоактивных элементов. Удельная тепловая мощность этого источника мала. Она составляет 10^{-6} Вт/т для гранитной породы, около 10^{-7} Вт/т для базальтовой породы и примерно 10^{-9} Вт/т для материала мантии.

Зная массу пород Земли и ее возраст, можно определить запасы тепловой энергии за счет радиоактивности нашей планеты. Они оцениваются в $200 \cdot 10^9$ ТВт/год. Этой энергии достаточно для передвижения на поверхности мантии материков, границы которых и являются



Р и с. 19. Геотермальные поля Земли (заштрихованные области)

1 — районы с повышенными тепловыми потоками, исходящими из Земли; 2 — участки с геотермальными проявлениями

районами (геотермальными поясами) повышенной геотермальной активности (рис. 19), наиболее перспективными для использования тепла Земли в различных целях.

Источники геотермальной энергии

Все источники геотермальной энергии можно подразделить на гидротермальные и петротермальные. Гидротермальные источники, в свою очередь, делятся на водяные, пароводяные и паровые.

Водяные геотермальные источники залегают на различной глубине. Одно из основных условий их существования — наличие непроницаемого для воды слоя горных пород, который передает тепло от мантии к формациям, содержащим в больших количествах воду. Находясь под давлением выше атмосферного, вода здесь может нагреваться до температуры выше 100°C и выходить на поверхность обычно в виде пароводяной смеси.

В пароводяных и паровых месторождениях водоносные слои находятся между двумя водонепроницаемыми прослойками. Нижняя передает тепло от мантии к воде, а верхняя не допускает ее выхода на поверхность Земли. Вода в таких местах превращается в пар, а при вы-

соких давлениях — в перегретую воду, извлечение же пара на поверхность Земли возможно лишь при помощи бурения. При этом пар сам выходит на поверхность через скважину. Эти источники самоизливающиеся.

Температуры воды или пара во всех геотермальных источниках зависят от их расстояния до мантии Земли, а также от близости к раскаленной или расплавленной магме. Термальные подземные воды, подогретые до температур, необходимых для энергетического использования, часто встречаются на глубинах 2—6 км.

Петротермальные месторождения расположены в районах земной коры, где нет воды. При температурном градиенте 20—40° С на 1 км в толще Земли на глубинах свыше 3 км достигаются температуры, достаточные для подогрева воды или получения пара. Поэтому если на такую глубину пробурить две скважины и закачать в одну из них воду, то через другую можно получить пар или горячую воду. На этом основан принцип использования «сухого» тепла Земли.

Использование геотермальной энергии

Одним из перспективных направлений использования геотермальной энергии является строительство геотермальных тепловых электростанций (ГеоТЭС) на базе самоизливающихся источников. В настоящее время ГеоТЭС общей мощностью 1440 МВт функционируют в 12 странах мира, в том числе в США — 510, Италии — 420, Новой Зеландии — 200, Японии — 168, Мексике — 80. В нашей стране электростанция, использующая геотермальную энергию, была построена в 1968 г. на реке Паужетке на Камчатском полуострове. Ее первоначальная мощность составляла 5,4 МВт, сейчас она доведена до 11 МВт. Для выработки электроэнергии используется пароводяная смесь с температурой около 200° С. Многолетний опыт эксплуатации Паужетской ГеоТЭС показал ее надежность и эффективность.

Ведется строительство Мутновской ГеоТЭС — первой в СССР станции промышленного масштаба мощностью 200 МВт. Для выработки такой мощности необходимо пробурить 58 эксплуатационных скважин, в том числе 28 глубиной 1500 м и 30 глубиной 2500 м. Разведочное бурение в районе строительства ГеоТЭС показало малую минерализацию пара, что упрощает условия эксплуатации станции. В целях защиты окружающей среды, что

особенно важно для Камчатки, где в большинстве рек происходит нерест ценных рыб, а также для поддержания материального баланса месторождения будет осуществляться закачка отработанных термальных вод в подземные пласты.

Камчатка — единственный в стране район современного вулканизма. Отсутствие здесь местных топливных ресурсов, высокая стоимость транспортировки топлива делают электроэнергию, произведенную ГеоТЭС, конкурентоспособной по отношению к «обычной» электроэнергии, выработанной станциями на органическом и даже ядерном топливе.

Европейская часть нашей страны также располагает месторождениями геотермальных источников энергии. В настоящее время изучается возможность создания ГеоТЭС мощностью 100—200 МВт на Северном Кавказе, в Крыму и Закарпатье. Предполагается, что функционирование данных станций будет осуществляться за счет так называемых циркуляционных систем. Принцип их действия следующий. Нагнетаемая через скважины поверхностная вода вытесняет паровоздушную смесь из существующих подземных пористых резервуаров-коллекторов, нагреваясь, в свою очередь, и вытесняясь следующей порцией воды. В качестве закачиваемой воды может быть использована также вода, полученная от конденсации пара после прохождения через турбины. Создание циркуляционных систем позволит получать с глубин 3,5—4 км теплоноситель, подогретый до температуры выше 150°С. Для отработки технических решений будущих ГеоТЭС планируется в ближайшее время построить две-три станции мощностью до 10 МВт.

Однако существуют серьезные научно-технические проблемы, связанные с повышением эффективности работы ГеоТЭС, и прежде всего сохранение пара высокого давления на выходе из скважин, а следовательно, на входе в турбину. В подземных резервуарах пар находится под достаточно большим давлением — примерно 30 атм, а у поверхности Земли давление пара падает до 10 атм. В этих условиях КПД станции не превышает 15—16%, тогда как в современных типовых станциях он достигает 40%. Следовательно, для получения той же самой мощности необходимо увеличивать расход пара через турбину примерно в 2,5 раза. Обычно одиночная скважина производит пара около 20 кг/с, что достаточно для вращения турбины примерно в 7 МВт. Для вращения

более мощных турбины нужно несколько скважин, соединенных между собой. Расход пара из скважины медленно падает со временем ее эксплуатации, и в среднем период «жизни» скважины мощностью 5 МВт составляет около 15 лет. Продление «жизни» скважины является серьезной проблемой, от решения которой во многом зависят масштабы строительства ГеоТЭС такого типа.

Другим перспективным видом использования тепла Земли могут быть ГеоТЭС на основе петротермальной энергии. Идею использования «сухого» глубинного тепла Земли обосновал академик В. А. Обручев. Породы, разогретые до $100\text{--}150^\circ\text{C}$, на глубинах 4–5 км встречаются повсюду, а больше половины земных недр на этой глубине раскалены до $180\text{--}200^\circ\text{C}$. Этого уровня температур достаточно для производства пара в количествах, необходимых для вращения турбин электростанции.

Для ГеоТЭС, использующей «сухое» тепло, необходимо пробурить две скважины. По одной подается холодная вода с поверхности Земли, вторая служит для отбора пара или горячей воды, полученных в подземной полости — своеобразном котле. Иногда природа сама создает подходящие условия для таких ГеоТЭС. В этом случае на глубине с достаточно высокой температурой имеются породы с пористой структурой и трещинами, т. е. существуют хорошие условия для теплообмена.

Большие проблемы возникают, если таких структур нет, а температуры на данных глубинах достаточно высоки для получения пара или горячей воды в больших количествах. Тогда применяется гидродинамический взрыв, при помощи которого образуются требуемые для организации эффективного теплообмена структуры.

Как правило, такие ГеоТЭС работают по замкнутому циклу. Вода, первоначально закаченная в скважину, превращается в пар в подземном котле и поступает через «паровую» скважину на поверхность Земли, а после прохождения через турбины конденсируется и снова возвращается в «водяную» скважину. Это позволяет экономить пресную воду и избегать загрязнения окружающей среды, так как выходящий пар может содержать вредные примеси.

«Сухое» тепло Земли можно использовать не только в ГеоТЭС, но и для обогрева зданий, в сельскохозяйственном производстве. Поэтому применение цир-

куляционных систем весьма перспективно. Например, блок из двух скважин способен доставить на поверхность Земли 80—200 млн кДж/ч, т. е. обеспечить теплом дома, где проживает 10—15 тыс. жителей, а в южных районах — до 20 тыс. человек.

Тепло Земли для обогрева помещений находит широкое применение во многих странах мира, и особенно в районах с повышенной вулканической активностью. Исландия первой начала использовать геотермальные ресурсы для тепла и водоснабжения в коммунальном хозяйстве. Практически все крупные населенные пункты в этой стране, включая Рейкьявик, имеют системы теплоснабжения, питающиеся за счет геотермальных источников.

Начав совсем недавно, в 70-х годах, работы по применению геотермальной энергии для отопления, Франция занимает в настоящее время ведущее положение в данной области. Более 25 тыс. квартир в Парижском районе отапливается с помощью геотермальной энергии. Планируется расширение отопительной сети на 50 тыс. квартир.

У нас в стране геотермическим теплом и горячей водой снабжаются около 150 тыс. жителей городов и поселков на Кавказе и Камчатке. Планируется обеспечить горячей водой геотермальных источников такие крупные города, как Алма-Ата, Грозный, Тюмень, Омск. Успешно эксплуатируются геотеплофикационные сети в Махачкале, Кизляре, Тбилиси и в других городах.

Существует много различных систем отопления и горячего водоснабжения. Одна из самых простых действует в Тбилиси. Рассмотрим принцип ее действия. Температура горячей воды, получаемой из самоизливающейся скважины, колеблется между 57 и 65° С; минерализация воды менее 0,3 г/л; производительность скважины 2 тыс. м³/сут. Термальная вода через трубопровод поступает в распределительный бак емкостью 5 тыс. м³, который расположен выше жилого отапливаемого массива. Отсюда самотеком она поступает потребителям. Благодаря хорошей теплоизоляции трубопроводов и распределительного бака потери тепла при подаче воды от скважины к потребителю незначительны, а падение температуры воды не превышает 1,5° С. Поскольку в термальной воде, получаемой из скважины, содержится сероводород, в схеме имеется дегаза-

тор. Система обеспечивает горячей водой один из микрорайонов Тбилиси.

Термальные воды, имеющие слабую минерализацию, не требуют применения сложных и дорогостоящих схем. Однако, если они содержат много солей и имеют высокую температуру, приходится делать теплообменник. В нем горячая термальная вода отдает тепло пресной, которая затем и подается потребителю. В качестве теплообменников применяются, как правило, обычные змеевики. Правда, выпадение солей на трубках повышает термическое сопротивление стенок, а следовательно, ухудшает процесс теплообмена.

В других схемах используется догрев термальных вод в котельной в периоды, когда требуется повышение температуры теплоносителя, поступающего в отопительную систему. Эффективность схем отопления значительно повышается при наличии теплового насоса. Принцип его действия таков: горячая вода из скважины подается в испаритель, где ее тепло передается жидкости, кипящей при низких температурах. Образующиеся пары проходят через компрессор и направляются в конденсатор, где конденсируются при более высоком давлении, передавая при этом тепло воде, используемой в отопительной системе. Схемы с тепловым насосом могут утилизировать термальную воду с довольно низкими температурами, максимально допустимый уровень которых зависит от вида низкокипящей жидкости. Однако эксплуатация тепловых компрессионных насосов требует подключения их к электросети и связана со значительными затратами электроэнергии.

Несмотря на ряд серьезных научно-технических проблем, таких, как борьба с коррозией систем, повышение эффективности теплообменных устройств в условиях выпадения солей, использование отработанных термальных вод и т. д., целесообразность геотермального теплоснабжения с экономической точки зрения очевидна, так как она позволяет сохранять в значительных объемах традиционные топлива.

Большую эффективность показало применение горячих источников в сельском хозяйстве, и в первую очередь для обогрева теплиц. В этой области накоплен богатый практический опыт. В Исландии первые теплицы на геотермальном тепле были построены в 20-х годах. Сейчас в стране насчитывается более 350 тыс. м²

теплиц и оранжерей, отапливаемых геотермальным теплом. За счет этого ежегодно экономится до 300 тыс. туг.

Быстрыми темпами развивает геотермальное хозяйство теплиц Венгрия. Уже сейчас площадь, занятая ими, составляет около 500 тыс. м². К 1990 г. планируется увеличить площади тепличного хозяйства, обогреваемого за счет термальных вод, до 13 млн м². При этом будет сэкономлено 500 тыс. туг/год.

В Советском Союзе общая площадь теплиц с геотермальным отоплением составляет более 700 тыс. м². Крупные тепличные хозяйства на термальных водах созданы на Северном Кавказе (в Дагестане и Ставрополье).

В Краснодарском крае на основе Мостовского геотермального месторождения создано тепличное хозяйство площадью 180 тыс. м². Его продукция обходится на 35% дешевле выпускаемой аналогичным тепличным комбинатом, но отапливаемым мазутом. Исключение котельной из отопительной системы позволило сэкономить 1,8 млн руб. капитальных вложений. Кроме того, ежегодно сохраняется до 30 тыс. туг.

Тепличные хозяйства не единственная отрасль в сельскохозяйственном производстве, где применение термальных вод дает ощутимую выгоду. Отопление животноводческих комплексов, подогрев питьевой воды для скота в зимний период, использование отработанной воды в рыборазводных прудах не менее перспективные области утилизации геотермального тепла.

Как показывает опыт, наиболее целесообразны комплексные геотермальные сельскохозяйственные схемы. В таких схемах горячая вода из скважины сначала поступает в отопительную систему теплиц, где срабатывает перепад температур в 25°. Затем воду с температурой около 50° С можно направить на животноводческие фермы, а с температурой 25—30° С — через отстойники в пруды. Все эти операции рассчитаны в основном на холодные периоды года. В летнее же время геотермальную воду необходимо использовать на полив овощей, выращиваемых на открытом грунте. При этом урожайность повышается на 25—30%. Горячие геотермальные воды могут применяться и в строительстве (термообработка бетона), при мойке шерсти, сушке древесины и в других технологических энергоемких процессах.

Исключительную роль геотермальные источники играют в лечении различных заболеваний. Почти все термальные воды с высокой температурой независимо от их химического состава обладают лечебными свойствами.

Другой важный аспект применения геотермальных источников — возможность извлечения из воды ценных химических элементов и различных соединений: йода, брома, поваренной соли, борной кислоты, щелочей, серы, глауберовой соли и т. д.

Незначительные масштабы использования геотермального тепла пока не позволяют говорить о негативном влиянии этого источника энергии на природную среду и организм человека. Однако в ближайшем времени они могут проявиться, и их нужно избежать. В геотермальных водах обнаружены такие примеси, как нитриды, хлориды и сульфиды различных металлов, концентрация которых не представляет вреда для природы и человека. Однако в горячей воде и паре содержатся и опасные элементы — бор и мышьяк. В эксплуатируемых геотермальных источниках общее количество этих примесей не превышает 1,5%. С ростом же глубины и масштабов использования геотермальной энергии их содержание может значительно возрасти и, следовательно, оказать негативное влияние на живые организмы. Поэтому особенно важен опыт создания и работы циркуляционных систем, которые позволят избежать попадания веществ в окружающую среду.

Геотермальные источники выделяют значительное количество сероводорода, который в малых количествах не вреден. В больших концентрациях сероводород весьма токсичен и представляет собой серьезную опасность для живых организмов. Будучи более тяжелым газом, чем воздух, он скапливается вблизи поверхности Земли и поэтому оказывает отрицательное воздействие, прежде всего на организм человека.

Геотермальные источники выделяют в атмосферу метан, аммиак, углекислый газ. Все это, вместе взятое, имеет определенный негативный эффект. Однако он значительно меньше, чем в случае обычных энергетических устройств в пересчете на единицу мощности. Наблюдения показывают, что, например, загрязняющий эффект от функционирования ГеоТЭС, работающей на природном паре, аналогичном пару месторождения Большие Гейзеры в США, по содержанию серы в

4 раза, а по углекислому газу в 20 раз меньше, чем на ТЭС одинаковой мощности, работающей на угле.

Геотермальная энергетика связана с неизбежным выводом на поверхность Земли больших объемов воды. Сброс отработанных термальных вод может вызвать заболачивание отдельных участков почвы в условиях влажного климата, а в засушливых районах — засоление. Эти явления чреваты деградацией земельных угодий. Весьма опасен в этой связи прорыв трубопроводов. В результате на землю будут выброшены большие количества крепких рассолов.

В настоящее время уже разработаны методы по избежанию этих негативных явлений. Одним из них является создание циркуляционных систем, в которых отработанные воды закачиваются обратно в пласт. В результате пластовое давление поддерживается па достаточно высоком уровне и даже увеличивается, возрастают дебиты и исключается прямой контакт этих вод с окружающей средой. Вместе с тем имеется ряд ограничений по применению данного метода. Закачка вод требует затрат электроэнергии, а также приводит к выделению твердых минералов в скважинах и трубопроводах и т. д., что затрудняет их эксплуатацию.

В некоторых случаях использование термальных вод может вызвать «тепловое загрязнение» водоемов. Это явление наблюдается в тех случаях, когда срабатывается незначительный температурный перепад, в 20—25° С, а основной запас энергии выбрасывается с водой. В итоге повышается температура поверхностных слоев воды в водоемах до 40—50° С, что неизбежно приводит к изменению их флоры и фауны, а следовательно, и к нарушению экологического равновесия. Однако эти изменения носят локальный характер, и их легко избежать, если предусмотреть комплексное использование как энергетических, так и химических ресурсов геотермальных источников.

В целом разработки и эксплуатация геотермальных месторождений наносят незначительный ущерб природе и человеку, особенно если сравнивать этот ущерб с традиционными источниками энергии. А главное то, что уже сейчас известны и проверены на практике методы сведения этого ущерба к минимуму. Несмотря на некоторое удорожание при этом геотермальных энергосистем, они остаются по-прежнему экономически эффективными.

Энергетические ресурсы рек

История водяного колеса, применявшегося для вращения мельничных жерновов, а также для подъема и подачи воды в напорные системы орошения и водоснабжения, началась за много веков до нашей эры. В 200 г. л. э. римляне построили уже целый мукомольный комплекс, состоящий из 16 мельниц, приводимых в движение вертикальными черпаковыми колесами. Специальные передаточные устройства позволяли менять скорость вращения жерновов, а производительность всего комплекса составляла 28 т муки в сутки. Различные усовершенствования, вносимые в конструкцию таких колес, позволяли дробить и молоть зерно, пилить бревна, приводить в движение прядильные и ткацкие станки, резать камень, поднимать молоты, давить виноград. В XIV в. в Европе насчитывались десятки тысяч водяных колес, снабжавших различные предприятия механической энергией.

В XIX в. гидравлическая энергия стала использоваться для производства не только механической, но и электрической энергии. Начало этому положило изобретение турбины французским инженером Б. Фурнереом в 1820 г. Позднее, в 1847 г., Дж. Френсис изобрел реактивную турбину, а в 1880 г. была сконструирована ковшовая гидротурбина (турбина Пелтона). В 1882 г. эта турбина была соединена с генератором, что позволило использовать гидравлическую энергию для производства электричества. И наконец, важнейшим событием было получение переменного тока Дж. Вестингаузем на Ниагарском водопаде в 1901 г. Все это создало основу для последующего развития гидроэнергетики.

Гидроэнергия, под которой обычно понимается энергия рек, является возобновляемой и обязана своим происхождением солнечной энергии. Солнце испаряет воду морей и океанов, которая потом проливается дождями над всей территорией земного шара.

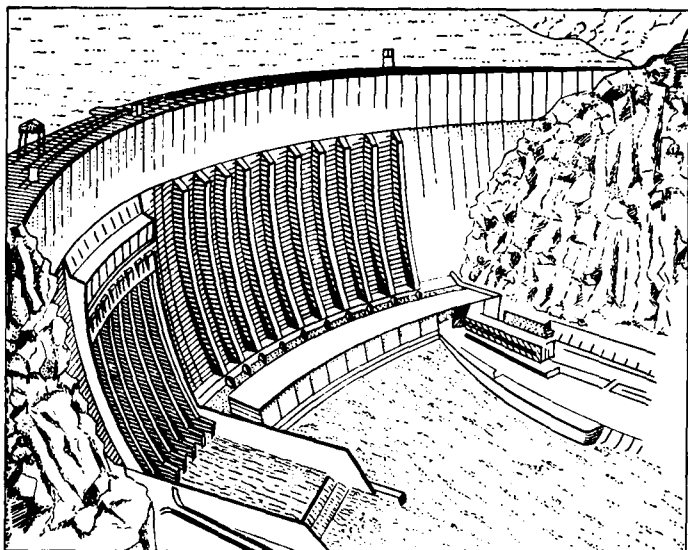
На Земле 10^{18} т воды, однако лишь $1/2000$ часть ее ежегодно вовлекается в круговорот, испаряясь и вновь выпадая на поверхность в виде дождя или снега. Ежегодно из океанов испаряется 430 тыс. км³ воды, с суши — 70 тыс. км³, 390 тыс. м³ из них выпадает в виде осадков обратно в океаны и 110 тыс. км³ на сушу. Таким образом, ежегодно примерно 40 тыс. км³ воды

стекает с континентов в океаны. Если средняя высота континентов 800 м, то легко подсчитать, что потенциальная мощность гидроэнергетических ресурсов на земном шаре составляет 10 ТВт (примерно современный объем общемирового потребления электроэнергии — 330 тыс. ТВт·ч/год). Однако всего около 15% может быть рентабельно использовано.

Еще полвека назад около 40% электроэнергии в мире вырабатывали гидростанции, сегодня их доля лишь 23%. В мире действуют более 70 гидроэлектростанций, каждая мощностью выше 1000 МВт (некоторые до 10 тыс. МВт), и миллионы установок мощностью несколько киловатт. Положительными сторонами гидроэнергетики является то, что она использует возобновляемый источник и обладает высоким КПД, поскольку электричество получается непосредственно из механической энергии, а не из тепловой и дает возможность применять установки практически любого размера.

Советский Союз располагает почти 12% мировых гидроэнергетических ресурсов — 38 тыс. ТВт·ч/год. Из них технически доступно для использования около 21 тыс. ТВт·ч/год. Это связано прежде всего с тем, что гидроресурсы у нас в стране распределены очень неравномерно — около 70% приходится на районы Сибири и Дальнего Востока. Сооружение крупных электростанций в этих малообжитых районах представляет собой сложную народнохозяйственную задачу. Тем не менее уже сегодня на великих сибирских реках сооружены самые мощные в мире ГЭС: Красноярская мощностью 6 тыс. МВт и Братская — 4,3 тыс. МВт. Еще более мощной будет строящаяся сейчас на Енисее Саяно-Шушенская ГЭС (рис. 20). Типичная схема гидроэлектростанции показана на рис. 21. Электричество вырабатывается генератором, приводимым во вращение гидравлической турбиной. Вода подается к турбине по напорному трубопроводу, проложенному через плотину. Она задерживает водный поток, чтобы регулировать напор и накапливать воду для дальнейшего использования. Напор на турбине равен разности уровней между верхним и нижним бьефами.

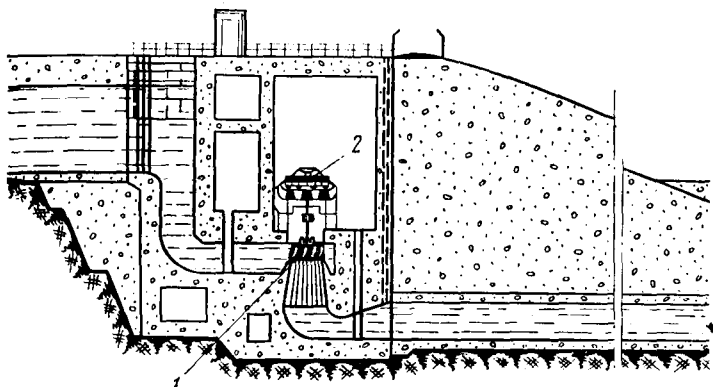
Простейшим типом гидроэнергетических систем является деривационная ГЭС, не имеющая плотины и водохранилища. Вода отводится из русла реки по открытому каналу или трубопроводу, которые подают ее на некоторое расстояние вниз по течению, но с мень-



Р и с. 20. Плотина Саяно-Шушенской ГЭС

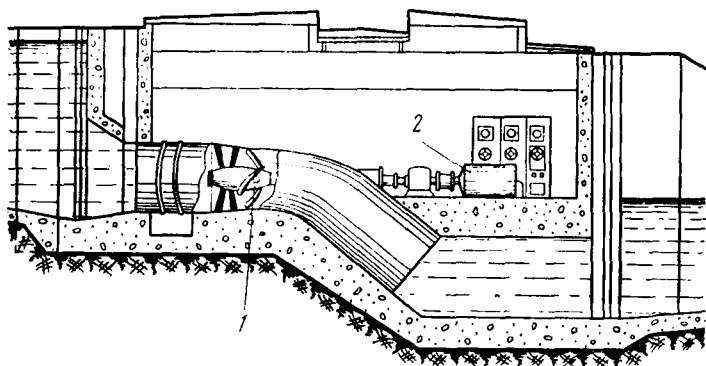
шим наклоном уровня, чем в самой реке. Тем самым достигается относительное превышение, после чего вода сбрасывается по напорному трубопроводу на турбину, расположенную на уровне реки ниже по течению (рис. 22). Такой тип ГЭС не требует создания дорогостоящих плотин и аккумулятивных водохранилищ, необходима только деривационная плотина для стабилизации и регулирования подвода воды.

Гидроэлектростанции малой мощности (МГЭС) строились еще в прошлом веке. Это были простейшие сооружения, порой из дерева, и многие разрушались при первом же серьезном паводке. До сих пор неясно, какие ГЭС считать малыми. Дело в том, что единой классификации еще не выработано и в разных странах свои категории. Например, в США это станции мощностью меньше 30 МВт, в Юго-Восточной Азии — меньше 12 МВт. В нашей стране к малым относят ГЭС с единичной мощностью турбины 0,01–10 МВт при диаметре рабочего колеса менее 3 м. Это связано с тем, что изготовление гидроагрегатов большого диаметра требует принципиально другой технологии. Поскольку на таких станциях обычно устанавливаются две-три



Р и с. 21. Схема гидроэлектростанции

1 — турбина; 2 — генератор



Р и с. 22. Схема деривационной ГЭС

1 — турбина; 2 — генератор

турбины, то верхний предел мощности МГЭС около 30 МВт. Их можно строить на малых, средних и в отдельных случаях на крупных реках (при неполном использовании речного стока). Сегодня во Франции действует 1100, в Швеции — 1200, Японии — 1300 малых ГЭС. Значительно опережает всех в этой области Китай, где 90 тыс. станций общей мощностью 7200 МВт производят 12 ТВт·ч электроэнергии.

По приблизительной оценке института «Гидропроект», потенциал МГЭС европейской части нашей страны составляет около 90 ТВт·ч. А сколько электро-

энергии можно получить, если рассматривать всю территорию СССР, и так ли уж они нужны нашей стране? (Ведь именно в сооружении гидроэлектростанций-гигантов СССР занимает ведущее место в мире, причем технический прогресс осуществлялся главным образом за счет увеличения единичной мощности агрегатов; так, на Красноярской ГЭС работает 12 турбин по 500 МВт каждая, а на Саяно-Шушенской ГЭС устанавливаются гидроагрегаты по 640 МВт.) Чтобы ответить на этот вопрос, нужно рассмотреть несколько факторов. Во-первых, примем во внимание, что даже те районы, которые подсоединены к ЕЕЭС, испытывают сегодня недостаток в электроэнергии и в напряженные периоды потребителей приходится ограничивать. Во-вторых, у нас действует большое число маломощных электростанций. Особенно дорого обходится дизельное топливо на севере, северо-востоке, в высокогорных районах Средней Азии и на Дальнем Востоке, где затраты на его транспортировку очень высоки. В связи с этим себестоимость электроэнергии здесь достигает 1 коп./кВт·ч. На МГЭС стоимость энергии в основном не превышает 2 коп./кВт·ч, а на 60% действующих МГЭС — менее 1 коп./кВт·ч. Ясно, что даже частичная замена дизельных станций позволит не только сберечь остродефицитное топливо (жидкое), но и сэкономить миллионы рублей.

Еще один важный аргумент в пользу МГЭС. В отличие от крупных гидроузлов они практически не изменяют природных условий: не затапливают больших земельных участков и даже снижают пики половодья. Кроме того, они улучшают водообмен и аэрацию. Наконец, такие станции ни в коей мере нельзя рассматривать как альтернативу большой энергетике. Эти направления должны развиваться параллельно, дополняя друг друга. МГЭС мощностью 1 МВт может обеспечить энергией до 500 полностью электрифицированных (с электроотоплением, горячим водоснабжением, кондиционированием воздуха) современных жилых домов в сельской местности. Если же мощность будет 10 МВт, то ее хватит для энергоснабжения крупного поселка. МГЭС могут служить надежным маневренным резервом промышленных предприятий. Варианты размещения МГЭС самые разнообразные. За рубежом они уже устанавливаются в системах энергоснабжения, в судопропускных сооружениях, на промышленных объектах,

где в технологии используются большие массы воды с перепадами высот, например на сбросах воды горно-обогатительных предприятий, тепловых и атомных станций. Словом, энергия берется повсюду, где она раньше просто терялась. Методику для определения эффективности МГЭС еще предстоит разработать. Сейчас начинается разработка основных направлений развития малой гидроэнергетики в СССР, что позволит определить экономически обоснованные масштабы ее внедрения.

Возвращение МГЭС будет происходить на новом техническом уровне. Прежде всего сроки сооружения не должны превышать один-два года, а стоимость в зависимости от продолжительности работы станции, ее мощности и т. д. должна составлять 260—1000 руб./кВт для европейской части СССР и 300—3500 руб./кВт для районов, где используется дизельное топливо. Как же выполнить все эти требования? Главный путь — отказ от индивидуального проектирования и создание унифицированных проектов сооружений и оборудования. Строительство станций должно быть блочным. Такой подход делает МГЭС на 12—30% дешевле. Новые станции необходимо создавать полностью автоматизированными, а оборудование — простым и надежным. Из перечисленного ясно, что проблема возвращения МГЭС достаточно сложна.

Предполагается в ближайшее время обследовать тысячи действующих и выведенных из эксплуатации объектов и дать предложения по их модернизации и восстановлению. Чтобы выработать принципы создания МГЭС, необходимо построить пять-шесть опытных станций. Уже намечено, где они могут быть сооружены. Это Курское и Владимирское водохранилища, Невинномысский канал, подбираются объекты в Средней Азии и на Дальнем Востоке.

МГЭС с вертикальной пропеллерной турбиной, рассчитанной на напор 10 м и расход воды до 10 м³/с, могут быть построены на таких реках, как Воронеж и Десна. Здание МГЭС будет вынесено в верхний бьеф и совмещено с водоприемником. Это позволит сократить объем строительно-монтажных работ и облегчит условия эксплуатации станции. Все гидротехническое оборудование будет находиться ниже уровня воды (на поверхности — 25% здания). Чтобы обеспечить надежную гидроизоляцию, стены должны быть покрыты

современными полимерными материалами. МГЭС с вертикальной радиальной осевой турбиной, рассчитанной на напор до 50 м и расход воды до 40 м³/с, можно строить на крупных капалах, водохранилищах практически при любой геологии основания, даже на скользкой глине. МГЭС с горизонтальной осевой турбиной, сооружаемой на водохранилищах с напором до 15 м и расходом воды до 30 м³/с, не требует значительного заглубления фундамента станции, что на четверть сокращает ассигнования на строительство этой МГЭС.

Проблемы рационального использования энергетических ресурсов и наиболее эффективного режима работы электростанций названы в Энергетической программе СССР в числе важнейших. Как преодолеть нехватку электроэнергии в час «пик», как лучше распорядиться ее избытком в ночные часы? Значительная роль в решении этих вопросов принадлежит электростанциям с высокосовременным оборудованием — гидроаккумулирующим, парогазовым и газотурбинным. Предусматривается, в частности, строительство гидроаккумулирующих электростанций в европейской части СССР.

Электрическая энергия, производимая электростанциями, расходуется неравномерно — по временам года и по часам суток. На многих ГЭС ночью и днем работает лишь часть агрегатов, зато утром и вечером поднимаются все затворы, открывая путь потокам воды на лопатки турбин. Правда, соединение нескольких энергосистем в крупную, объединенную позволяет в случае необходимости «перекачивать» энергию из одной системы в другую, из одного часового пояса (где час «пик» прошел) в другой (где он только что наступил). Но эти меры не всегда эффективны. Во-первых, потому что переброска энергии на большие расстояния связана со значительными техническими сложностями и немалыми потерями, во-вторых, колебания энергопотребления бывают столь велики, что мощностей соседних систем просто не хватает, чтобы их компенсировать.

Посмотрим, скажем, как колеблется в среднем за одни сутки электрическая нагрузка в объединенной энергосистеме северо-запада страны. Коэффициент неравномерности — отношение минимальной нагрузки к максимальной — составляет 0,58. Иначе говоря, разница почти в 3 раза, а иногда и больше. Следует учесть, что потребление энергии в европейской части

страны в будние дни на 20—30% больше, чем в воскресные, а зимнее потребление на 25—35% выше летнего. Колебания столь велики, что «перетока» энергии из системы в систему недостаточно, не хватает и запасов воды в водохранилищах ГЭС, чтобы компенсировать перепады энергопотребления. На первый взгляд проблемы нет. Больше нужно электроэнергии — значит, надо включить дополнительно несколько агрегатов на электростанциях. При меньшей потребности в энергии необходимо отключить часть блоков и остановить турбины. Однако все не так просто. Запустить и остановить на тепловой электростанции энергоблок мощностью, например, 300 тыс. кВт нелегко: на это уходит довольно много времени. Причем весь этот период агрегат будет работать в так называемом нерасчетном режиме, непроизводительно расходуя топливо и вырабатывая ресурс. Еще сложнее обстоят дела на атомной электростанции (АЭС). Пики нехватки электроэнергии постоянно сменяются другими пиками — избытка. Тогда электроэнергию можно было бы направить каким-либо потребителям, но таких потребителей не хватает. И получается, что потери для народного хозяйства неизбежны: в одних случаях в результате отключений промышленных предприятий, что, естественно, приводит к уменьшению выпуска готовой продукции; в других — из-за того, что в дневные и ночные часы блоки тепловых и атомных электростанций могли бы производить дополнительную энергию, но ее некуда девать.

Трубопроводы (их называют водопроводы) соединяют два огромных искусственных озера, два бассейна — верхний и нижний. По этим трубам, внутри которых мог бы проследовать даже автомобиль, вода дважды в день устремляется из верхнего бассейна в нижний, приводя в действие гидроагрегаты. Всего полтора-два часа будут вращаться турбины, прежде чем полностью опорожнится верхний бассейн. Но это будут те самые утренние и вечерние часы «пик», когда каждый дополнительный киловатт-час электроэнергии в народном хозяйстве буквально па вес золота. Итак, понизился уровень воды в верхнем бассейне и соответственно повысился в нижнем. Замолкли, остановились турбины. Но ненадолго. Спустя некоторое время снова наполнился мерным гулом машинный зал станции. Однако теперь на шины генераторов подается ток других электростанций (ведь «пик» энергопотребления уже

прошел); в результате генераторы обратились в электродвигатели, а турбины, завращавшись в обратную сторону, — в насосы. Снова по трубопроводам потекла вода, но только теперь снизу вверх, из нижнего бассейна в верхний. Идет процесс накопления воды в верхнем аккумулялирующем бассейне. Затраты на это, конечно, требуются немалые. Но в данном случае используется энергия «непиковых» часов, которая прежде вообще не использовалась. Через 5—6 ч, когда верхний бассейн вновь заполнится и наступят часы вечернего «пика» энергопотребления, станция вновь перейдет из режима «насос» в режим «турбина» и снова потечет по проводам дополнительная энергия. И так все время. Разработана программа, и выбраны точки для возведения примерно полутора десятков гидроаккумулялирующих станций в разных районах Советского Союза. Заметим, что почти все гидроаккумулялирующие станции выполняют различные «подсобные функции». И есть среди них одна, особенно важная.

Дело в том, что внезапное, непредусмотренное увеличение потребления энергии каким-либо предприятием, аварийный выход из строя энергоблока, обрыв линии электропередачи вызывают резкие колебания частоты в энергосистемах. Такое снижение качества электроэнергии — явление нежелательное, даже пагубное для моторов, станков, ЭВМ, бытовых приборов. Чтобы этого не происходило, необходимо вводить резервные мощности не только в «пиковые» часы. В подобных ситуациях быстро прийти на помощь в энергосистемах могут ГАЭС. Они нередко строятся специально на случай каких-либо «энерго-ЧП». Такова, например, ГАЭС Динорвик (Англия) мощностью 1,8 млн кВт.

Есть у ГАЭС и недостатки. Строить их можно не везде, а только там, где удастся найти участок земли со значительными перепадами высот. Таких мест, скажем, в европейской части страны, где проблема энергетического часа «пик» стоит особенно остро, немного. Кроме того, ГАЭС, как и ГЭС, сооружаются относительно долго и требуют для своего создания больших трудовых ресурсов. Правда, есть ряд способов удешевить создание таких станций. ГАЭС можно возводить в одном комплексе, например, с мощной тепловой, атомной или гидравлической станцией. В этом случае нужно строить лишь верхний бассейн, а в качестве нижнего использовать пруд-охладитель — неотъемлемую

часть любой тепловой и атомной станции — либо водохранилище ГЭС. У нас в стране уже ведется сооружение первого такого комплекса на реке Южный Буг, где ГАЭС как бы дополняет разместившиеся на одной площадке крупные АЭС и ГЭС. Планируемая суммарная мощность этого одного из крупнейших энергетических комплексов страны 6,1 тыс. МВт; он будет ежегодно вырабатывать около 30 млрд кВт·ч электроэнергии — втрое больше, чем сейчас дает весь гидроэнергетический каскад на Днестре. Создание таких энергокомплексов, помимо существенной экономии капиталовложений, способствует эффективной концентрации энергетических мощностей, а также более рациональному использованию водных ресурсов.

Гидроаккумулирующие станции сооружаются ныне во многих странах мира, и общая их мощность достигает уже десятков миллионов киловатт. Наиболее крупные возведены в США; в их числе самые большие в мире ГАЭС — Ладдингтон мощностью 1872 тыс. кВт и Рэкун Маунти — 1560 тыс. кВт. В Японии, например, мощность ГАЭС превышает 6% общей мощности всех станций. Много делается и для повышения эффективности гидроаккумулирующих станций.

Технологический процесс производства гидроэнергии экологически безвреден. При нормальном состоянии оборудования ГЭС отсутствуют какие-либо вредные выбросы в окружающую среду. Но создание крупных водохранилищ ГЭС на равнинных реках практически всегда влечет за собой ряд изменений в природных условиях и в объектах народного хозяйства затрагиваемой территории. Воздействие крупных водохранилищ на природные условия больших территорий очень многообразно. Оно может быть положительным и отрицательным.

Положительное значение водохранилищ как регуляторов стока распространяется на территории значительно большие, чем те, на которых оно располагается. Так, энергетический эффект регулирования стока проявляется не только в тех энергосистемах, в которых работает данная ГЭС, но при достаточно высокой ее мощности и в их объединениях. Орошение земель и защита плодородных угодий от наводнений, осуществляемые с помощью водохранилищ ГЭС, охватывают площади, в ряде случаев значительно превышающие площади затоплений. Однако нередко естественные

неуправляемые процессы, происходящие в водохранилищах, приводят к неблагоприятным последствиям.

Различают прямое и косвенное воздействие водохранилищ на окружающую природу. Прямое воздействие проявляется прежде всего в постоянном и временном затоплении и подтоплении земель. Большая часть этих земель относится к высокопродуктивным сельскохозяйственным и лесным угодьям. Зоны подтопления образуются в результате подъема грунтовых вод и приводят к заболачиванию земель, подтоплению различных сооружений и населенных пунктов и к связанному с этим ухудшению санитарных условий местности.

Сооружение крупных водохранилищ приводит, кроме того, к созданию условий для возникновения или повышения сейсмической активности в прилегающих к ним районах. Три наиболее мощных землетрясения во время заполнения водохранилищ и на начальной стадии их эксплуатации произошли в Кренате (Греция), Карибе (Замбия) и Койне (Индия). Сила наибольших толчков составляла от 7 до 9 баллов по шкале Рихтера. Землетрясения привели к трагическим последствиям — значительным разрушениям, повреждению плотин и человеческим жертвам. Следует заметить, что водохранилище Кариба (по объему и высоте плотины оно чуть меньше нашего Братского) расположено в несейсмической зоне. Известно более 10 землетрясений (однако без разрушительных последствий), происшедших в последнее время в Швейцарии, Японии, Югославии, Канаде, Франции, США, Италии, Алжире.

Процесс регулирования стока и происходящие в связи с этим частые колебания уровня воды в водохранилище вызывают переформирование его берегов и дна, что, в свою очередь, сопровождается увеличением акватории водохранилища, отложением в нем размывших пород, образованием подводных отмелей и отложением взвешенных наносов. Кроме того, изменяется гидрологический режим в обоих бьефах. Из-за увеличения зеркала водной поверхности резко возрастают потери воды на испарение, что влечет за собой заметное увеличение безвозвратных изъятий воды из реки. Изменяется собственно гидрологический режим реки. Вследствие срезки пиков половодий водохранилищами ГЭС уменьшаются затопления в нижнем бьефе, замедляются скорости и увеличиваются уровни воды в верхнем бьефе. Изъятие воды из водохранилища

в межленивый период приводит к возрастанию расходов воды, уровней и скоростей течения в нижнем бьефе. Меняется температура воды. Летом и осенью в водохранилище она становится ниже, чем в реке, что приводит к более раннему ледоставу, сокращению сроков навигации, неблагоприятному воздействию на фауну. Зимой температура воды глубинных слоев в водохранилище выше, чем в реке. Поэтому после прохождения воды через турбины ГЭС в нижнем бьефе возникают полыньи, длина которых нередко достигает нескольких десятков километров.

Появление больших водных поверхностей значительно усиливает волновые процессы переформирования берегов. В некоторых водохранилищах из-за мелководий происходят, как правило, неблагоприятные гидробиологические и гидрохимические процессы. В результате разлагаются органические вещества и цветет вода, а также ухудшается в связи с этим санитарное состояние водоема. Плохо очищенные сточные воды и малые скорости течения усугубляют это положение.

Косвенные воздействия водохранилищ на окружающую среду изучены не так полно, как прямые, но некоторые формы их проявления очевидны и сейчас. Так обстоит дело, например, с изменением климата в зоне влияния водохранилища: повышается влажность воздуха и образуются довольно частые туманы, уменьшается облачность днем над акваторией и уменьшаются среднегодовые суммы осадков, изменяется направление и скорость ветра, уменьшаются амплитуды колебания температуры воздуха в течение суток и года. Количество осадков в прибрежной зоне заметно увеличивается, а среднегодовая температура воздуха в зоне крупных южных водохранилищ несколько снижается. Наблюдаются изменения и других метеорологических показателей. Изменение климата вместе с подтоплением и переформированием берегов иногда ведет к ухудшению состояния прибрежной древесной растительности и даже к ее гибели.

К косвенным воздействиям водохранилищ следует отнести появление территорий, которые становятся менее пригодными для использования в хозяйственных целях (например, острова в верхнем бьефе, осушенные поймы в нижнем бьефе и др.).

Водоохранилища влияют также на рыбное хозяйство, препятствуя проходу рыбы к местам перестилниц.

Конечно, было бы неправильно утверждать, что все прямые и косвенные воздействия водохранилищ ГЭС на окружающую среду (а их гораздо больше, чем здесь рассмотрено) имеют только негативную сторону. Скажем, появление в верхнем бьефе мелководий играет и положительную роль, поскольку там можно разводить рис, водоплавающую птицу, ондатру, путрюю и т. п. Заиление прибрежной зоны, нежелательное во многих отношениях, создает возможность получения высокоэффективных удобрений из ила.

Возобновляемые источники энергии — объект международного сотрудничества

Международное сотрудничество стало важным фактором жизни мирового сообщества. Оно охватывает практически все сферы деятельности человечества: политику, экономику, науку, образование, культуру и т. д. Особенно широкое развитие научно-техническое сотрудничество получило в 60—70-х годах нашего столетия. За последние два десятилетия значительно выросло число организаций, занимающихся координацией и осуществлением международной кооперации в различных областях науки и техники. Ярким примером крупномасштабного научно-технического сотрудничества явился комплексный многоцелевой международный проект: «Вега», связанный с осуществлением полета двух советских межпланетных станций к комете Галлея. В его осуществлении приняли участие ученые девяти стран мира: СССР, Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Чехословакии, Австрии, Франции, ФРГ.

В ряду глобальных международных проблем энергетика занимает важное место. Большой вклад в ее развитие вносят международные организации, и прежде всего Организация Объединенных Наций и ее специализированные учреждения.

В 1948 г. в соответствии с резолюцией Генеральной Ассамблеи ООН была созвана Международная конференция по природным ресурсам в городе Лейк-Саксесс (США), на которой рассматривались энергетические проблемы ряда районов земного шара. Инициатором в развитии сотрудничества по новым и возобновляемым

источникам энергии была Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО). На третьей сессии Генеральной конференции ЮНЕСКО, состоявшейся в 1948 г., была начата подготовительная работа по организации международной исследовательской программы по аридным (засушливым) зонам земного шара. Основная цель ее состояла в изучении природных ресурсов этих районов, включая энергетические, в частности использование энергии солнца и ветра.

Данная программа осуществлялась 10 лет. За это время ЮНЕСКО субсидировала организацию нескольких международных симпозиумов и семинаров по солнечной и ветровой энергии, а также публикацию ряда научных исследований по использованию этих видов энергии. Первое крупное международное совещание по данной тематике состоялось в 1954 г. в Дели (Индия). ЮНЕСКО, несомненно, является пионером в осуществлении международных проектов в области новых и возобновляемых источников энергии.

В 1961 г. ООН провела свою первую конференцию по проблемам использования возобновляемых энергетических ресурсов. Однако эта конференция не привлекла к себе достаточного внимания в силу умеренных в то время цен на нефть, богатых ее запасов и оптимистических прогнозов в отношении развития ядерной энергетики. 60-е годы можно назвать периодом «энергетического» затишья, особенно в части альтернативных источников энергии.

Энергетический кризис, разразившийся в начале 70-х годов, вновь поднял значимость новых и возобновляемых источников энергии и заставил специалистов-энергетиков практически всех стран мира вернуться к их изучению. В 1978 г. ООН приняла решение созвать конференцию по новым и возобновляемым источникам энергии, основной задачей которой должна была явиться разработка мер по развитию и использованию новых и возобновляемых источников энергии в государствах—членах ООН.

Секретариат ООН проделал большую подготовительную работу перед этим важным международным форумом. К ней было привлечено более 2 тыс. экспертов, консультантов, сотрудников международных организаций, национальных государственных и научных учреждений. А в самой конференции, которая состоялась в

Найроби (Кения), приняли участие делегации практически всех стран мира.

Основным документом конференции стала Программа действий Найроби по развитию и использованию новых и возобновляемых источников энергии. Она определила основные пути развития международного сотрудничества, направленного на интенсификацию внедрения нетрадиционных источников энергии в практику, и указала первоочередные задачи, которые требовали безотлагательного решения. Это обмен научно-технической информацией, подготовка инженерных кадров, развитие исследовательской базы и промышленных предприятий по производству оборудования для использования этих источников энергии. Программа призывала все государства—члены ООН решить эти задачи.

Конференция явилась важным импульсом для развития исследований и практического применения новых и возобновляемых источников энергии. Во многих странах были разработаны национальные программы. Однако нехватка материальных ресурсов в большинстве развивающихся государств, расположенных в районах, где использование нетрадиционных источников энергии особенно перспективно, явилась серьезным препятствием для реализации таких программ. В связи с этим ряд международных организаций: Программа развития ООН (ПРООН), Организация ООН по промышленному развитию (ЮНИДО), Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Организация ООН по продовольствию и сельскому хозяйству (ФАО), ЮНЕСКО, региональные экономические комиссии ООН и др.—значительно увеличили долю своей программной деятельности, чтобы оказать техническую помощь развивающимся странам по освоению новых и возобновляемых источников энергии. В частности, ПРООН исследовала перспективные в отношении использования ряда энергетических источников регионы. Был изучен опыт строительства в Китае на малых реках гидроэлектростанций. Результаты этой работы были особенно важны для тех районов, в которых возможно лишь развитие мини-гидроэнергетики.

В середине 70-х годов ПРООН совместно с ЮНИДО и Комиссией ООН по экономическому и социальному развитию для стран Азии и бассейна Тихого океана осуществила крупномасштабный, пятилетний проект по

строительству биогазификационных заводов в большинстве азиатских стран. Проект был закончен в 1980 г. Он послужил началом широкого использования отходов животноводства для производства метана во многих странах Юго-Восточной Азии, а некоторые из них, так же как Китай и Индия, занимают в данной области лидирующее положение в мире.

ЮНЕП сосредоточила свои усилия на финансировании показательных проектов, демонстрирующих широким слоям населения способы использования энергии солнца, ветра, биомассы и т. д., их экологическую чистоту. С помощью этой организации построено несколько деревень в Азии, Африке, в арабских странах, в которых энергоснабжение жилых домов, общественных и производственных помещений обеспечивается за счет этих источников.

Деятельность ФАО связана в основном с использованием возобновляемых источников энергии в сельской местности и в сельскохозяйственном производстве. Организация финансирует и осуществляет проекты по созданию установок для солнечной сушки овощей, фруктов и рыбы, холодильных аппаратов для хранения скоропортящихся продуктов, теплиц с солнечным охлаждением и вентиляцией в странах с тропическим климатом. Большие исследования провела ФАО по использованию отходов сельскохозяйственного производства для получения метана и высококачественного удобрения. Крупные проекты по этой тематике были выполнены в странах Юго-Восточной Азии: на Филиппинах, в Малайзии, Индонезии и др. За последнее время ФАО организовала в некоторых регионах мира кооперативные сети по улучшенному использованию энергии в сельском хозяйстве. В этой связи необходимо отметить Европейскую сеть, в рамках которой осуществляется интенсивный обмен научно-технической информацией и практическим опытом по использованию главным образом солнечной и ветровой энергии в сельских местностях большинства европейских стран.

Значительную работу по распределению научно-технической информации и подготовке научных кадров проводит Университет ООН, расположенный в Токио. Специалистам, занимающимся использованием солнечной энергии, хорошо известен ежеквартальный бюллетень, дающий обзоры статей по различным разделам «солнечной» технологии. Университет осуществляет и

крупные проекты, финансируемые ПРООН. В качестве таких проектов можно упомянуть программы по переработке органических отходов в сельских местностях в целях получения биогаза, осуществляемые в Танзании и Китае.

Все это свидетельствует о росте масштабов сотрудничества в области использования новых и возобновляемых источников энергии. Однако отсутствие должной координации деятельности различных организаций зачастую приводит к дублированию, параллелизму в работе.

В декабре 1981 г. по решению Генеральной Ассамблеи ООН был создан межправительственный комитет, в который вошло более 90 государств—членов ООН. Основная задача комитета — контроль за выполнением Программы действий, одобренной Найробийской конференцией, мобилизация финансовых ресурсов для решения наиболее перспективных задач по использованию возобновляемых источников энергии в различных регионах и странах, а также осуществление координации деятельности организаций системы ООН в этой области.

Серьезным сдерживающим фактором в развитии эффективного сотрудничества в рамках ООН является нестабильность мирового энергетического рынка. Спекулятивные акции, предпринятые нефтяными монополиями, привели в последнее время к резкому снижению цен на нефть и нефтепродукты, что может отразиться и на объемах финансирования проектов, связанных с использованием возобновляемых источников энергии.

Как уже отмечалось, многие международные организации разработали программы и проекты по новым и возобновляемым источникам энергии. Однако только ЮНЕСКО организовала наиболее полную по своему охвату программу, которая включает в себя поддержку различных международных мероприятий, содействие региональному сотрудничеству, подготовку специалистов для развивающихся стран, а также создание международной системы обмена научно-технической информацией в области новых и возобновляемых источников энергии. Энергетическая деятельность ЮНЕСКО входит в крупную программу VI.3 организации «Ключевые области науки и техники» под общим названием «Возобновляемая энергия». Несмотря на сравнительно небольшой объем финансирования, примерно 1 млн долл.

в год, организации удается вот уже более 10 лет многое делать в этой области. ЮНЕСКО организовала сама и субсидировала более 100 международных конференций, симпозиумов и семинаров. Крупнейшая международная конференция «Солнце на службе человека» была организована ЮНЕСКО и состоялась в ее штаб-квартире в Париже в 1974 г. Более 1000 специалистов из 65 стран приняли участие в этом представительном форуме ученых-энергетиков. Важными научными событиями стали конференции Международного общества по солнечной энергии, проводимые один раз в четыре года при активном участии ЮНЕСКО. Последние две конференции состоялись в 1981 г. в Перте (Австралия) и в 1985 г. в Монреале (Канада).

При помощи ЮНЕСКО и при ее активном участии было развито региональное сотрудничество в области солнечной энергетики. Были организованы кооперативные сети в Азии, Европе, с 1982 г. начало свою деятельность Африканское общество солнечной энергии.

В Европейской сети по солнечной энергии, созданной в 1983 г., принимают активное участие советские научно-исследовательские организации и отдельные специалисты. Институт высоких температур АН СССР (ИВТАН) является головной организацией сети по аккумулированию тепла. В феврале 1985 г. в Москве ИВТАН организовал заседание рабочей группы по этой проблеме.

Успешно развивается в рамках Европейской сети сотрудничество по проблеме солнечной сушки. Состоялось уже два заседания рабочей группы: первое в 1984 г. в городе Перпиньян во Франции, второе в 1985 г. в Ашхабаде. Члены рабочей группы — ведущие специалисты из Франции, Швеции, Англии, Болгарии, Греции, Венгрии, Бельгии, Италии и СССР — решили сосредоточить свои усилия на выработке методики технико-экономической оценки сушильных установок, а затем на этой основе перейти к разработке рекомендаций по их проектированию и эксплуатации.

Рабочая группа по солнечному водонагреву, возглавляемая Институтом ядерной энергии им. Б. Кидрича в Белграде, посвятила свою деятельность изучению зависимости эффективности водонагревательных систем от срока их службы. Созданы также рабочие группы по фотоэлектричеству и пассивным солнечным системам. В марте 1986 г. в университете города Штутгарта

(ФРГ) состоялось заседание рабочей группы по фотоэлектричеству, а первая встреча ученых группы по пассивным системам была проведена в сентябре 1986 г. в Венгрии.

Европейская сеть имеет своей целью распространение результатов научно-технического «солнечного» сотрудничества в развивающихся странах, используя для этого каналы ЮНЕСКО. Создание международной информационной системы по новым и возобновляемым источникам энергии — другой важный проект в деятельности ЮНЕСКО.

В настоящее время в стадии разработки находятся региональные системы в Азии, Африке, Латинской Америке и арабских странах. Планируется создать банки данных, на основе которых будет производиться анализ и оценка научно-технической информации. С помощью вычислительных машин и современных средств связи эти банки данных станут доступны многим исследовательским и учебным центрам развивающихся стран.

ЮНЕСКО подготовила несколько выпусков Международного справочника национальных информационных и исследовательских центров по новым и возобновляемым источникам энергии, краткий словарь терминов, специфических для этого раздела энергетики, опубликовала несколько информационных брошюр и т. д. Кроме того, ЮНЕСКО — первая международная организация, которая более 10 лет назад организовала несколько постоянно действующих учебных курсов по данному направлению. Это прежде всего аспирантские курсы по солнечной энергии при университете в городе Перпиньян, на которых ежегодно обучается свыше 20 молодых ученых из стран Африки, Азии и Латинской Америки, в городе Ниамей (Нигер) и в Бангкоке (Таиланд). За время существования этих курсов около 70 специалистов защитили диссертации на соискание различных ученых степеней. Многие из них сейчас возглавляют исследовательские лаборатории или ведут преподавательскую работу.

В течение многих лет организуются ежегодные учебные курсы по геотермальной энергии в городах Фукуока (Япония) и Пиза (Италия). За последние годы был проведен также целый ряд краткосрочных курсов и летних школ по различным проблемам нетрадиционных источников энергии такими научными меж-

дународными организациями, как Международный центр по тепло- и массообмену, Международный центр теоретической физики, Региональный центр по тепло- и массообмену и энергии для Азии и стран бассейна Тихого океана. С 1975 по 1985 г. было подготовлено более тысячи специалистов для развивающихся стран.

Одна из важных сфер деятельности ЮНЕСКО — публикация и распространение в государствах—членах ООН научных книг, учебников, обзоров, трудов конференций, симпозиумов и семинаров. Еще в 50-х годах ведущие специалисты по просьбе организации подготовили ряд фундаментальных книг по использованию солнечной и ветровой энергии.

В конце 70-х — начале 80-х годов ЮНЕСКО были опубликованы такие известные книги, как «Солнечное электричество. Экономический подход к использованию солнечной энергии», написанная В. Пальцем, ученым из ФРГ, «Освоение энергии Океана» и др. Проблемам использования новых и возобновляемых источников энергии были посвящены три выпуска «Курьера ЮНЕСКО», один выпуск научного журнала «Импакт. Наука и Общество».

Несмотря на ограниченные финансовые ресурсы, ЮНЕСКО удается расширять свою программную деятельность в основном за счет развития сотрудничества с другими международными организациями.

Говоря о международном сотрудничестве, пужно упомянуть программы по новым и возобновляемым источникам энергии крупнейших межправительственных экономических организаций — Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ) и Комиссии Европейских Сообществ (Общий рынок). Сотрудничество в рамках СЭВ охватывает такие области, как солнечная энергетика, геотермальная и ветровая энергия. Совместные работы проводятся ведущими исследовательскими учреждениями государств—членов СЭВ на основе координационных планов.

В области солнечной энергетики перед специалистами СЭВ стоят задачи по созданию и массовому производству фотоэлектрических солнечных электростанций мощностью от 0,1 до 1000 Вт, по разработке методов измерений и испытаний солнечного энергетического оборудования. Большое внимание в совместных работах уделяется созданию высокоэффективных солнечных

тепловых установок и строительству экспериментальных жилых домов с их использованием.

Научно-техническое сотрудничество стран—членов СЭВ в области использования геотермальной энергии охватывает широкий круг аспектов теоретического и технического характера. Большие совместные работы были проведены в 70-х годах. Составлен прогноз использования ресурсов геотермальной энергии до 1990—2000 гг.

Осуществление программы, намеченной на 80-е годы, позволит обеспечить в странах—членах СЭВ значительную экономию органического топлива, оцениваемую в 10—12 млн тунт. Эта экономия будет достигнута за счет как строительства ГеоТЭС, так и широкого использования геотермальных вод для теплоснабжения жилых домов и производственных, главным образом сельскохозяйственных, помещений.

Работы СЭВ по использованию ветровой энергии направлены на решение задач, связанных с разработкой ветровых установок мощностью от 1 до 1000 кВт и с применением их в системах водоснабжения, а также для выработки электроэнергии.

По оценкам специалистов, новые и возобновляемые источники энергии могут занять важное место в топливно-энергетическом хозяйстве стран—членов СЭВ.

Другой крупной программой по использованию этих энергетических источников является программа Комиссии Европейских сообществ — политико-экономической организации ведущих капиталистических стран Западной Европы. Она называется «солнечной», хотя имеет в своем составе проекты, связанные с использованием энергии ветра и биомассы.

Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии в электрическую занимает главное место в программе. В 1982—1983 гг. было построено несколько довольно крупных электростанций мощностью 60—300 кВт. Самой крупной из них, мощностью 300 кВт, является ФЭС на острове Пеллворн (ФРГ), которая была построена по контракту с «Общим рынком» компанией «АЕГ—Телефункен». К числу других крупных станций можно отнести ФЭС на острове Киснос (Греция) мощностью 50 кВт и др. В 1984 г. пущены в действие четыре ФЭС мощностью 45—80 кВт, построенные различными итальянскими фирмами.

В области проводимых исследований в программе

сделан упор на удешевление фотоэлектрических элементов. По мнению ведущих западноевропейских специалистов, создание технологий по производству тонкопленочных фотоэлектрических преобразователей может значительно уменьшить стоимость фотоэлектрических модулей, а следовательно, и удешевить электроэнергию, производимую ФЭС.

Существует еще одна международная организация капиталистических стран — Международное Энергетическое Агентство (МЭА) Организации Экономического Сотрудничества и Развития (ОЭСР), которая несколько лет развивает сотрудничество в области новых и возобновляемых источников энергии. ОЭСР по своему составу более расширенная, чем Общий рынок. Основные направления работы МЭА сконцентрированы на решении следующих задач: тепловое превращение солнечной энергии; использование геотермальной энергии (нагревательные и охлаждающие системы, производство электроэнергии); переработка биомассы; разработка океанических термосистем; производство водорода.

В своей работе агентство уделяет большое внимание вопросам стандартизации энергетических устройств, оценке их экономической эффективности. МЭА создало несколько рабочих групп по стандартизации солнечных коллекторов, как водяных, так и воздушных, а также по унификации основных частей солнечных нагревательных систем.

К числу значительных международных программ по нетрадиционным источникам энергии относится Кооперативная программа по использованию солнечной энергии в Средиземноморском районе. В ней участвуют не только страны Средиземноморья, но и ряд стран Азии, Африки и Латинской Америки. Советский Союз также принимает участие в программе. Организованная в 1964 г. по инициативе видных ученых-энергетиков Франции, Италии, Испании, Греции и Португалии, программа предусматривает обмен научно-технической информацией и практическим опытом по использованию солнечной энергии. Секретариат программы, который находится в Марселе, публикует 2 раза в год Международное гелиотехническое ревю. В рамках программы действуют рабочие группы, собираются семинары и симпозиумы. Хотя программа не финансирует и не осуществляет непосредственно научно-исследовательских работ, как СЭВ или Общий рынок, однако она

вносит немалый вклад в решение научно-технических проблем, связанных с использованием солнечной энергии, содействуя установлению рабочих контактов между специалистами разных стран. Она относится к ряду неправительственных организаций, которых в настоящее время в мире насчитывается более 2 тыс. Некоторые из них имеют ярко выраженный энергетический профиль. Это прежде всего Мировая энергетическая конференция (МИРЭК), Международный институт холода, Международный центр по тепло- и массообмену, Международное общество по солнечной энергии (МОСЭ).

Самое видное место в ряду неправительственных международных организаций, работающих в области энергетики, безусловно, занимает МОСЭ, объединяющее ученых и инженеров более чем из 60 стран мира. Практически все «солнечные» специалисты участвуют в международных конгрессах по солнечной энергетике, организуемых обществом один раз в три года. Несколько конгрессов было организовано с участием ЮНЕСКО.

Некоторые другие авторитетные международные организации, такие, как МИРЭК, тоже стали уделять внимание новым и возобновляемым источникам энергии. Создан комитет по нетрадиционным источникам энергии, а на конгрессах МИРЭК которые созываются один раз в четыре года, обсуждаются перспективы их использования и вклад в национальные и мировой энергетические балансы.

Международное экономическое и научно-техническое сотрудничество развивается не только на многосторонней основе в рамках определенных организаций. Большие перспективы для такого сотрудничества открывают двусторонние связи между различными странами. Особенно продуктивны двусторонние связи между промышленно развитыми странами. Однако новые и возобновляемые источники энергии практически не нашли места в этом сотрудничестве.

Двустороннее сотрудничество между социалистическими, а также между социалистическими и развивающимися странами носит равноправный и взаимовыгодный характер. В этой связи необходимо упомянуть советско-гвинейский научно-исследовательский центр, который был построен в столице Гвинеи городе Конакри и передан в качестве дара СССР гвинейскому народу. Основные области работы центра — океанография, ге-

лиофизика и испытание материалов в тропических условиях. Центр построен и эксплуатируется на средства СССР. Исследования по гелиофизике и гелиотехнике проводились в соответствии с научной программой, разработанной в Государственном энергетическом научно-исследовательском институте им. Г. М. Кржижановского и имеющей следующие направления:

исследования процессов тепло- и массообмена в элементах солнечных водо- и воздухонагревательных систем при их эксплуатации в тропических условиях;

исследования процессов старения конструкционных материалов элементов солнечных установок и определение ресурсов их работы в условиях повышенной влажности и запыленности;

исследования динамики оптических характеристик концентрирующих систем солнечных установок в местных условиях;

исследования радиационных режимов зданий в местных условиях и принципов их оптимальной ориентации;

накопление статистических материалов и их обобщение по солнечному радиационному режиму города Конакри и других районов страны;

техничко-экономические исследования перспектив использования солнечных установок в местных условиях.

Важнейшая задача центра в области солнечной энергетики — создание надежных энергетических систем, приспособленных для местных климатических условий Гвинеи, и широкое их использование в народном хозяйстве.

Создание научного центра в Конакри является ярким примером бескорыстной помощи, оказываемой Советским Союзом развивающимся странам в области науки и техники, и в частности в деле освоения новых и возобновляемых источников энергии.

Советские ученые, инженеры и техники принимают активное участие в международном научно-техническом сотрудничестве как в рамках отдельных международных организаций, так и на основе многосторонних и двусторонних соглашений.

Сотрудничество в области новых и возобновляемых источников энергии, пока еще сравнительно молодое — немногим более 20 лет, будет способствовать ускоренному развитию решения проблем по широкому использованию этих энергетических источников.

Заканчивая наш рассказ о новых и возобновляемых источниках энергии, хочется еще раз подчеркнуть, что роль их будет возрастать по мере удорожания и исчерпания ископаемых топлив. На определенном этапе они могут даже стать одним из основных источников энергии, поскольку обладают рядом преимуществ — равномерным распределением, экологической чистотой и др.

Хотя абсолютная величина запасов возобновляемых источников энергии исключительно велика, плотность их, к сожалению, мала, и это является существенным препятствием для крупномасштабного их использования. Поэтому сегодня стратегия практического освоения возобновляемых источников заключается в комплексном их сочетании с традиционными видами топлив.

Проблемы развития энергетики сложны и многообразны, наряду с научно-техническими они включают социальные и политические. Все более широкое применение новых и возобновляемых источников энергии, безусловно, явится вкладом в решение проблем социально-экономического развития многих стран мира.

При написании книги авторы консультировались по многим вопросам с крупными учеными и видными специалистами в области энергетики. Авторы выражают сердечную благодарность за ценные советы и замечания академику М. А. Стыриковичу, члену-корреспонденту АН СССР П. С. Непорожнему, Э. Э. Шпильрайну и О. С. Попелю.

Литература

- Акуличев В. А.* Океан и энергетика // Природа. 1979. № 8.
- Апариси Р. Р., Гафф Б. А.* Использование солнечной энергии. М.: Изд-во АН СССР, 1958.
- Берковский Б. М., Кузьминов В. А.* Платации горючего // Энергия. 1984. № 6.
- Более чем достаточно: Оптимистический взгляд на будущее энергетика мира. М.: Энергоатомиздат, 1984.
- Геотермальная энергия, ресурсы, разработка, использование. М.: Мир, 1975.
- Дворов И. М., Дворов В. И.* Освоение внутриземного тепла. М.: Наука, 1984.
- Денисенко Г. И.* Возобновляемые источники энергии. Киев: Вища шк., 1983.
- Жижерин Д. Г.* Энергетика: Настоящее и будущее. М.: Знание, 1978.
- Импакт, наука и общество // ЮНЕСКО. 1982. № 3.
- Курьер ЮНЕСКО. 1981. Август.
- Легасов В. А.* Источник особой ценности // Энергия. 1985. № 11.
- Мангушев К. И.* Проблемы развития геоэнергетики мира. М.: Наука, 1981.
- Мировая энергетика: Прогноз развития до 2020 года. М.: Энергия, 1980.
- Михайлов Л. П., Фельдман Б. Н.* Возвращение малых ГЭС // Энергия. 1984. № 6.
- Непорожний П. С., Обрезков В. И.* Гидроэлектроэнергетика. М.: Энергоиздат, 1986.
- Новые источники и методы преобразования энергии. М.: СЭВ, 1981.
- Основные положения энергетической программы СССР на длительную перспективу. М.: Политиздат, 1984.
- Петров Н. И.* Энергетика: Проблема «часа пик» // Наука и жизнь. 1984. № 11.
- Стырикович М. А., Шпильрайн Э. Э.* Энергетика: Проблемы и перспективы. М.: Энергия, 1981.
- Стырикович М. А.* Пути и перспективы энергетики // Энергия. 1984, № 1.
- Шехтер Я. П.* Использование энергии ветра. М.: Энергоатомиздат, 1983.
- European Wind Energy Conference. 1984: Proc. Intern. Conf. Hamburg (F. R. G.) 20—26 Oct. 1984. Bedford, Stephens and Associates, 1985.
- First E. C. Conference on solar Heating: Proc. Intern. Conf. Amsterdam. Apr. 30 — May 4, 1984. Dordrecht, Reidel, 1984.
- Haversting Ocean Energy. P. Unesco press, 1981.
- International Directory of New and Renewable Energy Information Sources and Research Centres. P. Unesco, 1982.

- Methan Generation from Human, Animal and Agricultural Wastes. Nat. Acad. Sci. Wash. (D. C.). 1977.
- Palz W.* Solar Electricity, An Economic Approach to Solar Energy. Butterworths: P. Unesco, 1978.
- Second Unesco International Forum on Fundamental World Energy Problems: Support. Pap. Solar Energy. Santiago de Compostella (Spain): 1979. P. Unesco, 1979.
- Sixth E. C. Photovoltaic Solar Energy Conference: Proc. Intern. Conf. London (U. K.). 15—19 Apr. 1985. Dordrecht, Reidel, 1985.
- Solar collectors in Architecture: Proc. Intern. Conf. Venice, Italy, 3—5 Mar. 1983. Dordrecht, Reidel, 1984.
- Supplement Energy for Rural Development. Wash. (D. C.): Nat. Acad. press, 1981.

Содержание

От редактора	3
Прошлое и настоящее энергетики	5
Использование солнечной энергии	14
Вторая жизнь ветряных мельниц	40
Энергия океана на службе человека	54
Плантации горючего	74
Геотермальная энергия	89
Энергетические ресурсы рек	100
Возобновляемые источники энергии — объект международного сотрудничества	112
Литература	125

**Борис Михайлович Берковский
Владимир Алексеевич Кузьминов
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ
ЭНЕРГИИ
НА СЛУЖБЕ ЧЕЛОВЕКА**

Утверждено к печати
Редколлегией серии
«Научно-популярная литература»
Академии наук СССР

Редактор издательства Л. И. Приходько
Художник С. А. Резников
Художественный редактор В. Ю. Кученков
Технический редактор А. М. Сатарова
Корректоры Н. Г. Васильева,
Р. З. Землянская

ИБ № 35439

Сдано в набор 08.07.86
Подписано к печати 04.09.86
Т-15134. Формат 84×108¹/₃₂
Бумага книжно-журнальная импортная
Гарнитура обыкновенная
Печать высокая
Усл. печ. л. 6,72. Усл. кр. отт. 6,93
Уч.-изд. л. 6,9
Тираж 14 300 экз. Тип. зак. 2758
Цена 45 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство «Наука»
117864 ГСП-7, Москва, В-485
Профсоюзная ул., 90

2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер. 6



В последние годы «солнечная» архитектура находит все большее применение в строительстве. Солнечные коллекторы становятся неотъемлемой частью энергетических систем не только отдельных жилых домов, но даже их комплексов.

