

В. Володин П. Хазановский

ГОРИЗОНТЫ

ПОЗНАНИЯ



В. Володин  
П. Хазановский

ЭНЕРГИЯ. ВЕК  
ДВАДЦАТЬ ПЕРВЫЙ





ГОРИЗОНТЫ



ПОЗНАНИЯ





ГОРИЗОНТЫ



ПОЗНАНИЯ

**ГОРИЗОНТЫ**

**ПОЗНАНИЯ**



**В. Володин  
П. Хазановский**



**ЭНЕРГИЯ,  
ВЕК  
ДВАДЦАТЬ  
ПЕРВЫЙ**

**Москва  
«Детская  
литература»  
1989**



ББК31  
В68

Научный рецензент  
Б. В. ТАРНИЖЕВСКИЙ

Оформитель серии  
Б. Н. ЧУПРЫГИН

Художник  
В. И. БАРЫШЕВ

В 4802020000—206 055—88  
М101(03)-89

ISBN 5—08—001341—9

© Издательство «Детская литература», 1989

---

Эта книга посвящена энергии, той самой энергии, без которой не было бы современного общества, привычных удобств, развлечений, современной цивилизации. Жалок был бы человек, не имеющий в своем распоряжении всевозможных энергетических источников, помогающих ему жить. Человек без дополнительной энергии вынужден был бы полагаться только на самого себя — лишь на свои силы, на свои мускулы.

В книге мы расскажем о самых различных — привычных и экзотических — способах получения энергии, расскажем об истории их открытия и развития, об их перспективах и проблемах, возникающих при их использовании. Проблемы эти довольно сложны и неоднозначны; чтобы их решить, понадобится многолетний труд, который, наверное, никогда не сможет быть завершен.

Главный вопрос — сколько человечеству нужно энергии? Сколько энергии нужно произвести, чтобы жить в теплых и удобных квартирах, чтобы создавать необходимые изделия, пользоваться транспортом, чтобы готовить пищу, чтобы развлекаться?

Сегодня в среднем на каждого жителя Земли расходуется примерно около двух с половиной киловатт мощности. Конечно, распределяется эта величина неравномерно. В развитых странах, таких, как, например, СССР, США, европейские страны, эта величина почти втрое выше, а в развивающихся втрое ниже. Сейчас существует тенденция понижения энергопотребления в развитых странах и повышения — в развивающихся. Специалисты считают, что в начале XXI века каждому живущему на Земле понадобится для нормальной жизни примерно 3—4 киловатта мощности. Если учесть, что к этому времени население Земли будет составлять примерно 7,5 миллиарда человек (сегодня нас — 5 миллиардов), то примерная величина потребной энергетической мощности в 2020 году составит почти 30 миллиардов киловатт. Сейчас в мире общее потребление энергии составляет примерно 10,5 миллиарда киловатт. Следовательно, уже в первой четверти следующего века человечеству придется установить вдвое больше энергетических источников, чем оно имеет сегодня.

И тут непременно возникнут проблемы, над которыми мы, к сожалению, только начали задумываться. Известно, например, что в сегодняшнем энергобалансе львиная доля принадлежит ископаемому топливу и биомассе. При получении энергии осуществляется в том или ином виде сжигание различных видов топлива — нефти, газа, угля, дерева, — при котором происходит выделение больших количеств углекислого газа, накопление которого в атмосфере может привести к так называемому парниковому эффекту (углекислый газ пропускает солнечное тепло к поверхности Земли, но препятствует его излучению в космическое пространство). Уже сейчас это явление начинает ощущаться в масштабах всей планеты: растет средняя температура воздуха, содержание в нем влаги. Последствия этого явления могут оказаться катастрофическими. Если, например, средняя температура воздуха на планете возрастет, скажем, на три градуса, то это может привести к экологической катастрофе — начнется интенсивное таяние льдов в полярных областях, повышение уровня Мирового океана, катастрофические наводнения и затопления огромных прибрежных территорий, возникновение новых пустынь. Кроме парникового эффекта, непрерывно дымящие трубы тепловых электростанций и других энергетических источников могут принести и другие неприятности. Сколь бы ни были совершенны фильтры, улавливающие твердые частицы не полностью сгоревшего топлива, огромное количество их вместе с дымом попадает в атмосферу. В этих частицах содержатся различные



---

вредные, в том числе вызывающие рак и другие болезни, вещества. Возрастание этих выбросов втрое несомненно поставит под угрозу здоровье миллионов людей.

Гидроэлектростанции, доля которых в общем производстве энергии не так уж велика (всего несколько процентов), казалось бы, не оказывают столь вредных воздействий на окружающую среду. Однако дискуссии, прошедшие в последнее время на страницах нашей прессы, высветили доселе остававшиеся в тени вредные последствия строительства гидротехнических сооружений, особенно в равнинных местностях. Заливаются земли, ранее приносившие богатые урожаи, гибнут в огромных масштабах лес и лесные богатства, рыба, нарушается экологическое равновесие, неблагоприятно воздействие новых рукотворных морей на климат.

Долгое время панацеей для лечения энергетического голода считались атомные электростанции. Казалось, что они снимают проблемы, возникающие при сжигании органического топлива, обеспечивают сравнительную экологическую чистоту производства энергии. Проблемы безопасности атомных электростанций казались вполне разрешимыми. Футуристические силуэты атомных станций стали непременным атрибутом европейских пейзажей. Некоторые страны, например Франция, сделали на атомную энергетику основную ставку — доля энергии, производимой на АЭС, достигла 70%. Эта эйфория в связи с обострением внимания к экологическим проблемам сменилась растерянностью. Проведенный в Швеции всенародный референдум принял решение вообще отказаться от атомных станций. И это произошло еще до аварий АЭС на «Тримайл айлендс» и в Чернобыле, аварий, вероятность которых оценивалась как пренебрежимо малая! Но даже если вопросы безопасности и радиоактивных отходов будут успешно решены (основания для такого предположения есть), в атомной энергетике есть еще много проблем. Техническая неподготовленность человечества к использованию атомной энергии привела к тому, что степень использования топлива на атомных станциях в настоящее время ниже, чем даже на тепловых!

Понятно, что в этих условиях взгляды ученых все чаще обращаются к источникам энергии экологически чистым, не вредящим природе и человеку. Речь идет об очень давно известных человечеству энергии ветров, приливов, морских течений и волнений, тепла Земли, наконец, к прямому использованию солнечной энергии. Пока доля этих источников в общем энергобалансе невелика — не более процента. Но они крайне привлекательны для энергетиков. Во-первых, эти источники нескончаемы. Всегда будут дуть ветры, всегда будет светить Солнце, всегда будет в движении Мировой океан, покрывающий значительную долю поверхности нашей планеты. И во-вторых, их использование не приводит ни к каким нежелательным для природы и человека последствиям. Вот почему доля этих источников в энергопотреблении будет постоянно возрастать, а сравнительная стоимость производства энергии этими способами будет неуклонно снижаться.

От экологии перейдем к экономии. Этот вопрос крайне важен, быть может, именно для нашей страны. К сожалению, многие годы вместо того чтобы рачительно хозяйствовать, экономить, наши ученые и инженеры двигались, как сейчас говорят, по экстенсивному пути — по пути наращивания числа станций, агрегатов. Сроки строительства затягивались, омертвлялись миллиарды в неустановленном оборудовании. Как-то забылось, что эра дешевой энергии закончилась. Каждая цистерна добытой нефти, тонна угля, кубометр газа стоят все дороже и дороже. А практически никакой борьбы с нерациональной растратой энергии, с ее неразумными потерями не велось.

Приведем несколько примеров. На освещение у нас в стране использует-

---

ся примерно восьмая часть произведенной электроэнергии. Но эта энергия потребляется в основном лампами накаливания — устройствами, световая отдача которых составляет всего один процент! Переход на более экономные люминесцентные источники света мог бы принести и больше света в наши помещения, и большую экономию энергии. Ученые подсчитали, что неэффективное освещение ежегодно уносит около 60 миллиардов киловатт-часов электроэнергии, для производства которых нужно сжечь 18 миллионов тонн угля или 12 миллионов тонн нефти.

А проблема экономии тепла! Только треть тепла, пришедшая в наш дом, действительно его отапливает. Столько же уходит через плохо утепленные окна и двери, 16% уходит через кровлю, 18% — через стены, 6% — через подвалы. Новые конструкции зданий, усовершенствованные строительные материалы помогут намного сократить потери тепла в наших домах.

И еще одна любопытная цифра: 3640 миллионов киловатт-часов ежегодно расходуются только на то, чтобы подать в квартиры воду, которая бесполезно выкапывает через плохие краны.

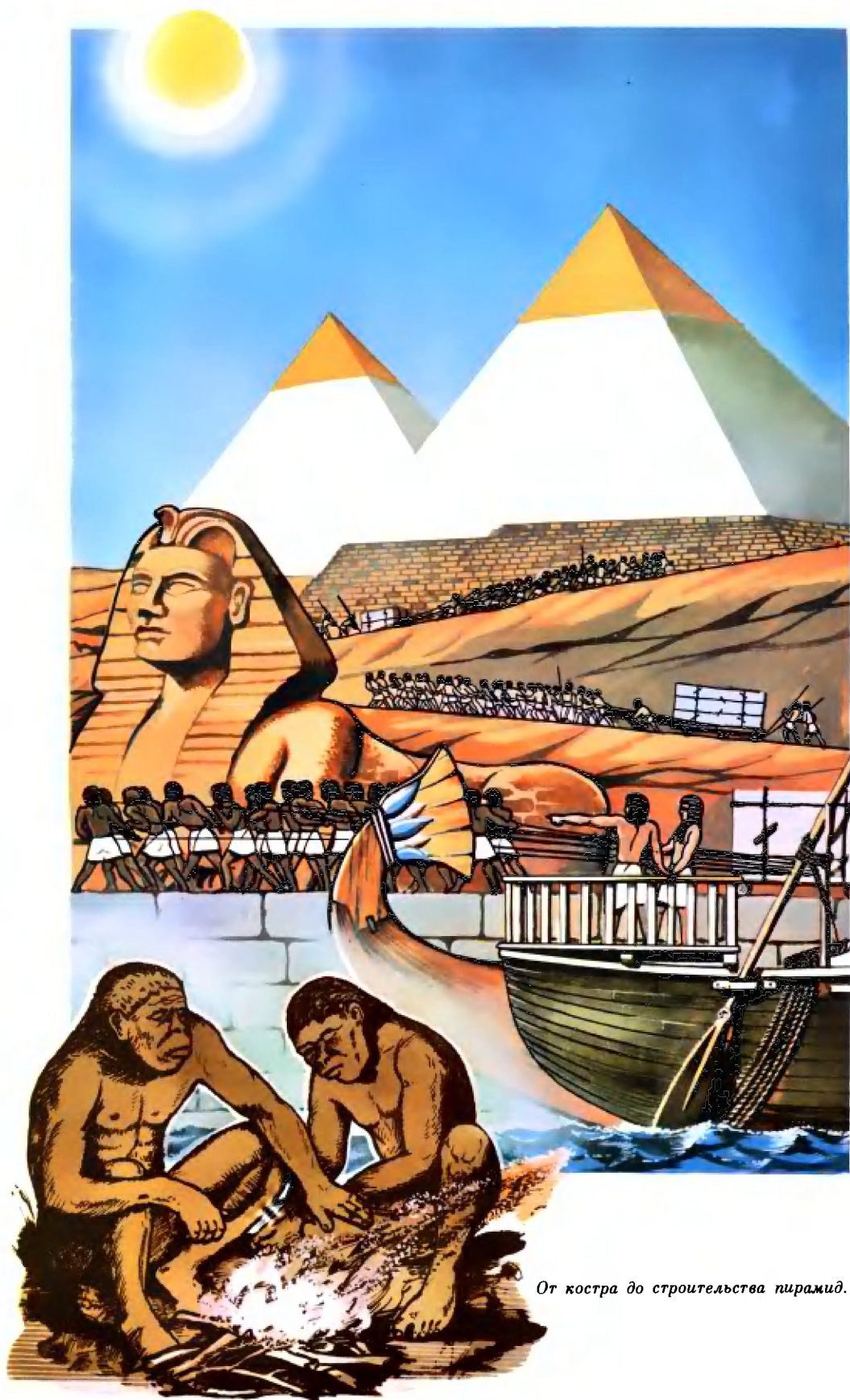
В общем, на пути экономии мы можем найти весьма обильные энергетические источники.

Мы должны готовить себя к энергетической революции — может быть, в XXI веке в энергетику придут термоядерные электростанции. Путь от идеи до массового внедрения занимает в энергетике примерно полвека. Первые опыты по термоядерному синтезу принадлежат пятидесятым годам нашего столетия. Так, может быть, начало нового тысячелетия принесет нам новые, экологически чистые термоядерные электростанции? Будем надеяться на это.

Но все же традиционные методы получения энергии и в следующем веке будут занимать основное место в энергетическом балансе. Поэтому задача ученых — усовершенствование этих традиционных технологий, превращение их в экологически более чистые, экономичные.

Ученые считают, что преобразование облика энергетики XXI века будет определяться такими достижениями научно-технического прогресса, как керамические двигатели, высокотемпературная сверхпроводимость, плазменные технологии, новые атомные реакторы, новые, более эффективные способы сжигания угля и, наконец, возобновляемые источники энергии. В этих областях науки и техники огромное поле деятельности для будущих ученых и инженеров.





*От костра до строительства пирамид.*

---

## Глава 1

### В ПОИСКАХ ЭНЕРГИИ. ПОПЫТКА ИСТОРИЧЕСКОЙ ПАНОРАМЫ

Ученые пока еще не знают, а может быть, и никогда точно не узнают, когда на Земле появились первые люди. Новые открытия археологов отодвигают все дальше в глубь веков то время, когда появился «человек разумный» — *homo sapiens*. Счет идет на миллионы лет. Один? Два? Три миллиона? Точного ответа никто не знает. Можно лишь утверждать с уверенностью, что путь человечества к современной цивилизации начался именно в тот момент, когда наш далекий обезьяноподобный предок впервые взял в руки палку или камень, превратив их в орудие труда. С помощью этих примитивных орудий было легче удовлетворить нехитрые в то время потребности: найти пропитание, укрыться от холода, убежать от нападения свирепых хищников, выстоять в борьбе с окружающим грозным миром природы. У наших далеких предков не было ни густого меха, позволявшего перенести непогоду, ни могучих лап, помогавших догнать и оглушить намеченную жертву, ни мощных клыков и когтей, чтобы с ней расправиться. Но у них, пусть в зачатке, было нечто более ценное — человеческий разум. Несложные орудия многократно увеличили фи-

зические возможности первобытного человека. Даже в самых древних слоях археологических раскопок вместе с человеческими останками находят орудия труда. В самом начале пути они весьма примитивны — грубо обработанные куски камня. Их порой трудно отличить от естественных каменных обломков. От каменных орудий, лежащих теперь в музейных витринах, веет вечностью.

Почетным экспонатом в пока еще не существующем музее энергетической техники стала бы зола древнего костра. Когда-то миллионы лет назад произошло величайшее событие в истории энергетики — человек овладел огнем.

Огонь сделал человека еще сильнее. Его уже не пугала непогода — костер позволял отогреться. Разгоняли страшный мрак первобытного леса пляшущие языки пламени. Опасные звери обходили костры стороной — они смертельно боялись огня. Начиная с этого события, дату которого вряд ли когда-нибудь удастся установить, человек перестал чувствовать себя рабом природы. Он словно стал с ней ровень, подчинив себе одну из самых грозных стихийных сил. С помощью огня люди научились многому. По-



## Эволюция древних орудий труда.



явилось гончарное ремесло — ведь только после обжига мягкая глина могла превратиться в прочную, не боящуюся воды керамику. Огонь помогал осваивать новые земли, позволял жить даже там, где зимы были суровы, — люди постепенно расселялись по всей планете.

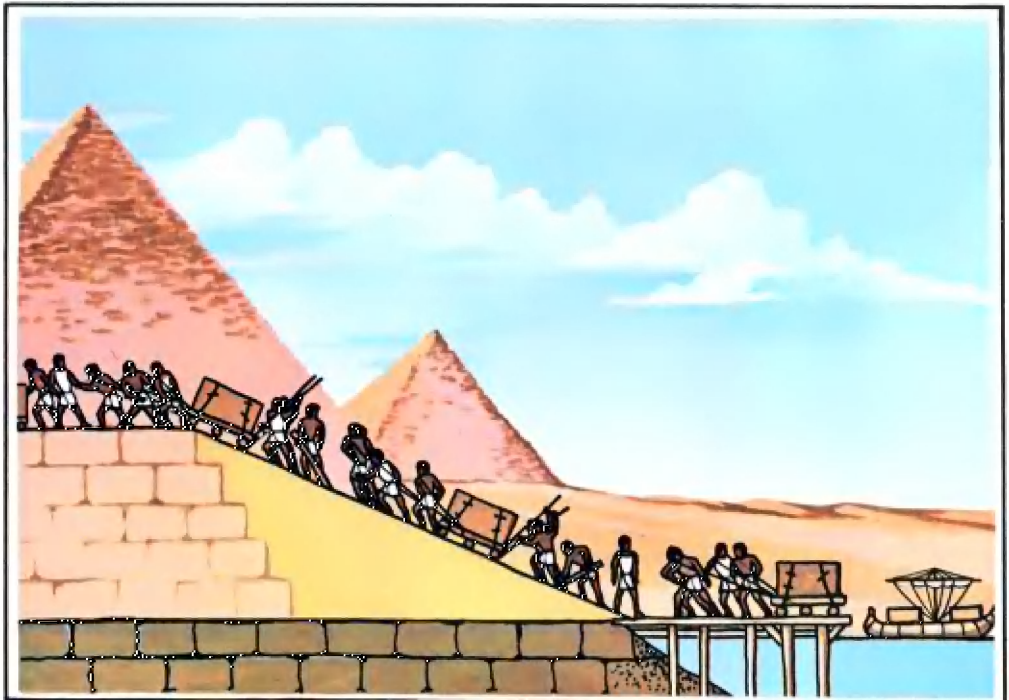
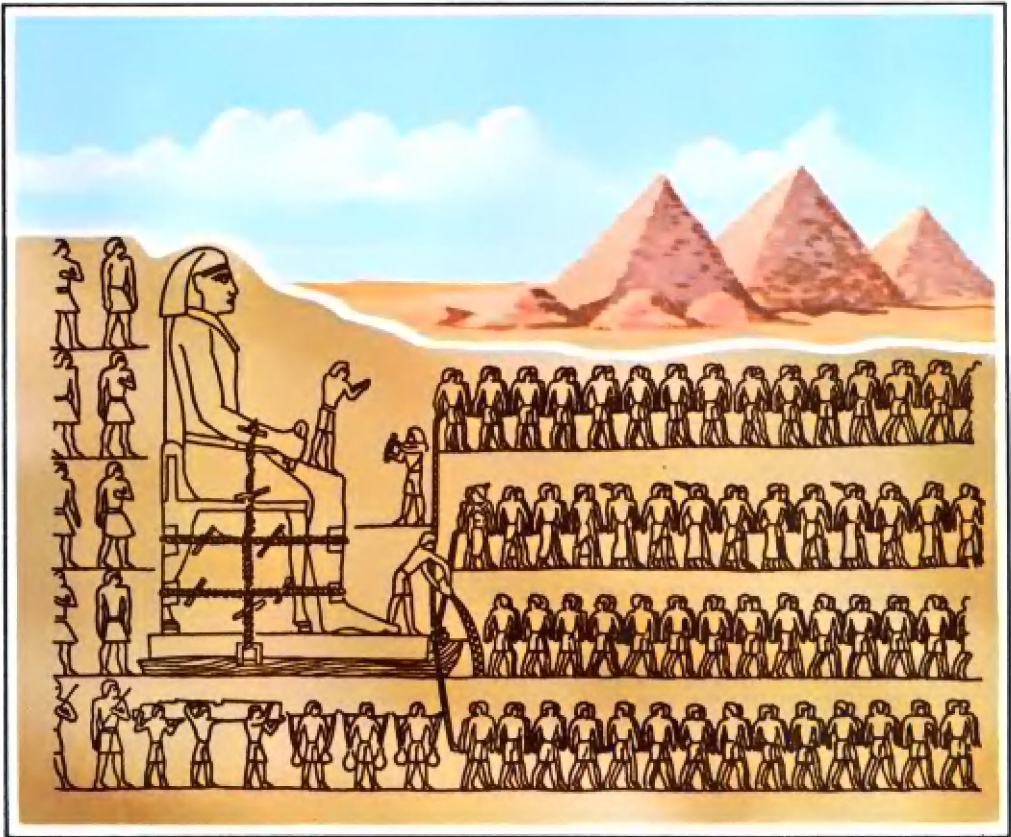
Огонь сделал человека сильнее даже физически. Ведь сила мускулов человека в значительной мере определяется тем, что он потребляет в пищу. Благодаря огню пища стала легко усвояемой, энергетическая ценность продуктов питания повысилась. Ученые доказали: уже неандертальцы питались жареным мясом, что постепенно изменило энергетику человеческого организма, сделал ее намного мощнее. Подсчитано, что высшее млекопитающее расходует за жизнь приблизительно 125 тысяч килокалорий на килограмм веса, а современный человек — в шесть раз больше, примерно 750 тысяч.

Огонь помог человеку усовершенствовать себя как своеобразную энергетическую машину, потребляющую особое топливо — пищу. Врачи оценивают пищу по ее калорийности, то есть чисто энергетически. Идеал состоит в том, чтобы количество пищи соответствовало энергетическим затратам человека. Давно определена калорийность всех продуктов питания, определен и расход энергии при различных видах физического и умственного труда. Можно легко вычислить, сколько такого топлива нужно употребить, чтобы пополнить затраченную энергию.

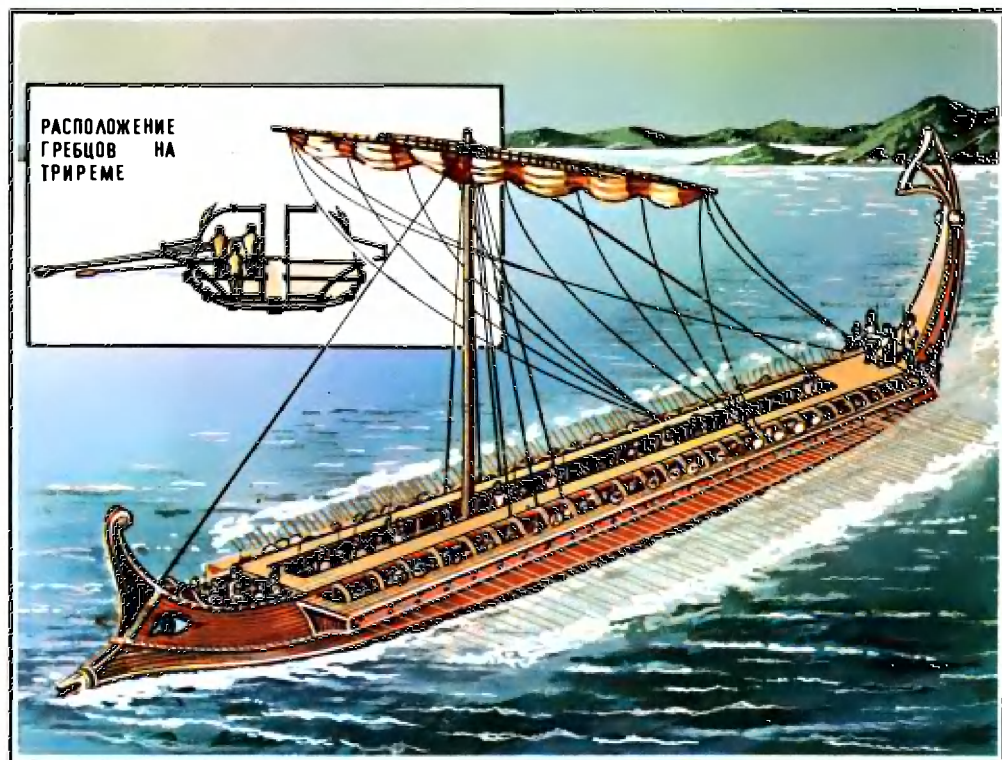
Миллионы лет человек полагал-

*Вручную рабы передвигали огромные каменные монументы при строительстве храмов в Египте.*

*Египтяне и рабы на строительстве пирамид.*







*На таких судах (триремах) древние мореплаватели выходили даже в океан.*

ся только на свои мышцы, других источников энергии у него не было. Сравнительно недавно — девять-десять тысяч лет назад — был преодолен новый энергетический рубеж.

Это произошло тогда, когда люди приручили домашних животных. Часть своих забот они переложили на лошадей, буйволов, верблюдов, собак и других одомашненных зверей.

Примерно десять тысячелетий назад возникла металлургия: вначале — на основе меди и медного сплава (бронзы), потом — железа. Энергетические потребности человека резко возросли. Развивающееся земледелие потребовало проведения больших работ по орошению земель. Усложнилась добыча руд. Нужно было производить больше вещей, чтобы обменять их на дру-

гие. Вот тогда-то, наверное, и разразился первый в истории человечества энергетический кризис! Силы собственных мышц не хватало, а другие источники энергии отсутствовали, — это была эпоха «мышечной энергетики». Тогда и пришла на помощь сила прирученных животных. Но и этого оказалось мало. Выход из сложившегося положения кое-кто увидел в том, чтобы заставить работать на себя других людей, сделать их своими рабами. Огромные армии невольников обрабатывали землю, строили величественные дворцы и храмы, добывали руду, прокладывали оросительные каналы. Они пекли хлеб, ткали, пряли, вышивали. Когда рабов оказывалось слишком много, для них придумывались работы, с нашей точки зрения, бесполезные. Гигантские египетские пирамиды, по-



*Парусный корабль «Виктория» Магеллана.*

строенные вручную,— поучительный памятник бессмысленному рабскому труду.

Восстания рабов, частые войны, целью которых был не только захват новых земель, но и пополнение армии невольников, истоцали рабовладельческие государства. Рабов стало трудно удерживать в повиновении. Эпоха «живой энергетики», просуществовавшая тысячелетия, подходила к концу. Приходилось искать другие источники энергии.

Тогда люди обратились к тем источникам, которые всегда были под рукой — к текущей воде и ветру. Появились паруса, воздушные и водяные колеса.

Четыре тысячи лет тому назад отважные финикийцы, жившие на восточном берегу Средиземного моря, доплывали до устья Нила, а немного позже отваживались

и на морские путешествия вокруг Африки. Парус стал верным помощником мореходов в нелегких странствиях. Много столетий он служил единственным источником движущей силы для морских кораблей. Великие географические открытия XV—XVI веков, освоение новых земель и континентов, кругосветные путешествия, изменившие представления людей о родной планете и принесшие им новые знания, тесно связаны с использованием верного друга мореплавателей — паруса. Конечно, парусные судна эпохи великих географических открытий резко отличались от древних. К далеким неизвестным берегам отважных путешественников уносили многомачтовые, снабженные богатым парусным вооружением красавицы-каравеллы, которые умели легко маневрировать,

используя для движения самый легкий или даже встречный ветер.

Пробовали ставить паруса и на сухопутные повозки. Тысячу лет назад киевский князь Олег при осаде Царьграда поставил свои корабли на колеса. С попутным ветром двигались они к городу, приводя защитников крепости в смятение. Парусные повозки строил и знаменитый голландский механик Симон Стевин. Строили их и в Испании, во Франции, в других странах. Конечно, они не прижились — маневрировать на земле против ветра значительно труднее, чем в море. Но идея «земного» паруса дожила и до наших дней, правда, только в виде увлекательного спорта — катания на буерах, в том числе и колесных.

Силу ветра использовали с давних времен и в ветряных мельницах. В XVII веке их конструкция достигла совершенства. Тысячи и тысячи мельниц помогали молоть зерно, сбивать масло, изготавливать бумагу, пилить лес. Но лишь в одной стране, в Голландии, мельницы стали основой энергетической базы. Большая часть территории Нидерландов («низменной страны» в буквальном переводе) лежит ниже

уровня моря. Именно ветряные мельницы дали здесь возможность провести грандиозные работы по осушению болот и откачке воды, поэтому можно сказать, что Голландия своим существованием обязана ветряным мельницам. Сила ветра была противопоставлена силе другой стихии — морской, постоянно угрожавшей затопить землю маленькой страны.

И все же ветряная мельница не смогла стать основой энергетики средневековья. Мешал существеннейший ее недостаток: непостоянство энергоносителя — ветра. Поэтому мельницы широко распространились лишь там, где не было достаточно быстрых рек — на равнинах Германии, Италии, России, Испании и, конечно, Голландии. В тех же районах, где текли полноводные реки, безраздельно господствовали столь же древние, как и паруса, спутники человека — водяные колеса.

Пять тысяч лет назад на Ниле, Евфрате, Янцзы степенно вращались колеса, с помощью которых рабы поднимали на поля воду. Немного позже древние эллины догадались, что если течение достаточно сильное, то оно и само прекрасно может вращать колесо, стоит только прикрепить к нему лопасти. Более того, они поняли, что такое колесо может не только поднимать воду, но и совершать полезную работу, если его ось соединить с каким-нибудь механизмом. Так была изобретена водяная мельница — техническое чудо Древней Эллады.

В средние века водяные колеса быстро распространились повсюду. Создание довольно сложных устройств и передаточных механизмов позволило использовать силу воды не только для помола зерна, но и для самых различных работ. Водяные колеса вращали станки, приводили в движение кузнечные мехи, поднимали уголь и руду из шахт. Словом, всюду, где руки че-

*Так выглядела парусная повозка (со старинного рисунка).*





ловека не могли справиться с тяжелой работой, на помощь приходила сила вечно текущей воды.

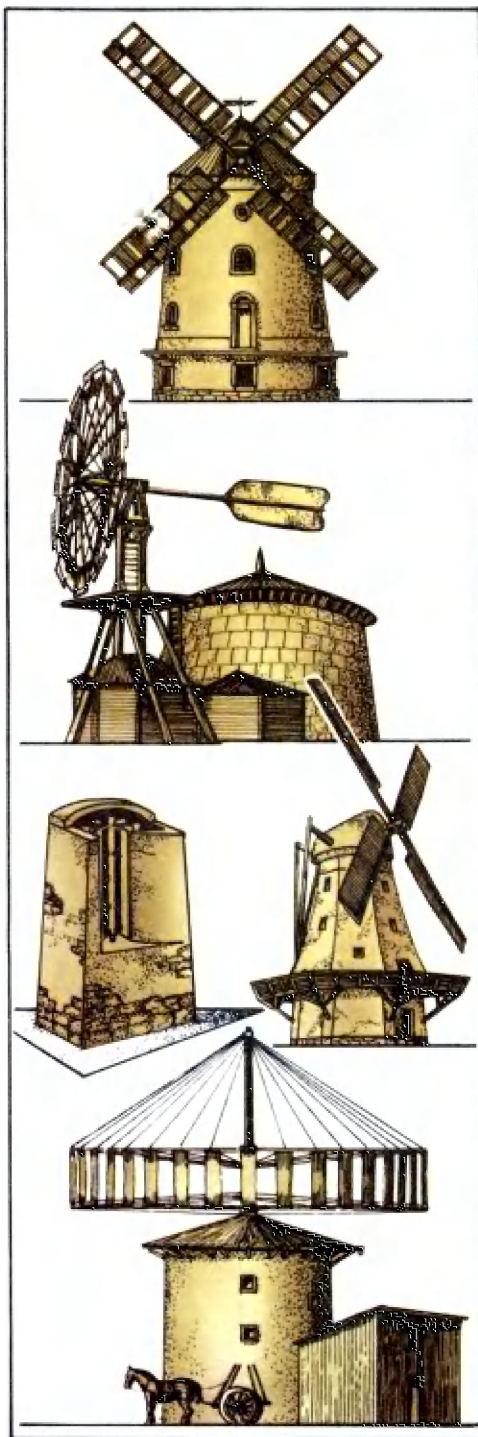
С развитием техники колеса становились все больше и больше — до нескольких десятков метров. Некоторые прекрасные средневековые образцы гигантских водяных колес сохранились и по сей день в Сирии и Египте.

На Алтае в конце XVIII века Козьма Дмитриевич Фролов соорудил уникальную установку для приведения в действие подъемных устройств двух рудников. В ней действовало несколько водяных колес, самое большое из которых имело диаметр 17 метров. Необходимый для приведения в действие этой махины напор воды создавался специально построенной плотиной длиной 128 и высотой 15 метров.

Огромные колеса были построены в Англии, во Франции, в Германии. Но самое мощное по тем временам водяное колесо приводило в движение многочисленные станки Кренгольмской мануфактуры в Нарве. Диаметр этого колосса — около 10 метров, ширина — около 8 метров.

К середине XVIII века водяные колеса распространились повсюду. Наверное, не осталось в Европе ни одной мало-мальски пригодной для установки водяного колеса реки, где бы оно не появилось. Теперь это уже огромные, величественные сооружения, вокруг которых строятся фабрики и возникают города с организованным водоснабжением. Энергия текущей воды помогает людям чувствовать себя сильнее и увереннее. Все больше и больше дел поручают вновь изобретенным машинам — ткацким, прядильным, металлообрабатывающим станкам. Машины, заменившие руки рабочего, в десятки раз увеличили производительность труда. Начиналась революция в технике. Но, как и раньше, энергетическая база, все более и более

Различные типы ветряных мельниц.



остававшая от требований растущей промышленности, становилась тормозом на пути прогресса.

Ведь водяные колеса устанавливали лишь на достаточно быстрых и полноводных реках. И если тектильную или металлообрабатывающую фабрику еще можно было построить на берегу, то залежи руды или угля к воде уже никак не приблизишь. А для их освоения требовалось особенно много энергии — необходимы откачка воды, заливавшей шахту, подъем добытых минералов на поверхность, вентиляция подземных разработок. Если река поблизости отсутствовала, приходилось пользоваться старым способом — прибегать к помощи домашних животных. Это влекло за собой большие неудобства — на крупных шахтах приходилось иметь порой сотни и тысячи лошадей.

Да и эксплуатация водяных колес связана с рядом серьезных трудностей. Во-первых, вода как

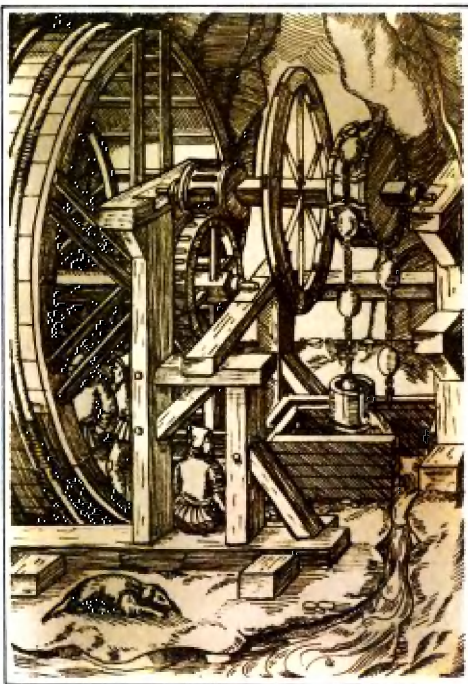
источник энергии не очень удобна — весной в реке воды много, а летом мало. Зимой многие реки замерзают, а значит, и колесо, а вместе с ним и фабрика должны прекращать работу. И еще: водяные колеса, как правило, тихоходны. Чтобы заставить станок вращаться быстро, придумали сложные и капризные механизмы, которые часто ломались, вызывая остановки производства.

Словом, нужда в новом двигателе становилась все более острой. Многочисленные изобретатели обратились к созданию энергетических машин нового типа — паровых.

Из трактатов, книг, статей, написанных в разное время, на различных языках и рассказывающих об истории всевозможных попыток использования силы пара для получения полезной работы, можно было бы составить огромную библиотеку. Интерес исследователей понятен — ведь именно изобретение паровой машины, предоставившей человечеству необходимую энергию, многократно ускорило прогресс и привело в конечном счете к эпохе промышленных, научно-технических и социальных революций.

Но не будем останавливаться в этой книге на увлекательной и драматичной истории различных изобретений. Отметим только, что создание великим англичанином Джеймсом Уаттом паровой машины увенчало собой многовековую работу инженеров и механиков разных стран и эпох. Многие пытались обуздать и поставить на службу человеку могучую силу пара. Они шли разными путями. И вклад каждого в окончательное решение этой задачи различен. Итальянец Бранка, француз Соломон де Ко,

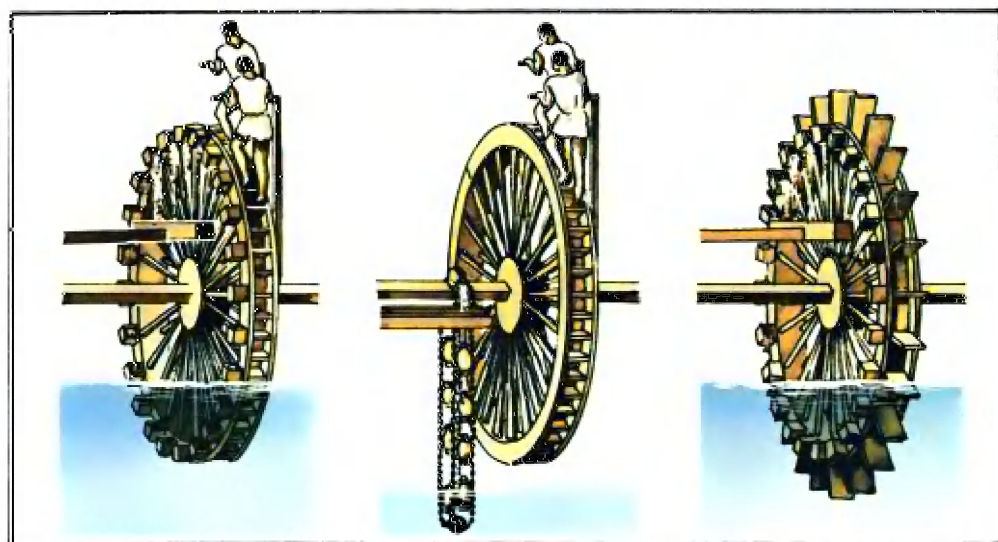
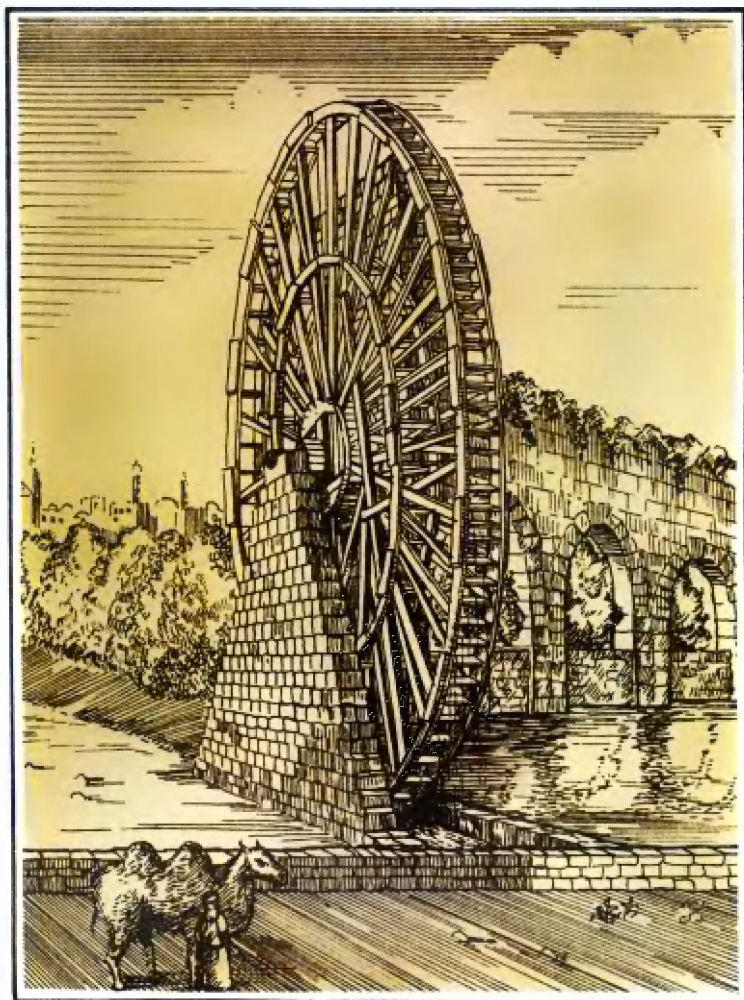
*Водоподъемная машина на шахте.*



*Это водяное колесо до сих пор работает вблизи сирийского города Хомса.*

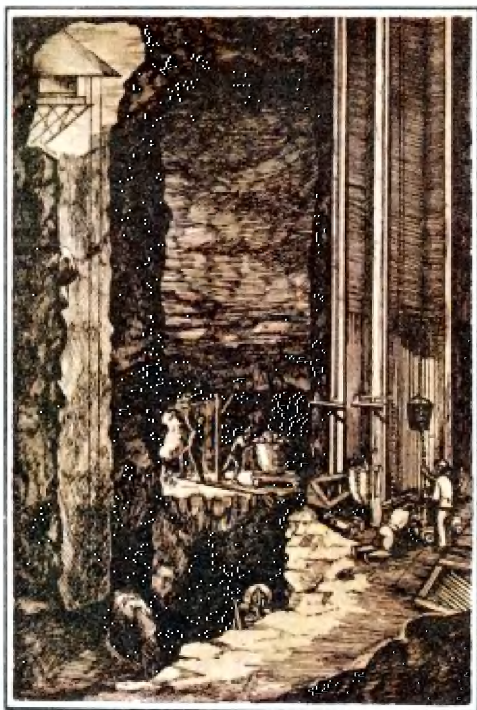
*Разные типы водоподъемных колес для орошения полей и водопровода.*







*Добыча угля в средние века.*



русский Ползунов, англичане Ньюкомен и Уатт — такой далеко не полный список изобретателей свидетельствует о том, что новые источники энергии искали во всем мире. Недаром Ф. Энгельс писал о том, что паровая машина была первым действительно международным изобретением.

Не только в самом поступательном процессе изобретательства виден его международный характер. В еще большей степени заключался он в повсеместном признании нового изобретения, стремительном распространении его по земному шару.

Паровая машина позволила человеку превращать в работу теплоту, запасенную в угле, дереве, торфе. Тем самым на службу человеку было поставлено само солнце, энергия которого, непрерывным потоком поступающая на землю, сконцентрирована в топливе. Паровая машина — одно из немногих в истории изобретений, которые резко изменили картину жизни, революционизировали промышленность и транспорт, дали импульс новому взлету научного знания. Это изобретение изменило и само общество, и общественные отношения в нем, оно знаменовало собой промышленную революцию — предвестницу революций социальных.

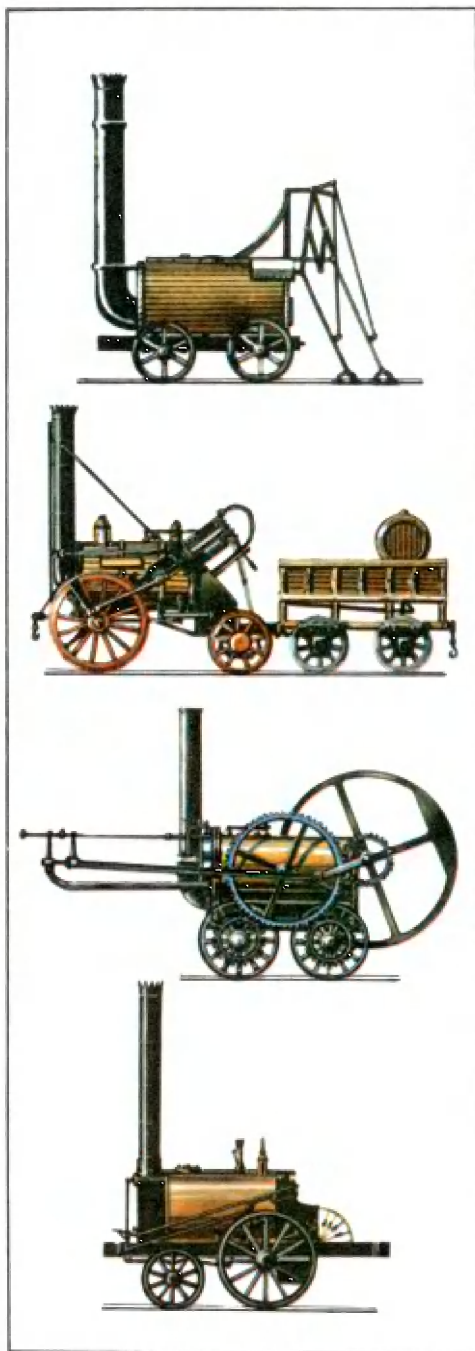
К середине XIX века практически повсюду на смену воде и ветру пришел пар. На многочисленных заводах и фабриках пар приводил в движение станки, при помощи пара поднимали грузы, с его помощью передвигались паровозы и пароходы. Словом, паровые машины были повсюду. И повсюду требовались все новые паровые машины, еще более мощные, еще более совершенные.

*Английская угольная шахта XIX века (со старинной гравюры).*

Казалось бы, вопрос обеспечения энергией промышленности, транспорта, других видов человеческой деятельности снят с повестки дня. Но все оказалось не так просто. У паровых машин обнаружились серьезные недостатки. Не говоря уж о низком коэффициенте полезного действия паровых машин (правда, тогда об этом особенно не заботились), у них выявились и чисто практические неудобства. Во-первых, машин становилось все больше. На любом заводе действовала хотя бы одна паровая машина. А ведь к каждой нужно было подвезти топливо. Машины становились мощнее, топлива требовалось больше, проблема подвоза его становилась все острее. Во-вторых, передача движения от машины к станкам тоже была делом непростым — ведь к каждому станку паровую машину не пристроишь. Привод станков осуществлялся при помощи запутанной и ненадежной системы передаточных ремней. В-третьих, вид городов, покрытых сажей, извергаемой тысячами труб заводов и котельных, уже тогда заставлял все чаще задумываться о том, что паровая машина отнюдь не идеальное энергетическое орудие. Задача поиска новых источников энергии, новых способов ее получения и преобразования снова встала во весь рост.

Давайте подумаем, какой следует быть самой современной энергии? Во-первых, нужно владеть достаточно простым и экономичным способом ее получения. Во-вторых, должны быть известны по возможности более простые способы ее передачи от места производства к потребителю. Наконец, в-третьих, энергия должна легко делиться между потребителями, так чтобы каждый из них получил ровно столько энергии, сколько ему нужно для производства какой-либо работы. Рассуждая таким образом, неизбежно приходишь к выводу о том, что наиболее удобным ви-

*Некоторые старинные паровозы (внизу — паровоз Черепановых).*



дом энергии, отвечающим всем требованиям, является электрическая энергия.

Гениальные открытия Г.-Х. Эрстеда, А. Ампера, М. Фарадея, работы Э.-Х. Ленца, Б. С. Якоби, М. О. Доливо-Добровольского, многих других ученых и инженеров позволили к концу XIX века создать электрические генераторы и двигатели, дали возможность человечеству вступить в новую эпоху — эпоху электротехники.

Электродвигатель и электрогенератор еще в большей степени, чем паровая машина, изменили весь уклад жизни человечества. Именно анализ развития электротехнической промышленности того времени дал Владимиру Ильичу Ленину основание для вывода о том, что капитализм перешел в свою высшую стадию, чреватую бурными социальными потрясениями. Он был убежден, что в основе производительных сил, технического прогресса XX века должна лежать электрификация, которой суждено привести человечество к огромным социальным переменам.

В холодный зимний день 1920 года в нетопленном зале Большого театра, заполненного молодыми бойцами Красной Армии, рабочими и крестьянами, прозвучали слова Владимира Ильича Ленина о том, что план, разработанный Государственной комиссией по электрификации России (ГОЭЛРО), является второй программой партии.

С трибуны съезда Советов прозвучала гениальная ленинская формула: «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны...»

Идеи, заложенные в плане ГОЭЛРО, и по сей день составляют основу развития советской энергетики. Выдвинутая Лениным задача «сэкономить труд централизацией», задача всемерной концентрации производства электроэнергии, нашла свое развитие в росте мощностей станций. Если в начале осу-

ществления плана ГОЭЛРО на станциях устанавливались в основном генераторы мощностью 10—20 тысяч киловатт, то теперь серийно выпускаются турбогенераторы мощностью 500, 800, 1000 и даже 1200 тысяч киловатт. В СССР построены крупнейшие в мире тепловые, атомные и гидравлические станции. И сегодня электрификация остается важным фактором увеличения производительности труда, позволяет решать важнейшие социальные задачи, повышать материальный уровень жизни народа.

Этот краткий экскурс в историю энергетики понадобился нам не только для того, чтобы схематично наметить самые значительные вехи ее развития. Мы увидели, что человечество неоднократно сталкивалось с энергетическими кризисами. Потребности развивающегося производства время от времени входили в противоречие с устаревшей энергетической базой. И всякий раз этот кризис успешно преодолевался, находились новые источники энергии, вполне удовлетворяющие людей. Так мы подошли к нашим дням, времени высокоразвитой цивилизации, могучей энергетики, которой, казалось бы, ничего не мешает развиваться все дальше и дальше.

Почему же именно сейчас, как никогда остро, встал вопрос: что ждет человечество — энергетический голод или энергетическое изобилие? Не сходят со страниц газет и журналов статьи об энергетическом кризисе. Из-за нефти возникают войны, расцветают и беднеют государства, сменяются правительства. К разряду газетных сенсаций стали относить сообщения о запуске новых установок или о новых изобретениях в области энергетики. Разрабатываются гигантские энергетические программы, осуществление которых потребует громадных усилий и огромных материальных затрат.





*Запорожская ГРЭС, одна из крупнейших в стране.*

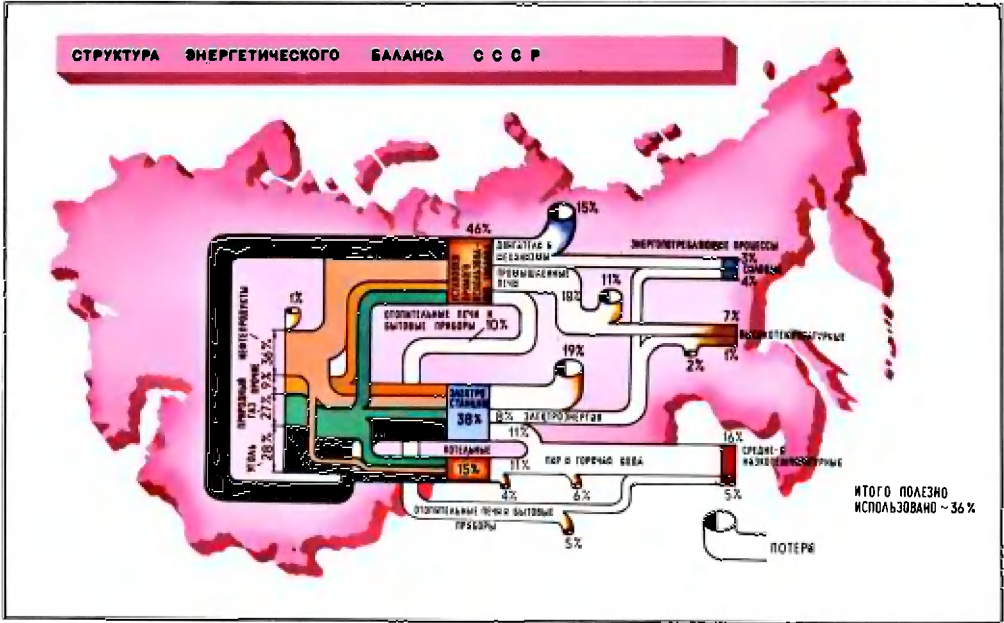
Если в конце прошлого века самая распространенная сейчас энергия — электрическая — играла, в общем, вспомогательную и незначительную в мировом балансе роль, то уже в 1930 году в мире было произведено около 300 миллиардов киловатт-часов электроэнергии, а в 1970 году — более 5 тысяч миллиардов киловатт-часов электроэнергии. Вполне реален прогноз, по которому в 2000 году будет произведено 30 тысяч миллиардов киловатт-часов! Гигантские цифры, небывалые темпы роста! И все равно энергии будет мало — потребности в ней растут еще быстрее.

Уровень материальной, а в конечном счете и духовной культуры людей находится в прямой зависимости от количества энергии, имеющейся в их распоряжении. Чтобы добыть руду, выплавить из нее металл, построить дом, сделать любую вещь, нужно израсходовать энергию. А потребности человека

все время растут, да и людей становится все больше.

Так за чем же остановка? Ученые и изобретатели уже давно разработали многочисленные способы производства энергии, в первую очередь электрической. Давайте тогда строить все больше и больше электростанций, и энергии будет столько, сколько понадобится! Такое, казалось бы, очевидное решение сложной задачи, оказывается, таит в себе немало подводных камней.

Неумолимые законы природы утверждают, что получить энергию, пригодную для использования, можно только за счет ее преобразования из других форм. Вечные двигатели, якобы производящие энергию и ниоткуда ее не берущие, к сожалению, невозможны. А структура мирового энергохозяйства к сегодняшнему дню сложилась таким образом, что четыре из каждых пяти произведенных кило-



ватт получаются в принципе тем же способом, которым пользовался первобытный человек для согревания, то есть при сжигании топлива, или при использовании запасенной в нем химической энергии, преобразовании ее в электрическую на тепловых электростанциях.

Конечно, способы сжигания топлива стали намного сложнее и совершеннее. Котлы тепловых электростанций — это огромные сооружения, величиной с многоэтажный дом. Здесь производят пар немислимых ранее температур и давлений. Но главное сохранилось: в ненасыщенные чрева тепловых электростанций уходит более 30% добываемого в мире топлива, лишь около трети которого действительно идет на выработку электроэнергии. Большая же часть энергии, запасенной в топливе, безвозвратно теряется, не совершая никакой полезной работы. Попросту говоря, улетает в трубу — неотъемлемую часть электростанции. Использование же возобновляемых энергоресурсов ограничивается пока в основном гидроэнергией. Вклад ее в

мировое производство относительно невелик — всего 10—15%.

Положение усугубляется тем, что гигантский рост производства и потребления энергии во второй половине XX века (потребление энергии удваивается за 15—20 лет) основывался на использовании нефти в качестве топлива. Были открыты многочисленные ее месторождения, очень богатые. Нефть легко транспортируется танкерами и по трубопроводам, ее легко сжигать в топках электростанций. Раньше, до 70-х годов, нефть и ее производные были весьма дешевы, и никому даже в голову не приходило, что ее нужно беречь. Например, предпочитали строить облегченные дома — пусть потом затратим больше энергии на отопление, чем сейчас задерживать строительство, делая лучшую теплоизоляцию зданий. Доля угля в мировом энергопотреблении снизилась за двадцать лет, с 1950 до 1970 года, вдвое. Использование же в энергетике биомассы — дров, отходов сельского хозяйства — сохранилось лишь в слаборазвитых странах.

Отрезвление наступило быстро. Когда эксперты подсчитали, на сколько лет хватит разведанных запасов топлива, если добыча его по-прежнему будет расти теми же темпами, что и сейчас, они ужаснулись. По расчетам выходило, что уже лет через сто все запасы будут исчерпаны. Появились мрачные прогнозы энергетического голода, истощения земли, не способной прокормить и обеспечить необходимым постоянно растущее население, предсказывали чуть ли не массовое вымирание одичавших людей.

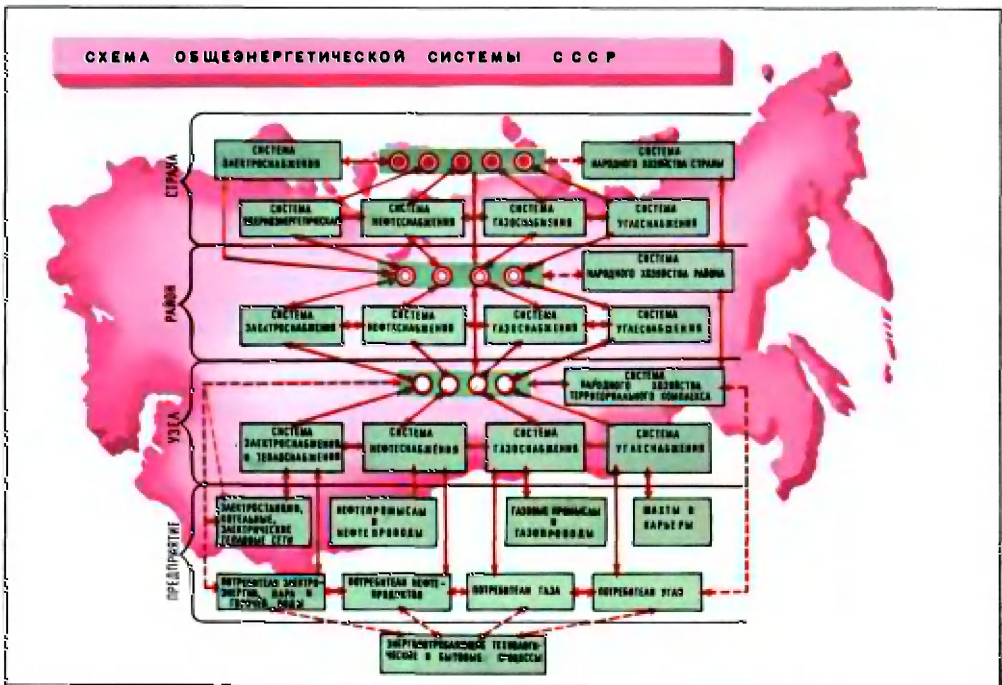
Для проверки таких пессимистических теорий, заполонивших страницы книг, журналов и газет капиталистических государств, потребовался немалый труд ученых. Стало ясно, что ситуация не столь катастрофична. Но понятно стало и то, что дальнейший рост производства энергии потребует коренного изменения некоторых сегодняшних наших представлений.

Новые факторы — возросшие цены на нефть, быстрое развитие

атомной энергетики, возрастание требований к защите окружающей среды — потребовали нового подхода к энергетике.

В разработке Энергетической программы СССР приняли участие виднейшие ученые нашей страны, специалисты различных министерств и ведомств. С помощью новейших математических моделей электронно-вычислительные машины рассчитали несколько сотен вариантов структуры будущего энергетического баланса страны. Были найдены принципиальные решения, определившие стратегию развития энергетики СССР на грядущие десятилетия.

Хотя в основе энергетики ближайшего будущего по-прежнему останется теплоэнергетика на невозобновляемых ресурсах, структура ее изменится. Должно сократиться использование нефти. Существенно возрастет производство электроэнергии на атомных электростанциях. Начнется использование пока еще не тронутых гигантских запасов





дешевых углей, например, в Кузнецком, Канско-Ачинском, Экибастузском бассейнах. Широко будет применяться природный газ, запасы которого в СССР намного превосходят запасы в других странах.

Но самое главное в Энергетической программе — это бережливость в расходе энергии. Топливо и энергию нужно расходовать экономно, не допуская потерь. Ученые проводят серьезные исследования, направленные на повышение коэффициента полезного действия электростанций. Сейчас он равен примерно 35—36%. Должен резко повыситься уровень использования вторичных энергетических ресурсов. Что это значит? При работе электростанций, при выплавке металла, при охлаждении химического оборудования и станков образуется много горячей воды или воздуха. Подсчитано, что если пустить эти «отходы» в дело, то ими можно покрыть от 30 до 90% энергетических потребностей черной металлургии, нефтехимии и машиностроения.

Экономия энергии — дело, касающееся всех, каждого из нас. Сколько, например, может израсходовать энергии одна электрическая лампочка? Казалось бы, пустяк, капля в океане энергии. Но посмотрите, что показал простой опыт. В один из вечеров дикторы Центрального телевидения обратились к зрителям с просьбой выключить лишние электролампочки и другие приборы, которыми они в данный момент не пользуются. Эффект превзошел все ожидания. Оказалось, что, выполнив просьбу, жители нашей страны сэкономили энергию целой электростанции. Четыреста поездов с углем каждый год сберегает стране введение «летнего времени», которое заставляет нас полнее использовать световой день.

В экономии энергии нет мелочей. И не нужно думать, что это дело только ученых и инженеров.

Свой вклад в осуществление этой серьезнейшей задачи может внести любой житель нашей страны. Нужно лишь не проходить мимо бездумного растранижения энергии. Плохо утепленное, со щелями, окно, хлопающая без пружины дверь в подъезде, текущий кран в ванной — все эти, казалось бы, несущественные источники потерь энергии, взятые вместе, значат очень много.

Большое внимание уделено в Энергетической программе и вопросам передачи и распределения электроэнергии. Ведь нам с каждым годом приходится использовать все более и более удаленные месторождения топлива, расположенные в неудобных, порой непроходимых местах. Из-за этого возникают большие трудности с его добычей и доставкой к местам потребления. Транспортировать топливо становится все дороже, а иногда его перевозки просто экономически невыгодны. Специалисты подсчитали, например, что перевозка угля гигантских месторождений Сибири и Северного Казахстана в европейскую часть страны, как говорится, слишком дорогое удовольствие. Можно, конечно, приблизить потребителей энергии к запасам топлива. А можно произвести энергию там, где есть топливо, а затем направить ее потребителям по линиям передач.

У нас в стране успешно реализуются оба эти пути. Во-первых, осваиваются неисчислимые ресурсы Сибири и Дальнего Востока, в строй входят новые промышленные гиганты, формируются топливно-энергетические комплексы.

Во-вторых, успешно решаются задачи передачи электроэнергии на большие расстояния. Львиная доля, около 80% энергетических ресурсов, находится у нас вдалеке от европейской части. Но именно в европейской части проживает 80% населения страны и потребляется основная часть энергии. В ближайшем будущем это соотно-



шение если и изменится, то не радикально. И дело не только в географическом распределении населения СССР. Переброска большого количества электроэнергии необходима нам и из-за огромной протяженности страны с востока на запад. Когда на востоке страны наступает ночь, за Уралом начинается рабочий день, и потребление энергии резко возрастает. А когда заканчивается работа в европейской части страны, к станкам и машинам встают труженики Дальнего Востока. Запасать электрическую энергию впрок в сколько-нибудь больших количествах люди еще не научились. Произведенную энергию нужно сразу же потребить. Да и выключить на время современную электростанцию невозможно. Дальние электропередачи позволяют «перекачивать» энергию из тех мест, где ее сейчас избыток, из мест, где царит ночь, туда, где энергии не хватает, где наступил трудовой день.

Возможность маневра, переброски значительных количеств энергии в те места, где она нужнее в данный момент, дает Единая

электроэнергетическая система СССР, охватывающая всю хозяйственно освоенную территорию страны. Формирование этой гигантской системы, в которую постепенно войдут все мощные электростанции, закончится в самом начале XXI века.

Передавать большие количества электроэнергии на большие расстояния очень сложно. Часть энергии при передаче тратится на нагрев проводов, то есть расходуется совершенно бесполезно. Кстати, это обстоятельство всего сто лет назад дало возможность противникам электрификации выступить с расчетами, которыми они убедительно доказывали, что передача энергии от паровой машины с помощью приводных ремней и трансмиссий гораздо выгоднее, чем передача электроэнергии по проводам. Инженеры, однако, не испугались кажущейся убедительности этих доказательств и нашли остроумный способ уменьшить неизбежные потери. Нужно как можно больше повысить напряжение, при котором передается энергия! И это им удалось. Если еще 50 лет назад напряжение

линии передачи в сто тысяч вольт считалось рекордным, то сейчас строятся линии, напряжение в которых превосходит миллион вольт! Появилась целая новая область знаний, которая позволила решать подобные задачи,—техника высоких напряжений. Сооружаются первые сверхвысоковольтные передачи постоянного тока, потери в которых будут еще ниже.

Энергетическая программа СССР—основа нашей техники и экономики в канун XXI века.

Но ученые заглядывают и вперед, за пределы сроков, установленных Энергетической программой. На пороге XXI век, и они трезво отдают себе отчет в реальностях третьего тысячелетия. К сожалению, запасы нефти, газа, угля отнюдь не бесконечны. Природе, чтобы создать эти запасы, потребовались миллионы лет, израсходованы они будут за сотни лет. Сегодня в мире стали всерьез задумываться над тем, как не допустить хищнического разграбления земных богатств. Ведь лишь при этом условии запасов топлива может хватить на века. К сожалению, многие нефтесыскающие страны живут сегодняшним днем. Они нещадно расходуют подаренные им природой нефтяные запасы. Сейчас многие из этих стран, особенно в районе Персидского залива, буквально купаются в золоте, не задумываясь, что через несколько десятков лет эти запасы иссякнут. Что же произойдет тогда—а это рано или поздно случится,—когда месторождения нефти и газа будут исчерпаны? Произошедшее в 70-е годы повышение цен на нефть, необходимую не только энергетике, но и транспорту, и химии, заставило задуматься о других видах топлива, пригодных для замены нефти и газа. Особенно призадумались тогда те страны, где нет собственных запасов нефти и газа и которым приходится их покупать.

В поисках нового топлива обра-

тили внимание на некоторые виды растений, вырабатывающие в своих тканях горючие углеводороды, по составу похожие на те, которые содержатся в нефти. Бионефть в некотором смысле даже лучше нефти настоящей, извлекаемой из земных недр. В ней практически отсутствуют вредные примеси, в том числе самая неприятная из них—сера.

На Филиппинах, например, нашли дерево, которое местные жители называют «ханга». Оно знаменито тем, что его орехи содержат масло, по своему составу почти совпадающее с нефтью. Во время второй мировой войны японцы заправляли двигатели танков маслом, выжатым из этих орехов. Какой-либо дополнительной обработки при этом не потребовалось. Во влажных лесах Амазонии нашли дерево копаибу, достигающее почти 30 метров в высоту. Из одного надреза на стволе этого дерева может за час натечь около 20 литров отличного дизельного топлива, которое можно без проволочек заливать в бак грузовика.

Собственно, ничего удивительного в этом нет. Давно известны и широко используются каучуконосы—растения, в чьем соке содержатся вещества, из которых получается каучук. Но попробовали бы мы обеспечить потребности промышленности в каучуке, собирая его из дикорастущих деревьев! Нужно разводить специальные плантации. Так и с бионефтью.

Американский биохимик, лауреат Нобелевской премии Мелвин Калвин, путешествуя по всему миру, выискивает растения, которые можно было бы специально выращивать и использовать для производства бионефти. объездив немало стран и неоднократно переплыв океан, Калвин выяснил, что самым перспективным является обычный сорняк с латинским названием «эйфорбия латирис», называемый в просторечии среди фермеров



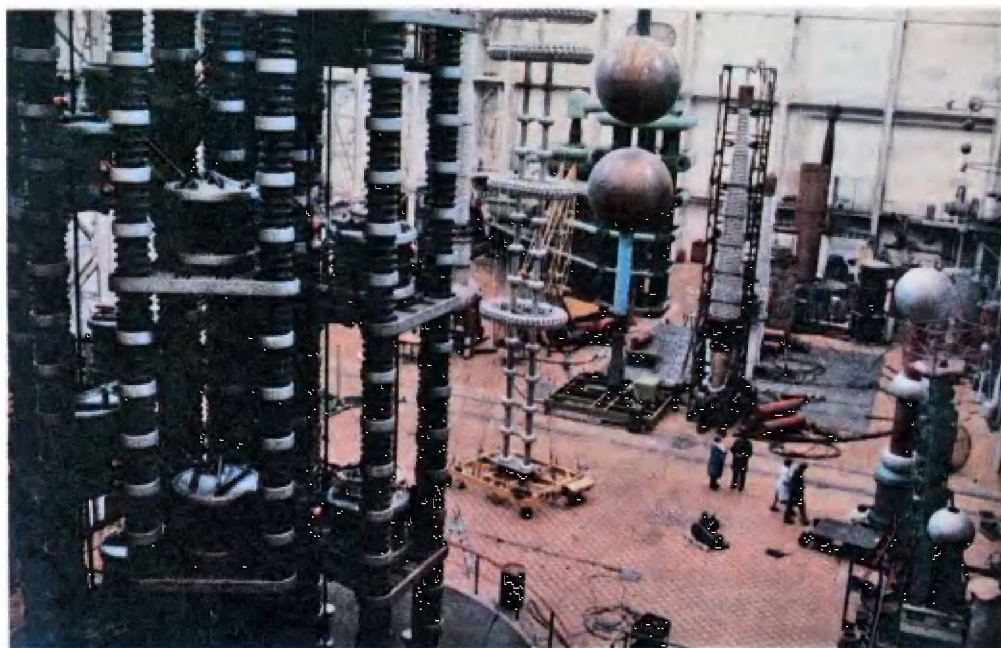
сусликовым деревом (считается, что это растение отпугивает сусликов).

Калвин высушил несколько таких растений, истолок их и получившийся порошок залил растворителем. Образовавшийся раствор оказался и внешне, и по химическому составу очень похож на обычную нефть. Такой нефти можно было бы, по расчетам, получить с гектара, засеянного сусликовым деревом, не менее полутора тысяч литров. Конечно, говорить о технической или экономической оценке проектов таких энергетических ферм еще рано. Судите сами: автомобили, мчащиеся по дорогам планеты, «выпивают» более миллиарда литров бензина в сутки. А ферма, производящая всего лишь 5 миллионов литров бионефти в сутки (то есть в 200 раз меньше), должна была бы занимать площадь не менее 350 тысяч гектаров! Учтем еще, что эту землю нужно тщательно обрабатывать, а за сорняком ухаживать, защищать его от других сорняков.

Так что не скоро мы промчимся на автомобиле, заправленном выращенной нефтью. Но кто знает? Ученые продолжают работать над повышением урожайности бензинососов, ищут их новые виды, более плодовые.

Можно пойти и по другому пути — получать из растительного сырья спирт. Он вполне пригоден для заправки автомобилей. Первые попытки использовать спирт в качестве автомобильного горючего были сделаны еще в 1922 году. Результаты оказались вполне удовлетворительными. Но в ту пору автомобилей было немного, а нефть была дешевой. Дальнейшего развития эти работы не получили. Ученые вернулись к идее использования спирта в автомобилях только в середине 70-х годов, когда повысились цены на нефть. Оказалось, что переделка бензинового мотора в спиртовой несложна — нужно всего лишь уменьшить объем камеры сгорания и дополнительно защи-

*Здесь испытываются энергетические установки.*



тить от коррозии детали мотора. Голландские ученые придумали специальное устройство, позволяющее заправлять автомобили как обычным бензином, так и спиртом, и даже их смесью в любой пропорции.

Лидер в использовании спирта как автомобильного топлива — Бразилия. Уже в середине 80-х годов производство спирта из сахарного тростника достигло там 11 миллиардов литров в год. Этого достаточно, чтобы обеспечить горючим 5 миллионов автомобилей. Приоритет Бразилии вполне объясним. Эта огромная южноамериканская страна, недра которой фантастически богаты даже самыми редкими ископаемыми, практически не имеет залежей нефти. Закупка нефти становится все дороже и требует затрат валюты. Бразильские специалисты считают, что переход на спирт в автомобилях не только поможет экономить валюту, но и существенно снизит загрязнение окружающей среды — выхлоп спиртового двигателя значительно менее токсичен. Правда, есть и весьма серьезный недостаток такого топлива.

Некоторые бразильские водители обнаружили склонность использовать спирт не по назначению, что неизбежно ведет к росту числа дорожных происшествий. Но и с этим недостатком топлива научились бороться — в спирт стали добавлять красящие вещества с неприятным запахом.

Может показаться, что, когда ископаемое топливо кончится, биоэнергетика поможет добыть необходимое топливо прямо с нив и лесов. Однако это не так: ученые подсчитали, что все растения мира, превратившись в спирт, в состоянии покрыть наши потребности только на 40%.

Серьезным претендентом на почетное звание лучшего горючего в последнее время стал водород. Многими достоинствами обладает

водородное топливо! Вот некоторые из них.

Теплотворная способность водородного горючего почти в три раза превышает теплотворную способность бензина. Это топливо экологически чистое, при сгорании его почти не выделяется вредных веществ. Но главное то, что водород — самый распространенный элемент во Вселенной, на Земле его в сто тысяч раз больше, чем каменного угля. Запасы его практически неисчерпаемы. Более того, при его сгорании образуется обыкновенная вода, из которой можно снова получить водород. Это топливо можно легко использовать в уже существующих двигателях — они почти не потребуют переделки. Водород легко транспортировать по трубопроводам. Его просто распределять между потребителями. Подсчитано: транспортировка водорода на 100 километров стоит на 20% дешевле, чем передача такого же количества электроэнергии. А если расстояние растет, разница в стоимости переброски еще существеннее — для расстояния в 1600 километров доставка водорода вдвое выгоднее, чем передача электроэнергии.

Существует много способов получения водорода. Для этого достаточно каким-либо образом разрушить, расщепить молекулу воды. Водород нужен не только энергетикам, но и химикам, ведь он — великолепный восстановитель (вещество, отбирающее кислород из окислов). В небольших масштабах его уже применяют в бездоменном процессе получения железа прямо из руды.

Что же мешает широкому применению водорода в различных отраслях техники, что препятствует его распространению? Оказывается, его же недостатки.

Прежде всего, он довольно дорог. Его производят сейчас в основном из того же углеводородного горючего, которое водород и при-

зван заменить. Получение же его из воды с помощью электрической энергии пока еще невыгодно — стоимость водорода получается в несколько раз выше, чем стоимость полученной из него энергии.

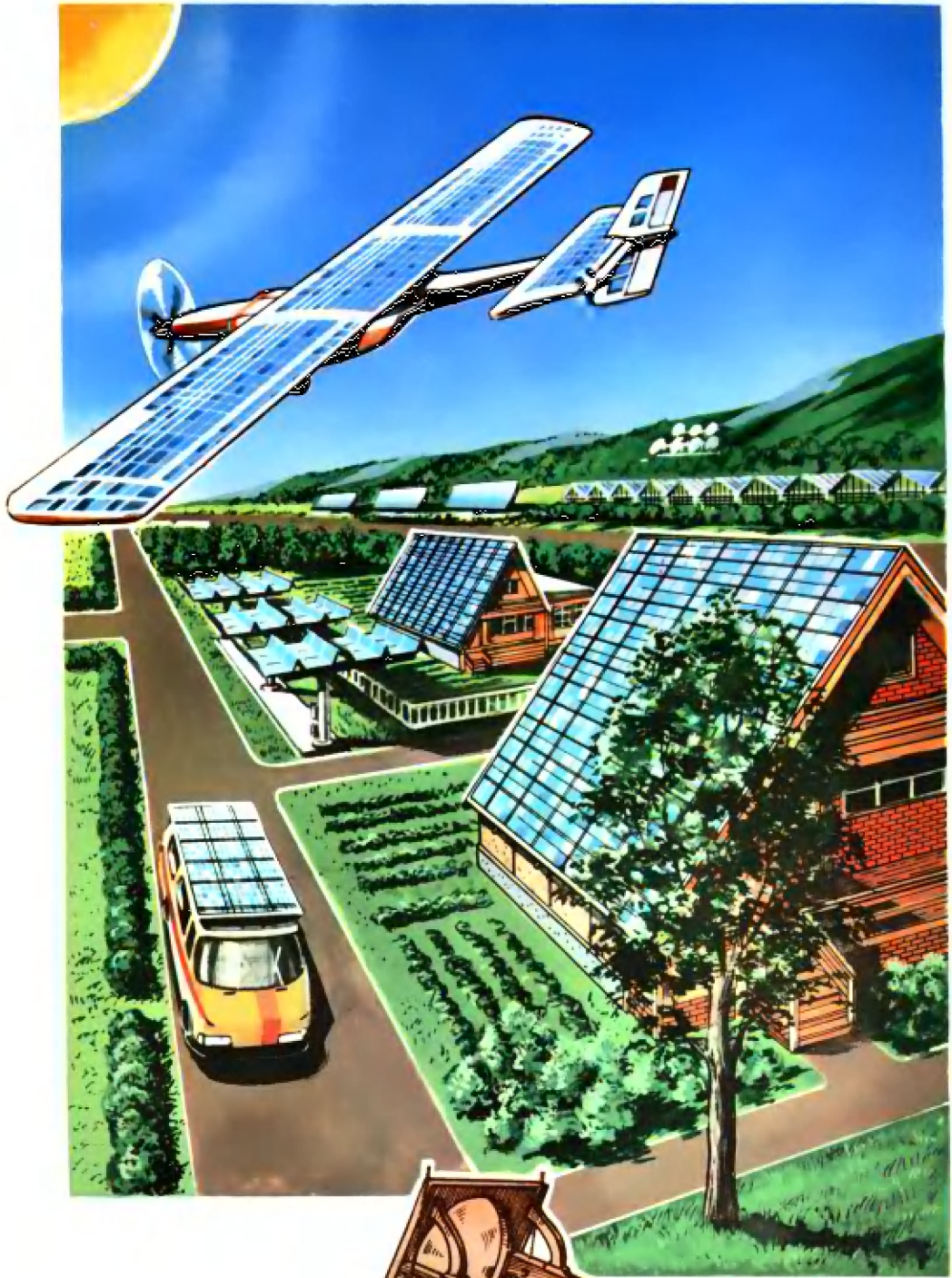
При определенных концентрациях смесь водорода с воздухом взрывоопасна. Правда, ничуть не менее взрывоопасна смесь воздуха с природным газом, что никак не препятствует широкому применению природного газа в технике и в быту. Много проблем связано с тем, что водород очень легок — почти в 15 раз легче воздуха. Хотя килограмм водорода дает в три раза больше тепла, чем килограмм бензина, чтобы хранить его, потребуется не литровая банка, а баллон объемом 11 кубометров. Его можно, конечно, превратить в жидкость — и объем хранилища намного уменьшится. Но тогда придется поддерживать температуру минус 253 градуса.

В общем, проблем много, хотя

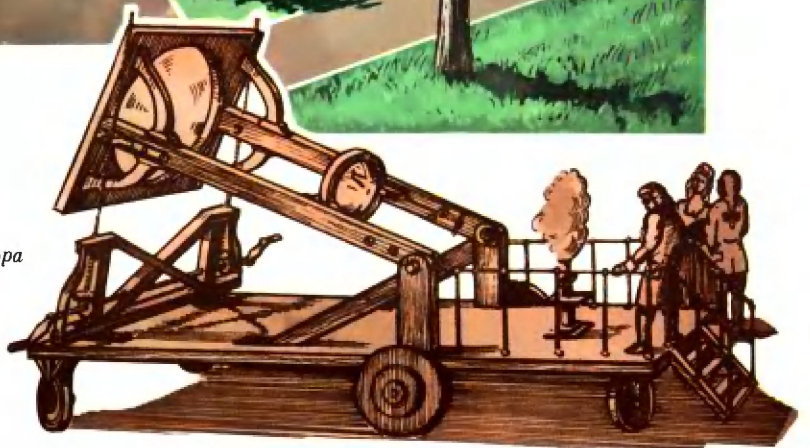
все они решаемые. Учитывая уникальные достоинства водорода, на него вполне можно рассчитывать как на огромный, еще не использованный человечеством энергетический резерв.

А пока в мире все больше ученых и инженеров занимаются поисками новых, нетрадиционных источников, которые могли бы взять на себя хотя бы часть забот по снабжению человечества энергией. Решение этой задачи исследователи ищут на разных путях. Самым заманчивым, конечно, является использование вечных, возобновляемых источников энергии — энергии текущей воды и ветра, океанских приливов и отливов, тепла земных недр, солнца. Много внимания уделяется развитию атомной энергетики, ученые ищут способы воспроизведения на Земле процессов, протекающих в звездах и снабжающих их колоссальными запасами энергии. Но об этом — в следующих главах.





От солнечного концентратора  
к солнечному самолету  
«Солар».



---

## Глава 2

### ЛОВЦЫ СОЛНЕЧНЫХ ЛУЧЕЙ

«Сначала хирург, а потом капитан нескольких кораблей» Лемюэль Гулливер в одном из своих путешествий попал на летающий остров — Лапуту. Зайдя в один из заброшенных домов в Лагадо, столице Лапутии, он обнаружил там странного истощенного человека с закопченным лицом. Его платье, рубаха и кожа почернели от копоти, всклокоченные волосы и борода были местами опалены. Этот неисправимый прожектор восемь лет разрабатывал проект извлечения из огурцов солнечных лучей. Эти лучи он намеревался собирать в герметически закупоренные склянки, чтобы в случае холодного или дождливого лета обогреть ими воздух. Он выразил уверенность, что еще через восемь лет сможет поставлять солнечный свет повсюду, где он потребуется.

Сегодняшние ловцы солнечных лучей совсем не похожи на безумца, нарисованного фантазией Джонатана Свифта, хотя они занимаются, по существу, тем же, что и свифтовский герой, — пытаются поймать солнечные лучи и найти им энергетическое применение.

Уже древнейшие люди думали, что вся жизнь на Земле порождена и неразрывно связана с Солнцем. В религиях самых разных населяю-

щих Землю народов, одним из самых главных богов всегда был бог Солнца, дарующий животворящее тепло всему существу.

Действительно, количество энергии, поступающей на Землю от ближайшей к нам звезды, огромно. Всего за три дня Солнце посылает Земле столько энергии, сколько содержится ее во всех разведанных нами запасах топлива! И хотя только третья часть этой энергии достигает Земли — остальные две трети отражаются или рассеиваются атмосферой, — даже эта ее часть более чем в полторы тысячи раз превосходит все остальные, используемые человеком источники энергии, вместе взятые! Да и вообще все источники энергии, имеющиеся на Земле, порождены Солнцем.

В конечном счете именно солнечной энергии человек обязан всеми своими техническими достижениями. Благодаря солнцу возникает круговорот воды в природе, образуются потоки воды, вращающей водяные колеса. По-разному нагревая землю в различных точках нашей планеты, солнце вызывает движение воздуха, тот самый ветер, который наполняет паруса судов и вращает лопасти ветряных установок. Все ископаемое топливо, используемое в современной энер-





*Женщины Сиракуз поджигают корабли Марцелла.*

гетике, ведет свое происхождение опять же от солнечных лучей. Это их энергию с помощью фотосинтеза преобразовали растения в зеленую массу, которая в результате длительных процессов превратилась в нефть, газ, уголь.

Нельзя ли использовать энергию солнца непосредственно? На первый взгляд это не такая уж сложная задача. Кто не пробовал в солнечный день при помощи обыкновенной лупы выжигать на деревянной дощечке картинку! Минута, другая — и на поверхности дерева в том месте, где лупа собрала солнечные лучи, появляется черная точка и легкий дымок. Именно таким образом один из самых любимых героев Жюль Верна, инженер Сайрус Смит, выручил своих друзей, когда у них, попавших на таинственный остров, погас костер. Инженер сделал линзу из двух часовых стекол, пространство между

которыми было заполнено водой. Самодельная «чечевица» сосредоточила солнечные лучи на охапке сухого мха и воспламенила его.

Этот сравнительно нехитрый способ получения высокой температуры люди знали с глубокой древности. В развалинах древней столицы Ниневии в Месопотамии нашли примитивные линзы, сделанные еще в XII веке до нашей эры. Только «чистым» огнем, полученным непосредственно от лучей солнца, полагалось зажигать священный огонь в древнеримском храме Весты.

Интересно, что древними инженерами подсказана и другая идея концентрации солнечных лучей — с помощью зеркал. Великий Архимед оставил нам трактат «О зажигательных зеркалах». С его именем связана поэтическая легенда, рассказанная византийским поэтом Цецесом.



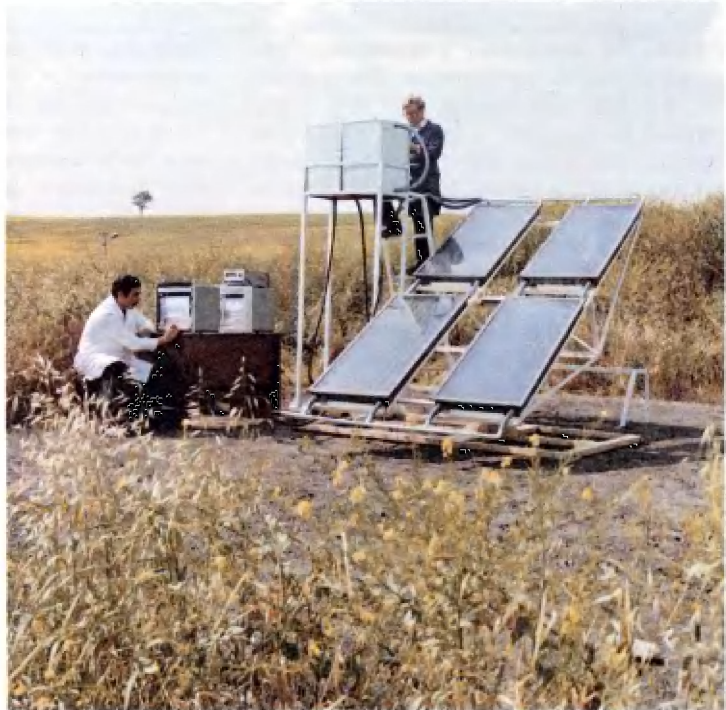
Во время Пунических войн родной город Архимеда Сиракузы был осажден римскими кораблями. Командующий флотом Марцелл не сомневался в легкой победе — ведь его войско было намного сильнее защитников города. Одного не учел заносчивый флотоводец — в борьбу с римлянами вступил великий инженер. Он придумал грозные боевые машины, построил метательные орудия, которые осыпали римские корабли градом камней или увесистой балкой пробивали дно. Другие машины крючковатым краном поднимали суда за нос и разбивали их о прибрежные скалы. А однажды римляне с изумлением увидели, что место воинов на стене осажденного города заняли женщины с зеркалами в руках. По команде Архимеда они направили солнечные зайчики на одно судно, в одну точку. Через короткое время на судне вспыхнул пожар. Та же участь по-

стигла еще несколько кораблей нападавших, пока они в растерянности не бежали подальше, за пределы досягаемости грозного оружия.

Долгие века эта история считалась красивым вымыслом. Однако некоторые современные исследователи истории техники провели расчеты, из которых следует, что зажигательные зеркала Архимеда в принципе могли существовать.

Использовали наши предки солнечную энергию и в более прозаических целях. В Древней Греции и в Древнем Риме основной массив лесов был хищнически вырублен для строительства зданий и судов. Дрова для отопления почти не использовались. Для обогрева жилых домов и оранжерей активно использовалась солнечная энергия. Архитекторы старались строить дома так, чтобы в зимнее время на них падало бы как можно больше солнечных лучей. Древнегреческий

*Солнечные коллекторы.*



драматург Эсхил писал, что цивилизованные народы тем и отличаются от варваров, что их дома «обращены лицом к солнцу». Римский писатель Плиний Младший указывал, что его дом, расположенный севернее Рима, «собирал и увеличивал тепло солнца за счет того, что его окна располагались так, чтобы улавливать лучи низкого зимнего солнца».

Раскопки древнего греческого города Олинфа показали, что весь город и его дома были спроектированы по единому плану и располагались так, чтобы зимой можно было поймать как можно больше солнечных лучей, а летом, наоборот, избегать их. Жилые комнаты обязательно располагались окнами к солнцу, а сами дома имели два этажа: один — для лета, другой — для зимы. В Олинфе, как и позже в Древнем Риме, запрещалось ставить дома так, чтобы они заслоняли от солнца дома соседей, — урок этики для сегодняшних создателей небоскребов!

Кажущаяся простота получения тепла при концентрации солнечных лучей не однажды порождала неоправданный оптимизм. Немногим более ста лет назад, в 1882 году, русский журнал «Техник» опубликовал заметку об использовании солнечной энергии в паровом двигателе: «Инсолатором назван паровой двигатель, котел которого нагревается при помощи солнечных лучей, собираемых для этой цели особо устроенным отражательным зеркалом. Английский ученый Джон Тиндаль применил подобные конические зеркала очень большого диаметра при исследовании теплоты лунных лучей. Французский профессор А.-Б. Мушо воспользовался идеей Тиндаля, применив ее к солнечным лучам, и получил жар, достаточный для образования пара. Изобретение, усовершенствованное инженером Пифом, было доведено им до такого совершенства, что вопреки о пользовании солнечной теп-

лотой может считаться окончательно решенным в положительном смысле».

Оптимизм инженеров, построивших «инсолатор», оказался неоправданным. Слишком много препятствий предстояло еще преодолеть ученым, чтобы энергетическое использование солнечного тепла стало реальным. Лишь сейчас, через сто с лишним лет, начала формироваться новая научная дисциплина, занимающаяся проблемами энергетического использования солнечной энергии, — гелиоэнергетика. И лишь сейчас можно говорить о первых реальных успехах в этой области.

В чем же сложность? Прежде всего, вот в чем. При общей огромной энергии, поступающей от солнца, на каждый квадратный метр поверхности земли ее приходится совсем немного — от 100 до 200 ватт, в зависимости от географических координат. В часы солнечного сияния эта мощность достигает 400—900 вт/м<sup>2</sup>, и поэтому, чтобы получить заметную мощность, нужно обязательно сначала собрать этот поток с большой поверхности и затем сконцентрировать его. Ну и конечно, большое неудобство составляет то очевидное обстоятельство, что получать эту энергию можно только днем. Ночью приходится использовать другие источники энергии или каким-то образом накапливать, аккумулировать солнечную.

Поймать энергию солнца можно по-разному. Первый путь — наиболее прямой и естественный: применить солнечное тепло для нагрева какого-нибудь теплоносителя. Потом нагретый теплоноситель можно использовать, скажем, для отопления или горячего водоснабжения (здесь не нужна особенно высокая температура воды), или же для получения других видов энергии, в первую очередь электрической.

Ловушка для непосредственного



*Совхозная опреснительная установка.*



*Сердце опреснительной установки — солнечный водоподъемник.*



использования солнечного тепла совсем проста. Для ее изготовления понадобится прежде всего коробка, закрытая обычным оконным стеклом или подобным ему прозрачным материалом. Оконное стекло не представляет препятствия для солнечных лучей, но удерживает тепло, нагревшее внутреннюю поверхность коробки. Это, по существу, парниковый эффект, принцип, на котором построены все теплицы, парники, оранжереи и зимние сады.

«Малая» гелиоэнергетика очень перспективна. На земле есть множество мест, где солнце нещадно палит с небосклона, иссушая почву и выжигая растительность, превращая местность в пустыню. Сделать такую землю плодородной и обитаемой в принципе можно. Нужно «только» обеспечить ее водой, построить селения с комфортабельными домами. Для всего этого потребуется прежде всего много энергии. Получить эту энергию от того же иссушающего, губящего

солнца, превратив солнце в союзника человека, очень важная и интересная задача.

У нас в стране такие работы возглавил Институт солнечной энергии Академии наук Туркменской ССР, головной в научно-производственном объединении «Солнце». Совершенно ясно, почему это учреждение с названием, будто сошедшим со страниц научно-фантастического романа, расположено именно в Средней Азии — ведь в Ашхабаде в летний полдень на каждый квадратный километр падает поток солнечной энергии, по мощности эквивалентный крупной электростанции!

В первую очередь ученые направили свои усилия на получение с помощью солнечной энергии воды. Вода в пустыне есть, да и найти ее сравнительно нетрудно — расположена она неглубоко. Но использовать эту воду нельзя — слишком много в ней растворено различных солей, она обычно еще более

*Научный полигон «Солнце» в Дагестане.*





*Этот дом в Каракумах обогревается солнечной энергией.*

горькая, чем морская. Чтобы применить подпочвенную воду пустыни для полива, для питья, ее нужно обязательно опреснить. Если это удалось сделать, можно считать, что рукотворный оазис готов: здесь можно жить в нормальных условиях, пасти овец, выращивать сады, причем круглый год — солнца достаточно и зимой. По расчетам ученых, только в Туркмении может быть построено семь тысяч таких оазисов. Вся необходимую энергию для них будет давать солнце.

Принцип действия солнечного опреснителя очень прост. Это сосуд с водой, насыщенной солями, закрытый прозрачной крышкой. Вода нагревается солнечными лучами, понемногу испаряется, а пар конденсируется на более холодной крышке. Очищенная вода (соли-то не испарились!) стекает с крышки в другой сосуд.

Конструкции этого типа известны довольно давно. Богатейшие залежи селитры в засушливых районах Чили в прошлом веке почти не разрабатывались из-за отсутствия питьевой воды. Тогда в местечке Лас-Салинас по такому принципу был построен опреснитель площадью 5 ты-

сяч квадратных метров, который в жаркий день давал по 20 тысяч литров пресной воды.

Но только сейчас работы по использованию солнечной энергии для опреснения воды развернулись широким фронтом. В туркменском совхозе «Бахарден» впервые в мире запустили самый настоящий «солнечный водопровод», обеспечивающий потребности людей в пресной воде и дающий воду для полива засушливых земель. Миллионы литров опресненной воды, полученной из солнечных установок, намного раздвинут границы совхозных пастбищ.

Очень много энергии люди затрачивают на зимнее отопление жилищ и промышленных зданий, на круглогодичное обеспечение горячего водоснабжения. И здесь на помощь может прийти солнце. Разработаны гелиоустановки, способные обеспечить горячей водой животноводческие фермы. Солнечная ловушка, разработанная армянскими учеными, очень проста по конструкции. Это прямоугольная полуметровая ячейка, в которой под специальным покрытием, эффективно поглощающим тепло, распо-

ложен волнообразный радиатор из системы труб. Стоит только подключить такую ловушку к водопроводу и выставить ее на солнце, как в летний день из нее будет поступать в час до тридцати литров воды, нагретой до 70—80 градусов. Преимущество такой конструкции в том, что из ячеек можно строить, как из кубиков, самые разные установки, namного увеличивая производительность солнечного нагревателя. Специалисты намечают перевести на солнечное теплоснабжение экспериментальный жилой район Еревана. Устройства для нагрева воды (или воздуха), называемые солнечными коллекторами, выпускаются нашей промышленностью. Созданы десятки солнечных установок и систем для горячего водоснабжения производительностью до 100 тонн горячей воды в день для обеспечения самых различных объектов.

Солнечные нагреватели установлены на многочисленных домиках, построенных в различных местах нашей страны. Одна из сторон крутой крыши, обращенная к солнцу, состоит из солнечных нагревателей, с помощью которых дом отапливается и снабжается горячей водой. Планируется постройка целых поселков, состоящих из таких домов.

Не только у нас в стране занимаются проблемой использования солнечной энергии. В первую очередь заинтересовались гелиоэнергетикой ученые стран, расположенных в тропиках, где в году бывает очень много солнечных дней. В Индии, например, разработали целую программу использования солнечной энергии. В Мадрасе действует первая в стране солнечная электростанция. В лабораториях индийских ученых работают экспериментальные опреснительные установки, зерносушилки и водяные насосы. В Делийском университете изготовлена холодильная гелиоустановка, способная охлаждать продукты

до 15 градусов ниже нуля. Так что солнце может не только нагревать, но и охлаждать! В соседней с Индией Бирме студенты из технологического института в Рангуне построили кухонную плиту, где солнечное тепло используется для приготовления пищи.

Даже в Чехословакии, расположенной значительно севернее, работают сейчас 510 установок солнечного теплоснабжения. Общая площадь их действующих коллекторов вдвое превышает размеры футбольного поля! Солнечные лучи обеспечивают теплом детские сады и животноводческие фермы, открытые плавательные бассейны и индивидуальные дома.

В городе Ольгин на Кубе вступила в строй оригинальная солнечная установка, разработанная кубинскими специалистами. Она расположена на крыше детской больницы и обеспечивает ее горячей водой даже в те дни, когда солнце закрыто облаками. По мнению специалистов, такие установки, появившиеся уже и в других кубинских городах, помогут экономить много топлива.

Строительство «солнечного поселка» начато в алжирской провинции Мсила. Всю энергию жители этого довольно большого поселения будут получать от солнца. Каждый жилой дом в этом поселке будет оборудован солнечным коллектором. Отдельные группы солнечных коллекторов обеспечат энергией промышленные и сельскохозяйственные объекты. Специалисты Национальной научно-исследовательской организации Алжира и Университета ООН, спроектировавшие этот поселок, уверены, что он станет прообразом тысяч подобных поселений в жарких странах.

Право называться первым солнечным поселением оспаривает у алжирского поселка австралийский городок Уайт Клиффс, который стал местом строительства оригинальной солнечной электростанции.





*Монтаж гелиостатов Крымской солнечной электростанции.*

Принцип использования солнечной энергии здесь особый. Ученые Национального университета в Канберре предложили использовать солнечное тепло для разложения аммиака на водород и азот. Если этим компонентам дать возможность вновь соединиться, выделится тепло, которое можно использовать для работы электростанции точно так же, как и тепло, получаемое при сжигании обычного топлива. Этот метод использования энергии особенно привлекателен тем, что энергию можно запасать впрок в виде еще не прореагировавших азота и водорода и использовать ее ночью или в ненастные дни.

Химический метод получения электричества от солнца вообще

довольно заманчив. При его использовании солнечную энергию можно будет запасать впрок, хранить ее как любое другое топливо. Экспериментальная установка, работающая по такому принципу, создана в одном из научных центров в ФРГ. Основной узел этой установки — параболическое зеркало диаметром 1 метр, которое при помощи сложных следящих систем постоянно направлено на солнце. В фокусе зеркала концентрированные солнечные лучи создают температуру 800—1000 градусов. Этой температуры достаточно для разложения серного ангидрида на сернистый ангидрид и кислород, которые закачиваются в специальные емкости. При необходимости компоненты подаются в регенерацион-

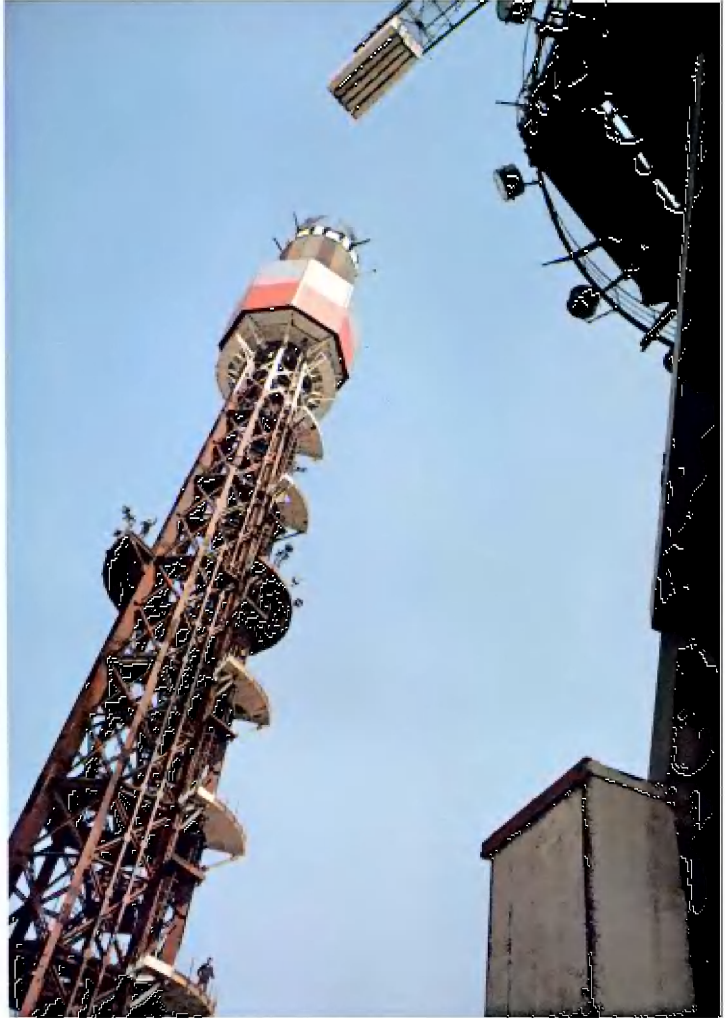
ный реактор, где в присутствии специального катализатора из них образуется исходный серный ангидрид. При этом температура повышается до 500 градусов. Потом тепло можно использовать для того, чтобы превратить воду в пар, вращающий турбину электрогенератора.

Ученые Энергетического института имени Г. М. Кржижановского проводят эксперименты прямо на крыше своего здания в не столь уж солнечной Москве. Параболическое зеркало, концентрируя солнечные

лучи, нагревает до 700 градусов газ, помещенный в металлический цилиндр. Горячий газ не только может превратиться в теплообменнике воду в пар, который приведет во вращение турбогенератор. В присутствии специального катализатора он по пути может быть превращен в окись углерода и водород — энергетически значительно более выгодные продукты, чем исходные. Нагревая воду, эти газы не пропадают — они просто остывают. Их можно сжечь и получить дополнительную энергию, причем тогда,

*Общий вид строительства солнечной электростанции.*





*90-метровая башня  
с парогенератором.*

когда солнце закрыто тучами или ночью. Продумываются проекты использования солнечной энергии для накопления водорода — как предполагается, универсального топлива будущего. Для этого можно употребить энергию, полученную на солнечных электростанциях, расположенных в пустынях, то есть там, где энергию использовать на месте трудно.

Существуют и совсем необычные пути. Солнечный свет сам по себе может расщепить молекулу воды, если будет присутствовать подходящий катализатор. Еще экзо-

тичнее уже существующие проекты крупномасштабного производства водорода с помощью бактерий! Процесс идет по схеме фотосинтеза: солнечный свет поглощается, например, синезелеными водорослями, которые довольно быстро растут. Эти водоросли могут служить пищей для некоторых бактерий, в процессе жизнедеятельности выделяющих из воды водород. Исследования, которые провели с разными видами бактерий советские и японские ученые, показали, что в принципе всю энергетику города с миллионным населением может





*Солнце — металлург. Строительство научно-производственного гелиокомплекса недалеко от Ташкента.*

обеспечить водород, выделяемый бактериями, питающимися синезелеными водорослями на плантации площадью всего 17,5 квадратных километров. По расчетам специалистов Московского государственного университета, водоем размером с Аральское море может обеспечить энергией почти всю нашу страну. Конечно, до воплощения в жизнь подобных проектов еще далеко. Эта остроумная идея и в XXI веке потребует для своего осуществления решить многие научные и инженерные задачи. Использовать для получения энергии живые существа вместо огромных машин — идея, стоящая того, чтобы поломать над ней голову.

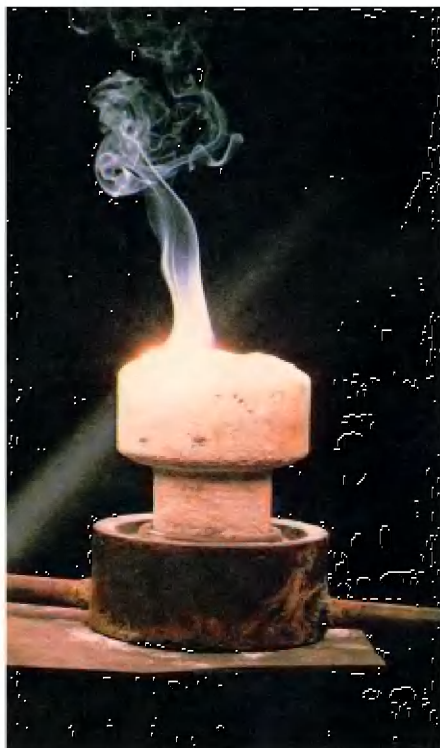
Проекты электростанции, где турбину будет вращать пар, полученный из нагретой солнечными лучами воды, разрабатывается сейчас в самых различных странах. В СССР экспериментальная солнечная электростанция такого типа построена на солнечном побережье

Крыма, вблизи Керчи. Место для станции выбрано не случайно — ведь в этом районе солнце светит почти две тысячи часов в год. Кроме того, немаловажно и то, что земли здесь солончаковые, не пригодные для сельского хозяйства, а станция занимает довольно большую площадь.

Станция представляет собой необычное и впечатляющее сооружение. На огромной, высотой более восьмидесяти метров, башне установлен солнечный котел парогенератора. А вокруг башни на обширной площадке радиусом более полукилометра концентрическими кругами располагаются гелиостаты — сложные сооружения, сердцем каждого из которых является громадное зеркало, площадью более 25 квадратных метров. Очень непростую задачу пришлось решать проектировщикам станции — ведь все гелиостаты (а их очень много — 1600!) нужно было расположить так, чтобы при любом поло-

жении солнца на небе ни один из них не оказался в тени, а отбрасываемый каждым из них солнечный зайчик попал бы точно в вершину башни, где расположен паровой котел (поэтому башня и сделана такой высокой). Каждый гелиостат оснащен специальным устройством для поворота зеркала. Зеркала должны двигаться непрерывно вслед за солнцем — ведь оно все время перемещается, значит, зайчик может сместиться, не попасть на стенку котла, а это сразу же скажется на работе станции. Еще больше усложняет работу станции то, что траектории движения гелиостатов каждый день меняются: Земля движется по орбите и Солнце ежедневно чуть-чуть меняет свой маршрут по небу. Поэтому управление движением гелиостатов поручено электронно-вычислительной машине — только ее бездонная память способна вместить в себя заранее рассчитанные траектории движения всех зеркал.

Под действием сконцентрированного гелиостатами солнечного



*Солнечная энергия плавит металл в тигле.*



*Высокотемпературная солнечная печь с диаметром зеркала в три метра.*

тепла вода в парогенераторе нагревается до температуры 250 градусов и превращается в пар высокого давления. Пар приводит во вращение турбину, та — электрогенератор, и в энергетическую систему Крыма вливается новый ручеек энергии, рожденной солнцем. Выработка энергии не прекратится, если солнце будет закрыто тучами, и даже ночью. На выручку придут тепловые аккумуляторы, установленные у подножия башни. Излишки горячей воды в солнечные дни направляются в специальные хранилища и будут использоваться в то время, когда солнца нет.

Мощность этой экспериментальной электростанции относительно невелика — всего 5 тысяч киловатт. Но вспомним: именно такой была мощность первой атомной электростанции, родоначальницы могучей атомной энергетики. Да и выработка энергии отнюдь не самая главная задача первой солнечной электростанции — она потому и называется экспериментальной, что с ее помощью ученым предстоит найти решения очень сложных задач эксплуатации таких станций. А таких задач возникает немало. Как, например, защитить зеркала от загрязнения? Ведь на них оседает пыль, от дождей остаются потеки, а это сразу же снизит мощность станции. Оказалось даже, что не всякая вода годится для мытья зеркал. Пришлось изобрести специальный моечный агрегат, который следит за чистотой гелиостатов. На экспериментальной станции сдают экзамен на работоспособность устройства для концентрации солнечных лучей, их сложнейшее оборудование. Но и самый длинный путь начинается с первого шага. Этот шаг на пути получения значительных количеств электроэнергии с помощью солнца и позволит сделать Крымская экспериментальная солнечная электростанция.

Советские специалисты готовят-ся сделать и следующий шаг.

Спроектирована крупнейшая в мире солнечная электростанция мощностью 320 тысяч киловатт. Место для нее выбрано в Узбекистане, в Каршинской степи, вблизи молодого целинного города Талимарджана. В этом краю солнце светит не менее щедро, чем в Крыму. По принципу действия эта станция не отличается от Крымской, но все ее сооружения значительно масштабнее. Котел будет располагаться на двухсотметровой высоте, а вокруг башни на много гектаров раскинется гелиостатное поле. Блестящие зеркала (72 тысячи!), повинаясь сигналам ЭВМ, сконцентрируют на поверхности котла солнечные лучи, перегретый пар закрутит турбину, генератор даст ток 320 тысяч киловатт — это уже большая мощность, и длительное ненастье, препятствующее выработке энергии на солнечной электростанции, может существенно сказаться на потребителях. Поэтому в проекте станции предусмотрен и обычный паровой котел, использующий природный газ. Если пасмурная погода затянется надолго, на турбину подадут пар из другого, обычного котла.

Разрабатывают солнечные электростанции такого же типа и в других странах. В США, в солнечной Калифорнии, построена первая электростанция башенного типа «Солар-1» мощностью 10 тысяч киловатт. В предгорьях Пиренеев французские специалисты ведут исследования на станции «Темис» мощностью 2,5 тысячи киловатт. Станцию «ГАСТ» мощностью 20 тысяч киловатт запроектировали западногерманские ученые.

Пока еще электрическая энергия, рожденная солнечными лучами, обходится намного дороже, чем получаемая традиционными способами. Ученые надеются, что эксперименты, которые они проведут на опытных установках и станциях, помогут решить не только технические, но и экономические проблемы.

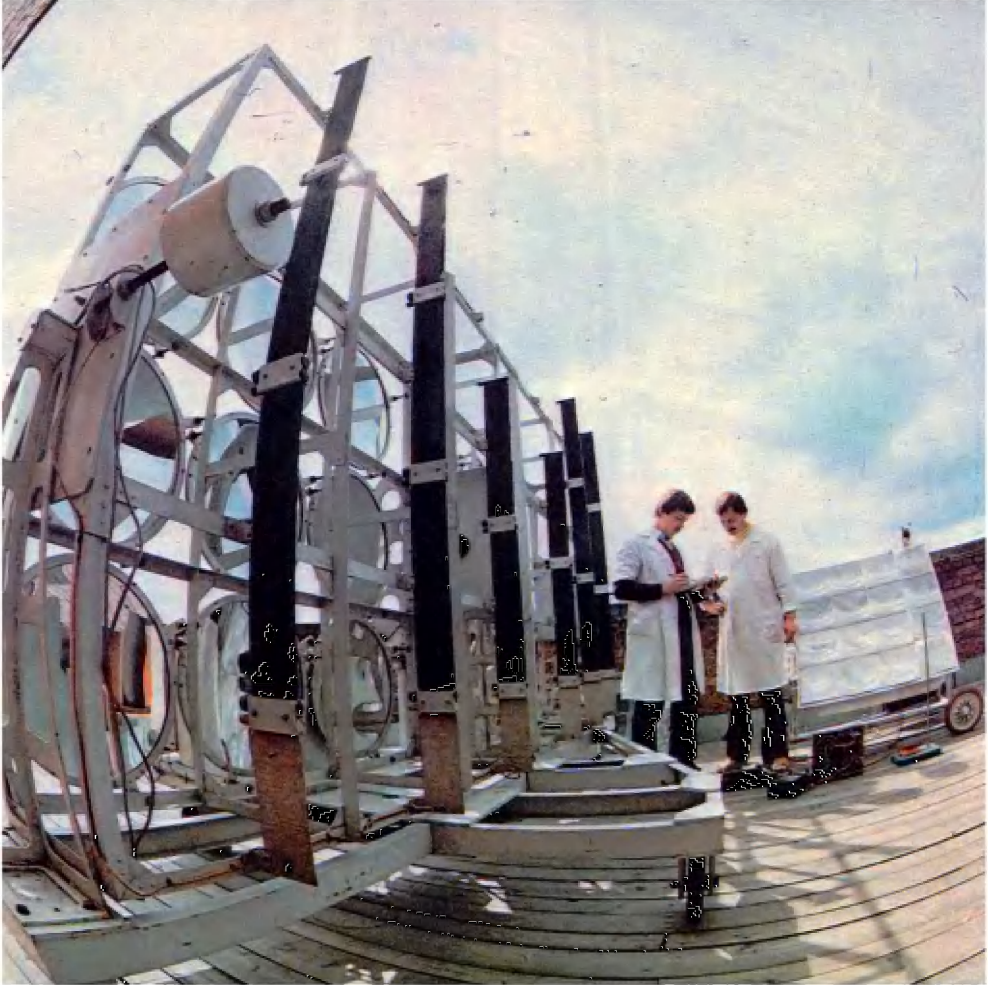




*Солнечные батареи автоматических межпланетных станций «Венера-15» и «Венера-16» в испытательном корпусе.*



*Автоматическая межпланетная станция «Вега» (проект «Венера — Галлей»).*



*Испытание солнечной энергоустановки.*

Согласно расчетам, солнце должно помочь в решении не только энергетических проблем, но и задач, которые поставил перед специалистами наш атомный, космический век. Чтобы построить могучие космические корабли, громадные ядерные установки, создать электронные машины, совершающие сотни миллионов операций в секунду, нужны новые материалы — сверхтугоплавкие, сверхпрочные, сверхчистые. Получить их очень сложно. Традиционные методы металлургии для этого не го-

дятся. Не подходят и более изощренные технологии, например плавка электронными пучками или токами сверхвысокой частоты. А вот чистое солнечное тепло может оказаться здесь надежным помощником. Некоторые гелиостаты при испытаниях легко пробивают своим солнечным зайчиком толстый алюминиевый лист. А если таких гелиостатов поставить несколько десятков? А затем лучи от них пустить на вогнутое зеркало концентратора? Солнечный зайчик такого зеркала сможет расплавить не только алю-

миний, но и почти все известные материалы. Специальная плавильная печь, куда концентратор передает всю собранную солнечную энергию, засветится ярче тысячи солнц.

Проекты и достижения, о которых мы рассказали, используют для получения энергии солнечное тепло, которое затем преобразуется в электричество. Но еще более заманчив другой путь — прямое преобразование солнечной энергии в электричество.

Впервые намек на связь электричества и света прозвучал в трудах великого шотландца Джеймса Клерка Максвелла. Экспериментально эта связь была доказана в опытах Генриха Герца, который в 1886—1889 годах показал, что электромагнитные волны ведут себя точно так же, как и световые, — так же прямолинейно распространяются, образуя тени. Ему удалось даже сделать гигантскую призму из

двух тонн асфальта, которая преломляла электромагнитные волны, как стеклянная призма — световые.

Но еще десятью годами раньше Герц неожиданно для себя заметил, что разряд между двумя электродами происходит гораздо легче, если эти электроды осветить ультрафиолетовым светом.

Эти опыты, не получившие развития в работах Герца, заинтересовали профессора физики Московского университета Александра Григорьевича Столетова. В феврале 1888 года он приступил к серии опытов, направленных на изучение таинственного явления. Решающий опыт, доказывающий наличие фотоэффекта — возникновение электрического тока под воздействием света, — был проведен 26 февраля. В экспериментальной установке Столетова потек электрический ток, рожденный световыми лучами. Фактически заработал первый фотоэлемент, который впослед-

*Гелиофотоэнергетическая установка.*





ствии нашел многочисленные применения в самых разных областях техники.

В начале XX века Альберт Эйнштейн создал теорию фотоэффекта, и в руках исследователей появились, казалось бы, все инструменты для овладения этим источником энергии. Были созданы фотоэлементы на основе селена, потом более совершенные — теллуриды. Но они обладали очень малым коэффициентом полезного действия и нашли применение только в устройствах управления, подобных привычным турникетам в метро, в которых луч света преграждает дорогу безбилетникам.

Следующий шаг был сделан, когда учеными были подробно изучены открытые еще в 70-х годах прошлого века фотоэлектрические свойства полупроводников. Оказалось, что полупроводники гораздо эффективнее металлов преобразуют солнечный свет в электрическую энергию.

Академик Абрам Федорович Иоффе мечтал о применении полупроводников в солнечной энергетике еще в 30-е годы, когда сотрудники руководимого им Физико-технического института АН СССР в Ленинграде Б. Т. Коломиец и Ю. П. Маслаковец создали медно-теллуридные фотоэлементы с рекордным по тому времени коэффициентом полезного действия — 1%! Следующим шагом на этом направлении поиска было создание кремниевых фотоэлементов. Уже первые образцы их имели коэффициент полезного действия 6%. Используя такие элементы, можно было подумать и о практическом получении электрической энергии из солнечных лучей.

Первая солнечная батарея была создана в 1953 году. Поначалу это была просто демонстрационная модель. Какого-то практического применения тогда не предвиделось — слишком мала была мощность первых солнечных батарей.

Но появились они очень вовремя, для них вскоре нашлось ответственное задание. Человечество готовилось шагнуть в космос. Задача обеспечения энергией многочисленных механизмов и приборов космических кораблей стала одной из первоочередных. Существующие аккумуляторы, в которых можно было бы запастись электрической энергией, неприемлемо громоздки и тяжелы. Слишком большая часть полезной нагрузки корабля ушла бы на перевозку источников энергии, которые, кроме того, постепенно расходуясь, скоро превратились бы в бесполезный громоздкий балласт. Самым заманчивым было бы иметь на борту космического корабля собственную электростанцию, желательно — обходящуюся без топлива. С этой точки зрения солнечная батарея оказалась очень удобным устройством. На это устройство и обратили внимание ученые в самом начале космической эры.

Уже третий советский искусственный спутник Земли, выведенный на орбиту 15 мая 1958 года, был оснащен солнечной батареей. А теперь широко распахнутые крылья, на которых размещены целые солнечные электростанции, стали неотъемлемой деталью конструкции любого космического аппарата. На советских космических станциях «Салют» и «Мир» солнечные батареи в течение многих лет обеспечивают энергией и системы жизнеобеспечения космонавтов, и многочисленные научные приборы, установленные на станции.

На Земле, к сожалению, этот способ получения больших количеств электрической энергии — дело будущего. Причины этого — уже упоминавшийся нами небольшой пока коэффициент полезного действия солнечных элементов. Расчеты показывают: чтобы получить большие количества энергии, солнечные батареи должны зани-



Гелиостанция.

мать огромную площадь — тысячи квадратных километров. Потребность Советского Союза в электроэнергии, например, могла бы удовлетворить сегодня лишь солнечная батарея площадью 10 тысяч квадратных километров, расположенная в пустынях Средней Азии. Сегодня произвести такое громадное количество солнечных элементов практически невозможно. Применяемые в современных фотоэлементах сверхчистые материалы — чрезвычайно дорогостоящие. Чтобы их изготовить, нужно сложнейшее оборудование, применение особых технологических процессов. Экономические и технологические соображения пока не позволяют рассчитывать на получение таким путем значительных количеств электрической энергии. Эта задача остается XXI веку.

В последнее время советские исследователи — признанные лидеры мировой науки в сфере конструирования материалов для полу-

проводниковых фотоэлементов — провели ряд работ, позволивших приблизить время создания солнечных электростанций. В 1984 году Государственной премии СССР удостоены работы исследователей, возглавляемых академиком Ж. Алферовым, которым удалось создать совершенно новые структуры полупроводниковых материалов для фотоэлементов. Коэффициент полезного действия солнечных батарей из новых материалов достигает уже 30%, а теоретически он может составить и 90%! Применение таких фотоэлементов позволит в десятки раз сократить площади панелей будущих солнечных электростанций. Их можно сократить еще в сотни раз, если солнечный поток предварительно собрать с большой площади, сконцентрировать и только потом подать на солнечную батарею. Так что в будущем XXI веке солнечные электростанции с фотоэлементами могут стать обычным источником энергии. Да и в наши



*Солнечная электростанция в колхозе вблизи Ашхабада.*

дни уже имеет смысл получать энергию от солнечных батарей в тех местах, где других источников энергии нет.

Например, в Каракумах для сварки конструкций фермы применили разработанный туркменскими специалистами аппарат, использующий энергию солнца. Вместо того, чтобы привозить с собой громоздкие баллоны с сжатым газом, сварщики могут использовать небольшой аккуратный чемоданчик, куда помещена солнечная батарея. Рожденный солнечными лучами постоянный электрический ток используется для химического

разложения воды на водород и кислород, которые подаются в горелку газосварочного аппарата. Вода и солнце в Каракумах есть возле любого колодца, так что громоздкие баллоны, которые нелегко возить по пустыне, стали ненужными.

Крупная солнечная электростанция мощностью около 300 киловатт создается в аэропорту города Феникс в американском штате Аризона. Солнечную энергию в электричество будет превращать солнечная батарея, состоящая из 7 200 солнечных элементов. В том же штате действует одна из круп-

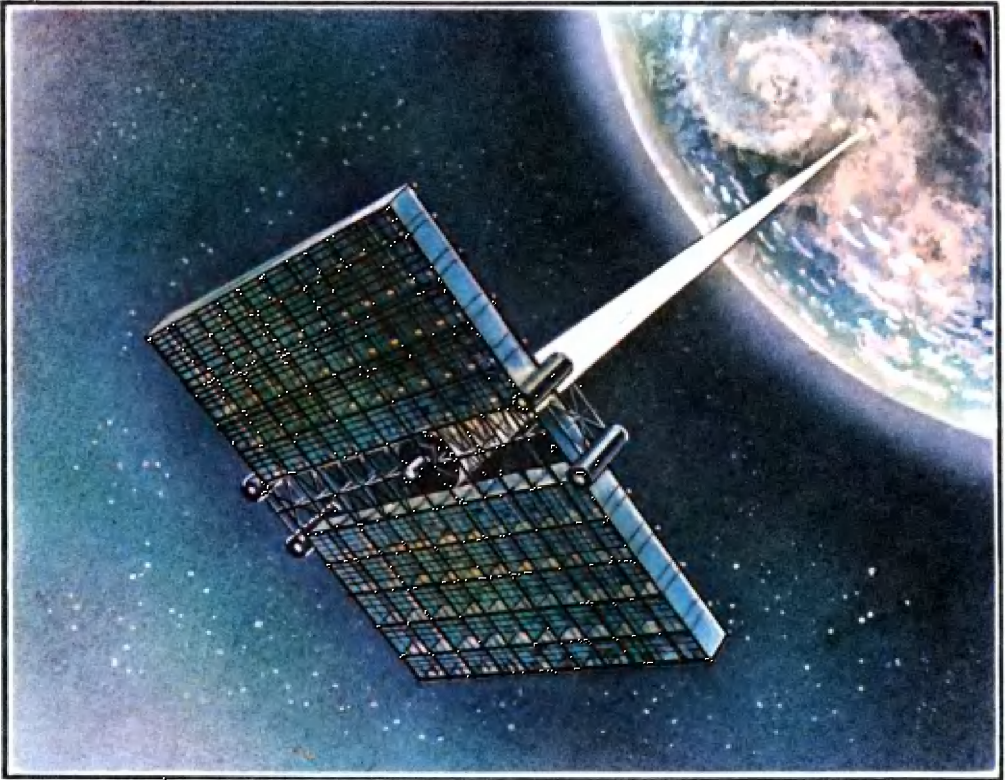




*Испытания гелиостата.*



*Солнечный  
электромобиль  
не загрязняет воздух  
выхлопными газами.*



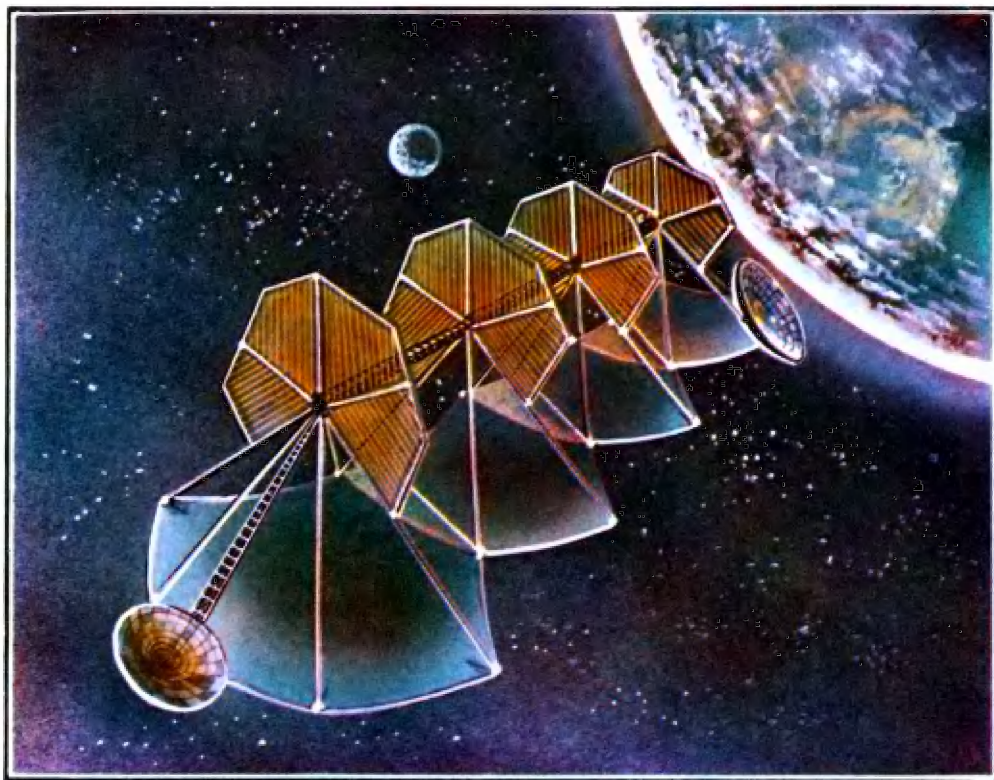
*Так может выглядеть космическая электростанция с солнечными батареями.*

нейших в мире ирригационных систем, насосы которой используют энергию солнца, преобразованную в электричество фотоэлементами. В Нигере, Мали и Сенегале тоже действуют солнечные насосы. Огромные солнечные батареи питают электроэнергией моторы насосов, которые поднимают пресную воду, необходимую в этих пустынных местностях, из огромного подземного моря, расположенного под песками.

Целый экологически чистый городок, все энергетические потребности которого будут удовлетворяться за счет возобновляемых источников, строится в Бразилии. На крышах домов этого необычного поселения будут располагаться солнечные водонагреватели. Четыре ветряных двигателя при-

ведут в действие генераторы мощностью по 20 киловатт каждый. В безветренные дни электроэнергия будет поступать из здания, расположенного в центре города. Его крыша и стены — это солнечные батареи. Если не будет ни ветра, ни солнца, энергия поступит от обычных генераторов с двигателями внутреннего сгорания, но тоже особенных — топливом для них будет служить не бензин или дизельное топливо, а спирт, не дающий вредных выбросов.

Солнечные батареи постепенно входят в наш быт. Уже никого не удивляют появившиеся в магазинах микрокалькуляторы, работающие без батареек. Источником питания для них служит небольшая солнечная батарея, вмонтированная в крышку прибора. Заменяют другие



*Космическая тепловая электростанция.*

источники питания миниатюрной солнечной батареей и в электронных часах, радиоприемниках и магнитофонах. Появились солнечные радиотелефоны-автоматы вдоль дорог в пустыне Сахара. Перуанский город Тиунтам стал обладателем целой радиотелефонной сети, работающей от солнечных батарей. Японские специалисты сконструировали солнечную батарею, которая по размерам и по форме напоминает обыкновенную черепицу. Если такой солнечной черепицей покрыть дом, то электроэнергия хватит для удовлетворения нужд его жильцов. Правда, пока неясно, как они будут обходиться в периоды снегопадов, дождей и туманов? Без традиционной электроподводки обойтись, по-видимому, не удастся.

Вне конкуренции солнечные батареи оказываются там, где солнечных дней много, а других источников энергии нет. Например, связисты из Казахстана установили между Алма-Атой и городом Шевченко на Мангышлаке две радиорелейные ретрансляционные станции для передачи телевизионных программ. Но не прокладывая же для их питания линию электропередачи. Помогли солнечные батареи, которые дают в солнечные дни, а их на Мангышлаке много — вполне достаточно энергии для питания приемника и передатчика.

Хорошим сторожем для пасущихся животных служит тонкая проволока, по которой пропущен слабый электрический ток. Но пастбища обычно расположены вдали от линий электропередач. Выход



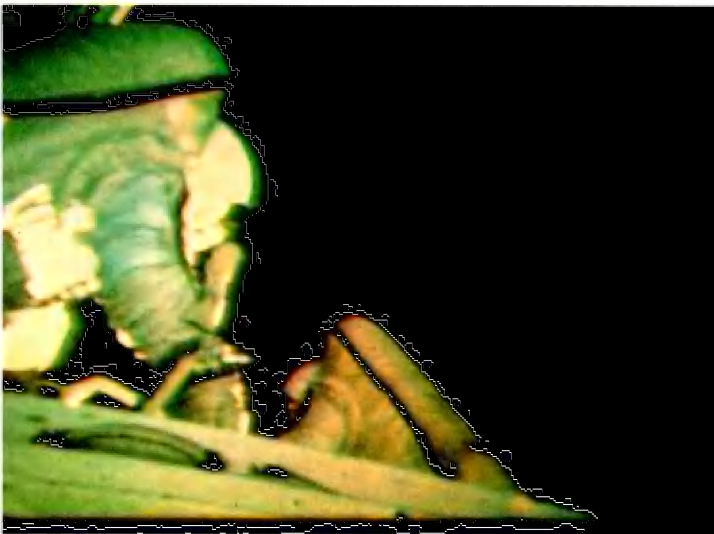
предложили французские инженеры. Они разработали автономную изгородь, которую питает солнечная батарея. Солнечная панель весом всего полтора килограмма дает энергию электронному генератору, который посылает в подобный забор импульсы тока высокого напряжения, безопасные, но достаточно чувствительные для животных. Одной такой батарее хватает, чтобы построить забор длиной 50 километров.

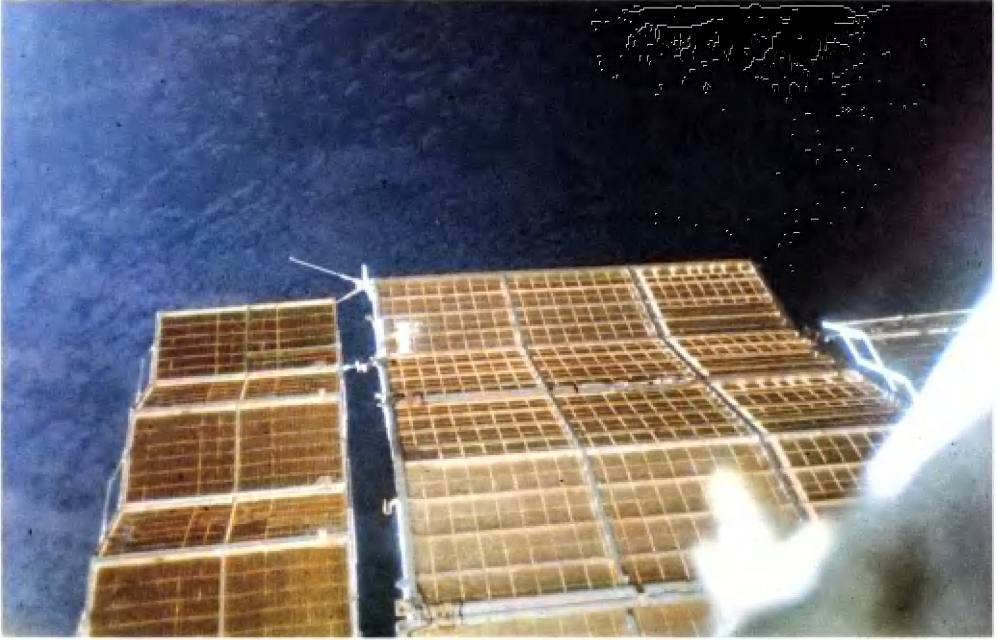
Энтузиастами гелиоэнергетики предложено множество экзотических конструкций транспортных средств, обходящихся без традиционного топлива. Мексиканские конструкторы разработали электромобиль, энергию для двигателя которого доставляют солнечные батареи. По их расчетам, при поездках на небольшие расстояния этот электромобиль сможет развивать скорость до 40 километров в час. Мировой рекорд скорости для солнцемобиля — 50 километров в час — рассчитывают установить конструкторы из ФРГ.

А вот австралийский инженер

Ганс Толstrup назвал свой солнцемобиль «Тише едешь — дальше будешь». Конструкция его предельно проста: трубчатая стальная рама, на которой укреплены колеса и тормоза от гоночного велосипеда. Корпус машины сделан из стеклопластика и напоминает собой обыкновенную ванну с небольшими окошками. Сверху все это сооружение накрыто плоской крышей, на которой закреплено 720 кремниевых фотоэлементов. Ток от них поступает в электромотор мощностью в 0,7 киловатта. Путешественники (а кроме конструктора, в пробеге участвовал инженер и автогонщик Ларри Перкинс) поставили своей задачей пересечь Австралию от Индийского океана до Тихого (это 4130 километров!) не более чем за 20 дней. В начале 1983 года необычный экипаж стартовал из города Перт, чтобы финишировать в Сиднее. Нельзя сказать, чтобы путешествие было особенно приятным. В разгар австралийского лета температура в кабине поднималась до 50 градусов. Конструкторы сэкономили каждый килограмм

*Космонавты В. Ляхов и А. Александров устанавливают дополнительные солнечные батареи на станции «Салют-7».*





*Дополнительные панели с солнечными батареями на станции «Салют-7», смонтированные в открытом космосе космонавтами Л. Кизимом и В. Соловьевым.*

веса машины и поэтому отказались от рессор, что отнюдь не способствовало комфортабельности. В пути лишний раз останавливаться не хотели (ведь поездка не должна была продолжаться более 20 дней), а радиосвязью пользоваться было невозможно из-за сильного шума мотора. Поэтому гонщикам приходилось писать записки для группы сопровождения и выбрасывать их на дорогу. И все-таки, несмотря на трудности, солнцемобиль неуклонно продвигался к цели, находясь в пути 11 часов ежедневно. Средняя скорость машины составила 25 километров в час. Так, медленно, но верно, солнцемобиль преодолел самый трудный участок дороги — Большой Водораздельный хребет, и на исходе контрольных двадцатых суток торжественно финишировал в Сиднее. Здесь путешественники вылили в Тихий океан воду, взятую ими в начале пути из Индийского. «Солнечная энергия соединила два

океана», — заявили они многочисленным присутствовавшим журналистам.

Двумя годами позже в швейцарских Альпах состоялось необычное авторалли. На старт вышли 58 автомобилей, двигатели которых приводились в движение энергией, полученной от солнечных батарей. За пять дней экипажам самых причудливых конструкций предстояло преодолеть 368 километров по горным альпийским трассам — от Боденского до Женевского озера. Лучший результат показал солнцемобиль «Солнечная серебряная стрела», построенный совместно западногерманской фирмой «Мерседес-Бенц» и швейцарской «Альфа-Реал». По внешнему виду автомобиль-победитель больше всего напоминает большого жука с широкими крыльями. В этих крыльях расположены 432 солнечных элемента, которые питают энергией серебряно-цинковую аккумулятор-



*В открытом космосе работает Светлана Савицкая.*

ную батарею. От этой батареи энергия поступает к двум электродвигателям, вращающим колеса автомобиля. Но так происходит только в пасмурную погоду или во время движения в тоннеле. Когда же светит солнце, ток от солнечных элементов поступает прямо к электродвигателям. Временами скорость победителя достигала 80 километров в час.

Японский моряк Кэнити Хориэ стал первым человеком, который в одиночку пересек Тихий океан на судне с солнечной энергетичес-

кой установкой. Других источников энергии на лодке не было. Солнце помогло отважному мореплавателю преодолеть 6000 километров от Гавайских островов до Японии.

Американец Л. Мауро сконструировал и построил самолет, на поверхности крыльев которого расположена батарея из 500 солнечных элементов. Вырабатываемая этой батареей электроэнергия приводит в движение электромотор мощностью в два с половиной киловатта, с помощью которого удалось все-таки совершить, хотя и не



очень продолжительный, полет. Англичанин Алан Фридмэн сконструировал велосипед без педалей. Он приводится в движение электричеством, поступающим из аккумулятора, заряжаемых установленной на руле солнечной батареей. Запасенной в аккумуляторе «солнечной» электроэнергии хватает на то, чтобы проехать около 50 километров со скоростью 25 километров в час. Существуют проекты солнечных воздушных шаров и дирижаблей. Все эти проекты относятся пока к технической экзотике — слишком мала плотность солнечной энергии, слишком велики необходимые площади солнечных батарей, которые могли бы дать достаточное для решения солидных задач количество энергии.

А почему не подняться чуть-чуть ближе к Солнцу? Ведь там, в ближнем космосе, плотность солнечной энергии в 10—15 раз выше! Потом, там не бывает непогоды и облаков. Идею создания орбитальных солнечных электростанций выдвинул еще К. Э. Циолковский. В 1929 году молодой инженер, будущий академик В. П. Глушко, предложил проект гелиоракетоплана, использующего большие количества солнечной энергии. В 1948 году профессор Г. И. Бабат рассмотрел возможность передачи энергии, полученной в космосе, на Землю с помощью пучка сверхвысокочастотного излучения. В 1960 году инженер Н. А. Варваров предложил использовать космическую солнечную электростанцию для электроснабжения Земли.

Грандиозные успехи космонавтики перевели эти идеи из ранга научно-фантастических в рамки конкретных инженерных разработок. На Международном конгрессе астронавтов в 1968 году делегаты многих стран рассматривали уже вполне серьезный проект солнечной космической электростанции, подкрепленный детальными экономическими расчетами. Сразу же

появились горячие сторонники этой идеи и не менее непримиримые противники.

Большинство исследователей считают, что будущие космические энергогиганты будут создаваться на базе солнечных батарей. Если использовать существующие их типы, то площадь для получения мощности 5 миллиардов киловатт должна составить 60 квадратных километров, а масса вместе с несущими конструкциями — около 12 тысяч тонн. Если же рассчитывать на солнечные батареи будущего, значительно более легкие и эффективные, площадь батарей может быть сокращена раз в десять, а масса и того больше.

Можно построить на орбите и обычную тепловую электростанцию, в которой турбину будет вращать поток инертного газа, сильно разогретого концентрированными солнечными лучами. Разработан проект такой солнечной космической электростанции, состоящей из 16 блоков по 500 тысяч киловатт каждый. Казалось бы, такие машины, как турбины и генераторы, невыгодно поднимать на орбиту, да кроме того, нужно построить и огромный параболический концентратор солнечной энергии, нагревающей рабочее тело турбины. Но оказалось, что удельная масса такой электростанции (то есть масса, приходящаяся на 1 киловатт произведенной мощности) получается вдвое меньшей, чем для станции с существующими солнечными батареями. Так что тепловая электростанция в космосе — не столь уж нерациональная идея. Правда, ожидать существенного снижения удельной массы тепловой электростанции не приходится, а прогресс в производстве солнечных батарей обещает снижение их удельной массы в сотни раз. Если это произойдет, то преимущество будет, конечно, за батареями.

Передача электроэнергии из космоса на Землю может осуще-

ствляться пучком сверхвысоко-частотного излучения. Для этого в космосе нужно соорудить передающую антенну, а на Земле — приемную. Кроме того, нужно вывести в космос устройства, преобразующие постоянный ток, рожденный солнечной батареей, в сверхвысокочастотное излучение. Диаметр передающей антенны должен быть около километра, а масса, вместе с преобразовательными устройствами, несколько тысяч тонн. Приемная антенна должна быть значительно больше (ведь энергетический пучок обязательно рассеется атмосферой). Ее площадь должна составить около 300 квадратных километров. Но земные проблемы решаются легче.

Для строительства космической солнечной электростанции потребуются создать целый космический флот из сотен ракет и кораблей многоразового использования. Ведь на орбиту придется вывести тысячи тонн полезного груза. Кроме того, необходима будет и малая косми-

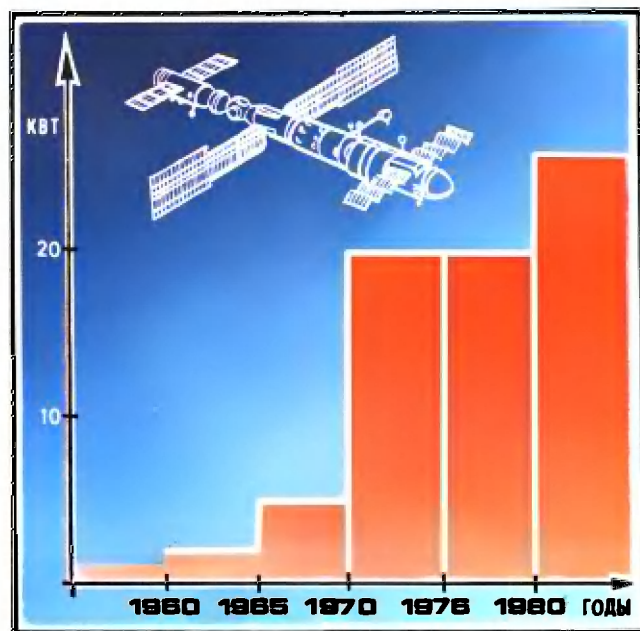
ческая эскадра, которой будут пользоваться космонавты — монтажники, ремонтники, энергетики.

Первый опыт, который очень пригодится будущим монтажникам космических солнечных электростанций, приобрели советские космонавты.

Космическая станция «Салют-7» находилась на орбите уже немало дней, когда стало ясно, что для проведения многочисленных экспериментов, задуманных учеными, мощности корабельной электростанции — солнечных батарей — может не хватить. В конструкции «Салют-7» возможность установки дополнительных батарей была предусмотрена. Оставалось только доставить на орбиту солнечные модули и укрепить их в нужном месте, то есть провести тонкие монтажные операции в открытом космосе. С этой сложнейшей задачей советские космонавты блестяще справились.

Две новые панели солнечных батарей были доставлены на орбиту

*Так растет мощность энергетических установок космических аппаратов.*



на борту спутника «Космос-1443» весной 1983 года. Экипаж «Союза Т-9» — космонавты В. Ляхов и А. Александров — перенес их на борт «Салюта-7». Теперь предстоит работа в открытом космосе.

Дополнительные солнечные батареи были установлены 1 и 3 ноября 1983 года. Четкую и методичную работу космонавтов в невероятно трудных условиях открытого космоса видели миллионы телезрителей. Сложнейшая монтажная операция была проведена великолепно. Новые модули увеличили производство электроэнергии более чем в полтора раза.

Но и этого оказалось недостаточно. Представители следующего экипажа «Салюта-7» — Л. Кизим и В. Соловьев (вместе с ними в космосе находился врач О. Атьков) — 18 мая 1984 года установили на крыльях станции дополнительные солнечные батареи.

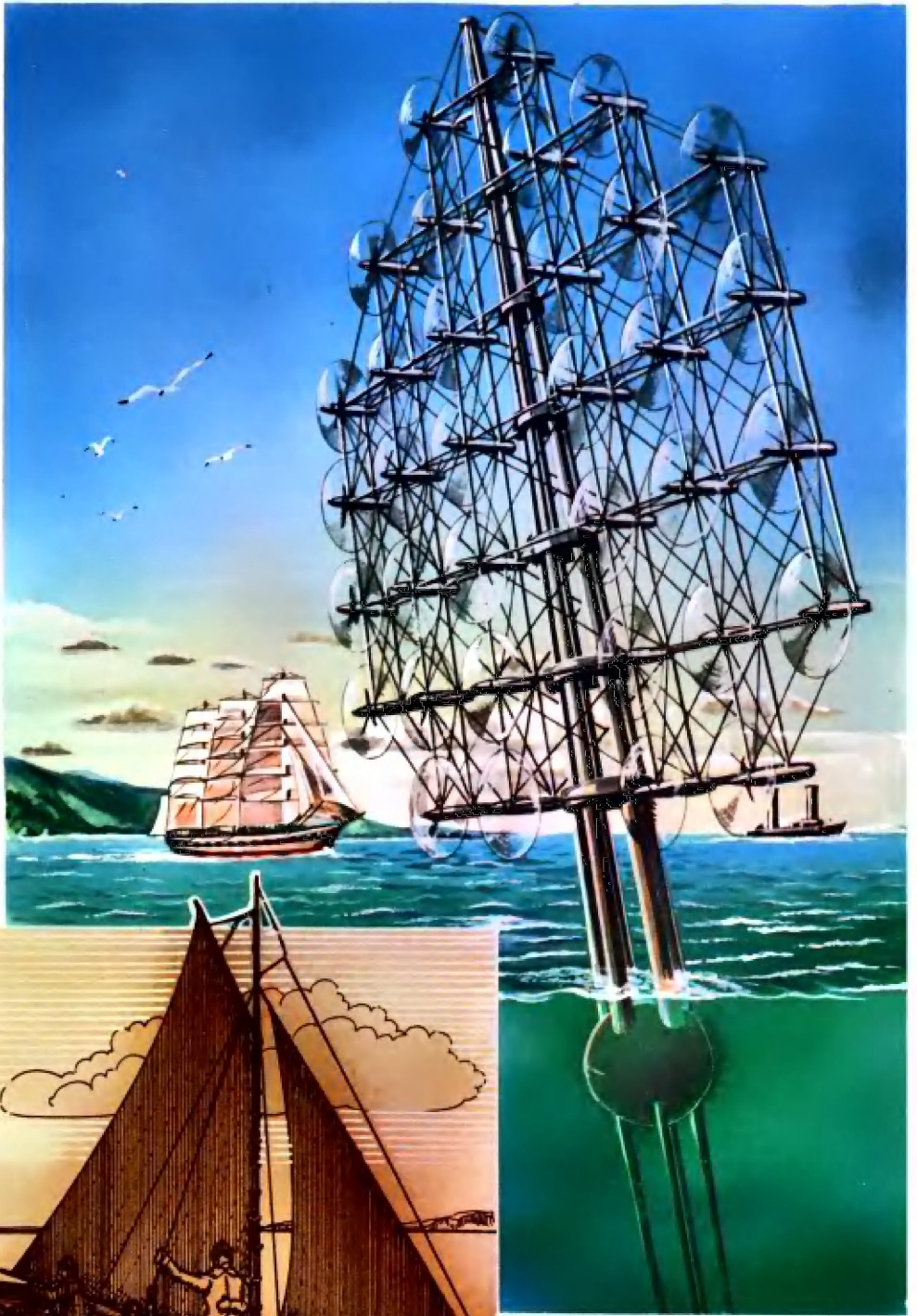
Будущим проектировщикам космических электростанций очень важно знать, как необычные условия космоса — почти абсолютный вакуум, невероятный холод космического пространства, жесткая солнечная радиация, бомбардировка микрометеоритами и так далее — влияют на состояние материалов, из которых сделаны солнечные батареи. На многие вопросы получают они ответы, изучив образцы, доставленные на Землю с «Салюта-7». Уже более двух лет работали батареи этого корабля в космосе, когда С. Савицкая — первая в мире женщина, дважды побывавшая в космосе и совершившая выход в открытый космос,—

с помощью универсального инструмента отделила кусочки солнечных панелей. Теперь их изучают ученые разных специальностей, чтобы определить, как долго могут работать в космосе без замены.

Технические трудности, которые будет необходимо преодолеть конструкторам космических энергостанций, колоссальны, но принципиально разрешимы. Другое дело — экономика таких сооружений. Кое-какие оценки производят уже сейчас, хотя экономические расчеты космических энергостанций могут быть сделаны лишь весьма приближенно. Сооружение космической электростанции будет выгодным лишь тогда, когда стоимость киловатт-часа выработанной энергии составит примерно такую же величину, как стоимость энергии, выработанной на Земле. По оценкам американских специалистов, для выполнения этого условия стоимость солнечной электростанции в космосе должна быть не более 8 миллиардов долларов. Этой величины можно достичь, если в 10 раз снизить (по сравнению с существующей) стоимость одного киловатта мощности, вырабатываемой солнечными батареями, и во столько же раз — стоимость доставки полезного груза на орбиту. А это — невероятно трудные задачи. Видимо, в ближайшие десятилетия мы вряд ли сможем использовать космическую электроэнергию.

Но в списке резервов человечества этот источник энергии обязательно будет значиться на одном из первых мест.





*От парусных саней  
Филеаса Фогга —  
к ветровым пловцам.*

---

### Глава 3

#### В УПРЯЖКЕ — ВЕТЕР

Филеас Фогг опаздывал на двадцать часов. Поезд, который должен был доставить его к кораблю, отплывающему из Нью-Йорка в Европу, отправлялся без него. Казалось, что ему никак уже не удастся обогнуть земной шар за восемьдесят дней. На выручку пришел ветер. Необычный экипаж — сани с парусом — за считанные часы перенес путешественника и его друзей через заснеженную степь и доставил к поезду. Энергия ветра помогла герою романа Жюль Верна — отважному и изобретательному Филеасу Фоггу — осуществить задуманное.

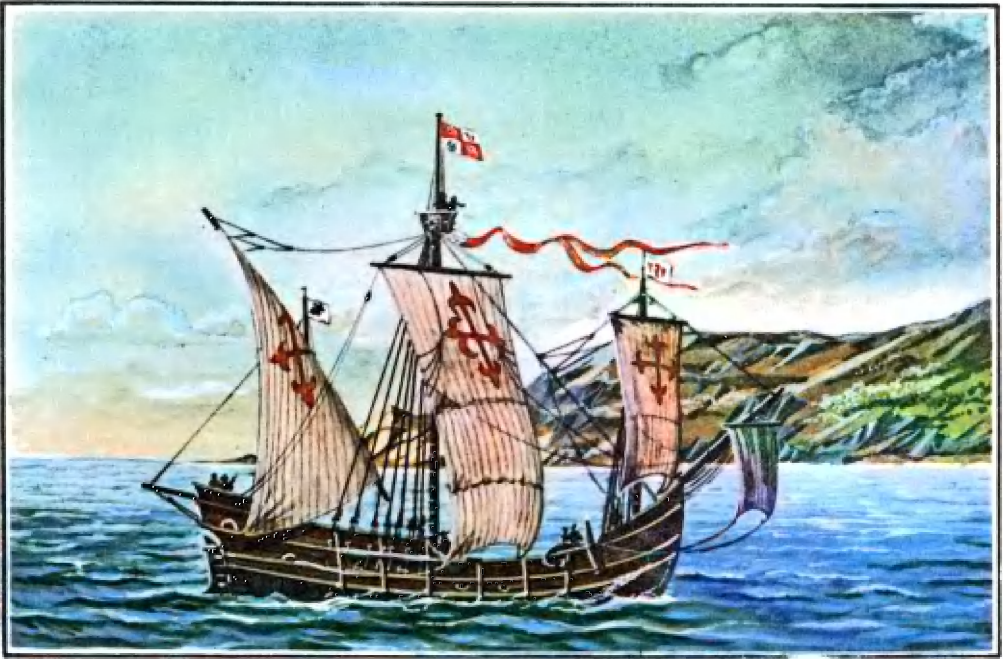
С незапамятных времен энергия ветра верно служила людям. Древние греки считали, что легендарный Прометей научил людей не только пользоваться огнем, но и оснастил корабли парусами. Заслуги парусных кораблей общеизвестны: все великие географические открытия были сделаны с их помощью. Когда на океанских просторах появились первые неуклюжие пароходы, они шли по уже проторенным путям, проложенным красавцами-парусниками.

А на суше десятки тысяч ветряных мельниц издавна исправно молотили зерно, пилили бревна, откачивали воду, совершали много дру-

гих полезных действий. Первое письменное упоминание о ветряной мельнице встречается в 644 году, когда в обвинительном акте против некоего Абу Лулуа, убившего Халифа Умара ибн ал-Каттаба, он назван «строителем ветряных мельниц». В Европе архивы 1105 года сохранили разрешение, выданное монастырю на постройку мельницы. Французские хроники 1180 года и английские 1190 года уже прямо говорят о работающих ветряных мельницах. Но еще совсем не о тех мельницах, с которыми пришлось сражаться идальго Дон Кихоту Ламанчскому! Это были неуклюжие сооружения с вращающимися в горизонтальной плоскости лопастями, укрепленными на деревянном корпусе. Чтобы лопасти всегда были подставлены ветру, постоянно меняющему направление, вся эта громоздкая конструкция вручную поворачивалась с помощью рычага.

Уже потом ветряная мельница трудами многих поколений умельцев и изобретателей была усовершенствована, приобрела знакомый нам по многочисленным изображениям облик. Она оказалась существенно проще водяной, более дешевой. Поэтому много веков на широких равнинах России, Германии, Испании и, конечно, Голлан-





*Парусные корабли экспедиции Колумба.*



дии — классической страны ветряных мельниц — мерно вращались лопасти деревянных великанов (только в России было их больше 250 000!).

Да и парус не был забыт. Когда на море пришла паровая машина, легендарные быстроходные парусные суда — чайные клиперы — оставляли позади себя дымящие пароходы, спеша доставить чай из Индии в Европу. Самый знаменитый из этих кораблей — «Катти Сарк», названный по имени красавицы-ведьмы из стихотворения Роберта Бернса, восстановлен и находится на вечной стоянке в английском порту Фалмут. Именно на одном из чайных клиперов был установлен рекорд скорости под парусами. Клипер «Попутный ветер» преодолел путь из Индии в Европу со средней скоростью 39 километров

*Ветряная мельница начала века и современный ветроэлектрогенератор.*





*Парусные корабли экспедиции Колумба.*

в час — совсем неплохой показатель и для наших дней! Во многих портах мира тысячи людей восхищались непередаваемой красотой парусников «Товарищ» и «Крузенштерн», на которых будущие командиры самых современных советских кораблей обязательно проходят практику.

Огромна энергия движущихся воздушных масс. Запасы энергии ветра более чем в сто раз превышают запасы гидроэнергии всех рек планеты. Постоянно и повсюду на земле дуют ветры — от легкого ветерка, несущего желанную прохладу в летний зной, до могучих ураганов, приносящих неисчислимый урон и разрушения. Всегда неспокоен воздушный океан, на дне которого мы живем. Ветры, дующие на просторах нашей страны, могли бы легко удовлетворить все ее потребности в электроэнергии! Климатические условия позволяют развивать ветроэнергетику на огромной территории — от наших за-

падных границ до берегов Енисея. Богаты энергией ветра северные районы страны вдоль побережья Северного Ледовитого океана, где она особенно необходима мужественным людям, обживающим эти богатейшие края. Почему же столь обильный, доступный да и экологически чистый источник энергии так слабо используется? В наши дни двигатели, использующие ветер, покрывают всего одну тысячную мировых потребностей в энергии.

Все дело, конечно, в непостоянстве, изменчивости ветра. Даже в языках разных народов отразилась эта особенность ветра — свыше двух тысяч названий имеет переменчивая стихия в зависимости от силы и направления. Строители парусных кораблей оснащали мачты десятками разных парусов только для того, чтобы даже малейший ветерок не пролетел мимо, а помог движению судна. И все равно — сколько трагедий на море произошло из-за того, что корабль, попав-

Разные типы современных ветроагрегатов.



ший в полосу штиля, не мог маневрировать и становился покорной игрушкой подводных течений! Сколько жизней унесли жесткие штормы, срывавшие паруса и лишившие корабль единственного двигателя!

Что же тогда говорить о ветряных мельницах, крылья которых в десятки раз меньше по площади, чем паруса даже небольшого корабля, да и с гораздо большим трудом поворачиваются, чтобы подставить лопасти ветру. Трудно было рассчитывать на продолжительную и непрерывную работу ветряка. Поэтому когда появились источники энергии, пусть менее удобные и дешевые, но зато более стабильные и надежные, использование энергии ветра значительно сократилось.

Техника XX века открыла совершенно новые возможности для ветроэнергетики, задача которой стала другой — получение электроэнергии. В начале века Н. Е. Жуковский разработал теорию ветродвигателя, на основе которой могли быть созданы высокопроизводительные установки, способные получать энергию от самого слабого ветерка. Появилось множество проектов ветроагрегатов, несравненно более совершенных, чем старые ветряные мельницы. В новых проектах используются достижения многих отраслей знания.

Современные ветряки совсем не похожи на ветряные мельницы. Это — сооружения высотой с многоэтажный дом (ведь чем выше, тем ветер сильнее), с огромными лопастями. Да и мельницами назвать их нельзя — они ничего не мелют и предназначены исключительно для производства энергии. В 1931 году в Севастополе была сооружена ветроэлектростанция мощностью 100 киловатт, ветровое колесо которой имело диаметр 30 метров. До 1942 года она исправно поставляла электроэнергию городу. В 1941—1945 годах в американском штате Вермонт работала са-

мая мощная в то время ветроэнергетическая установка мощностью 1250 киловатт, снабжавшая электроэнергией 200 квартир. Ее огромные восьмитонные лопасти имели размах более 50 метров. Вступить в схватку с таким противником не рискнул бы и бесстрашный идальго! Но в габаритах этого гиганта заключалась и его слабость: когда одна из лопастей, проработав всего 300 часов, сломалась, починка ее оказалась нерентабельной.

В наши дни к созданию конструкций ветроколеса — сердца любой ветроэнергетической установки — привлекаются специалисты-самолетостроители, умеющие выбрать наиболее целесообразный профиль лопасти, исследовать его в аэродинамической трубе. Усилиями ученых и инженеров созданы самые разнообразные конструкции современных ветровых установок.

Спроектированы ветряки с двумя лопастями, укрепленными на горизонтальной оси, и с одной лопастью, тоже расположенной горизонтально. Некоторые ветродвигатели похожи на вертикально расположенное велосипедное колесо с лопастями вместо спиц, другие — на карусель, третьи — на гусеницы танка. Словом, всевозможные комбинации из крыльев и лопастей.

Но все проекты имеют одну особенность — гигантские диаметры ветроколес, достигающие 100 метров. Это понятно: чем больше лопасти, тем легче даже самый слабый ветер сможет их вращать. Но если ветроколесо такое большое, то устанавливать его нужно на очень высокой башне — ведь иначе лопасти будут цепляться за землю. Вот эти высокие башни и стали слабым местом многих проектов ветроэлектростанций. Они подвержены сильным нагрузкам, вибрациям, не очень устойчивы. В нелегкую задачу превращается установка генератора, с помощью которого происходит превращение механической энергии вращающе-

*Турбину вращает искусственный ветер.*





*Ветровая плотина — предложение советских ученых.*

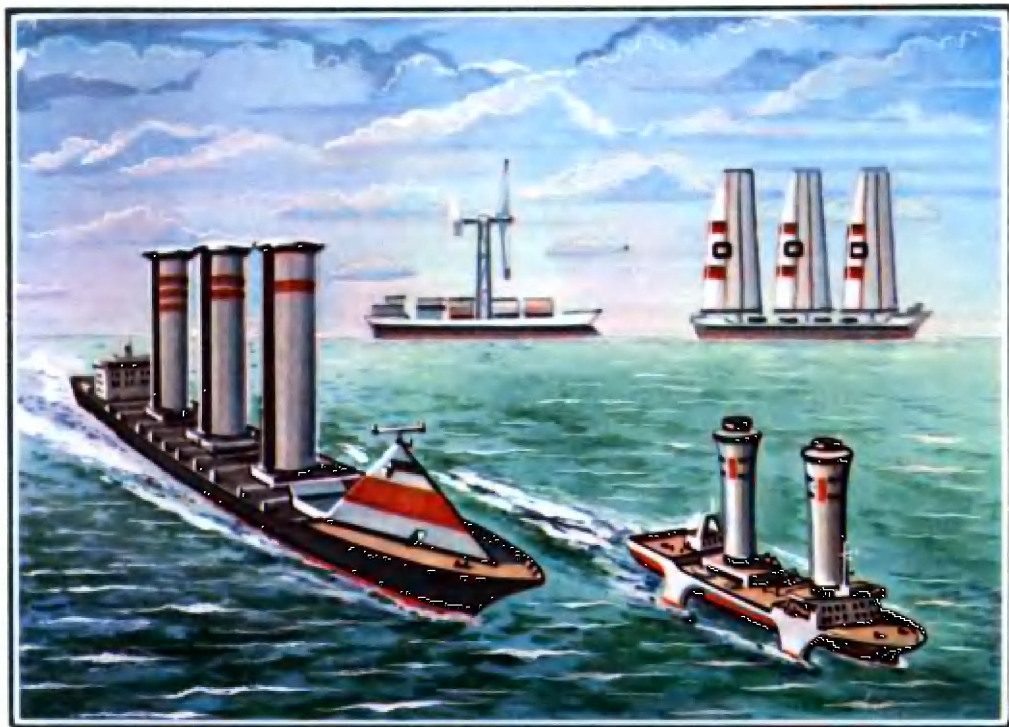


гося под действием ветра колеса в электрическую. Многотонную конструкцию приходится затаскивать на огромную высоту и там монтировать. А что, если обойтись вообще без башни?

Появились и такие предложения. Для этого конструкторы по-другому расположили ось ветроколеса — не вертикально или горизонтально, как в традиционных конструкциях, а под углом к горизонту. Что при этом получается? Во-первых, начало оси ветроколеса будет находиться на земле. Значит, всю тяжелую конструкцию генератора не нужно будет громоздить на большую высоту, он сможет быть укреплен на обычном фундаменте. Во-вторых, подшипники, в которых вращается ось ветроколеса, тоже расположатся на земле. Их можно сделать значительно более мощными и надежными, чем обычно. Значит, лопасти ветроколеса могут быть очень большими — до четырехсот метров, так что даже самый слабый ветер можно будет использовать для получения энергии.

Такие ветроколеса предлагают монтировать на огромных понтонах или судах, стоящих на якорю в открытом море. Этим достигается дополнительная выгода. Во-первых, на море ветер всегда сильнее, чем на суше. Во-вторых, закрепленное на якорю судно само устанавливается против ветра. Отпадает необходимость в сложных и дорогих устройствах, следящих за тем, чтобы ветроколесо занимало по отношению к направлению ветра самую выгодную позицию. Небольшие ветроэлектростанции такого типа уже построены. Ученые ведут исследования, необходимые для широкого использования «лежащих» башен ветроколес.

В погоне за сильным и постоянным ветром некоторые конструкторы предлагают поднять ветроагрегаты высоко над землей. Еще до войны советские изобретатели



*Современные парусники с турбопарусами.*

предложили проект ветросиловой плотины. По их замыслу, на металлическом каркасе высотой 350 метров и шириной 500 метров должны быть укреплены 224 ветродвигателя с колесами диаметром 20 метров. Такая плотина могла бы обеспечить мощность около 100 тысяч киловатт. А в еще более смелом проекте предполагается использовать энергию атмосферных течений на высоте 8—10 километров, где существуют постоянные воздушные потоки, скорость которых достигает 20—30 метров в секунду. Ветродвигатели и генераторы, по замыслу авторов проекта, должны быть доставлены в зону этих течений при помощи аэростата, прикрепленного к земле кабелями, по которым электрическая энергия, выработанная в поднебесье, будет поступать на землю. Интересный наземный проект

предложили советские ученые в отношении Кольского полуострова. По их замыслу, огромное кольцо из 238 групп ветроагрегатов, расположенных от Мурманска по берегу Баренцева моря, где ветры дуют почти круглый год, займет 1100 километров в длину и 40 километров в ширину и закончится в том же Мурманске. Электроэнергии такое ветрокольцо даст очень много.

Эти проекты рассчитаны на реализацию в далеком будущем. Вряд ли вклад энергии, полученной с помощью ветра, в общее производство промышленной энергии когда-нибудь будет достаточно весомым. Но уже сегодня ветродвигатели могут найти применение там, где энергии требуется не очень много, а других ее источников нет.

На Мархотском перевале под Новороссийском, где постоянно дуют сильные ветры, расположен





*И о таких парусниках думают конструкторы.*



полигон Всесоюзного научно-производственного объединения «Ветроээн». Здесь проходят испытания многочисленные ветроустановки самого разного назначения. Серия ветрогенераторов, способных обеспечить энергией один-два домика, успешно используется рыбаками, геологами, охотниками, животноводами. На полигоне работают и большие установки. Одна из них, с диаметром колеса 24 метра, имеет мощность 100 киловатт, а этого достаточно, чтобы снабдить энергией для освещения поселка на 400—600 жителей.

Но даже самые современные конструкции ветроагрегатов зависят от непостоянства ветра. Избавиться от капризов ветра — значит во многом облегчить его использова-

*Парус на привязи.*



ние. А может быть, научиться делать ветер самим?

Собственно, почему возникает ветер? Солнце по-разному обогревает разные участки земной поверхности — горы и долины, океаны и сушу. Возникающая при этом разность температур и давлений приводит в движение огромные воздушные массы. Возникает ветер. Так нельзя ли подогреть воздух, вызывая тем самым искусственный ветер? Ведь именно это и происходит испокон веков, когда топят печи.

В каждой трубе, идущей от печи, возникает восходящий поток воздуха, то есть ветер. Может быть, использовать его? Давайте поставим в трубу воздушную турбину и получим от нее энергию! К сожалению, неумолимый закон сохранения энергии не позволит нам осуществить этот заманчивый проект. Чтобы привести в движение турбину (это, в принципе, возможно), нужно будет сжечь дополнительное топливо, а так как коэффициент полезного действия всякой установки меньше единицы, топлива придется сжечь больше, чем мы получим энергии от турбин. А может быть, использовать даровой источник энергии — солнце?

Удивительный симбиоз солнечной и ветряной электростанции предложен учеными. В уже построенной экспериментальной установке солнце вызывает небольшой искусственный циклон, вращающий турбину. Основа этой установки — большая круглая теплица диаметром 250 метров, покрытая специальной пластиковой пленкой. Из середины теплицы поднимается двухсотметровая труба, в которой на высоте 10 метров установлен электрогенератор с воздушной турбиной. Когда солнце нагреет воздух в теплице, возникает сильная тяга, в трубе образуется мини-циклон, который закрутит турбину. Почва под пленкой нагревается в солнечные дни очень сильно; за-

паса тепла хватает и на то, чтобы поток воздуха не прекращался и в пасмурные дни. Мощность первой такой электростанции, вошедшей в строй в 1981 году, всего около 100 киловатт, но специалисты уже приступили к проектированию гораздо более мощных установок такого типа.

С непостоянством ветра можно бороться и по-другому: научиться аккумулировать энергию ветра или накапливать энергию, когда он силен (или там, где дует чаще), а потом использовать в тех местах, где это необходимо. Пока что такая задача далека от решения, хотя определенные пути уже просматриваются. Можно, например, использовать ветродвигатель не для непосредственного производства энергии, а для сжатия воздуха, закачки его под давлением в специальные хранилища. А когда ветер стихнет, сжатый воздух можно направить на лопасти турбины и получить от нее энергию. Другой способ — закачивать воду в специальный высоко расположенный резервуар, а энергию для гидронасосов получать от ветряных двигателей. Из хранилища вода будет вытекать через турбины, которые будут производить электроэнергию. Возможен и другой путь. Выработанную ветродвигателем электрическую энергию использовать, скажем, для разложения воды на кислород и водород. Это тем более удобно, что установить предназначенные для этого ветроустановки можно прямо в море, где ветры сильнее и постояннее. Но конечно, в ближайшие годы эта задача решена еще не будет. Это — задача для XXI века.

Исследователи, размышляющие о том, как использовать энергию ветра, не могли, конечно же, не вспомнить о тысячелетнем помощнике человека — парусе. Все больше и больше появляется проектов современных парусников. Некоторые из проектов осуществлены.

На просторы морей вышли необычные корабли. В начале 80-х годов с одной из верфей сошел на воду экспериментальный танкер водоизмещением около 20 000 тонн, оснащенный парусами. Но паруса эти — не традиционные, полотняные, а стальные, особой конструкции. И поднимают их не бравые матросы под аккомпанемент зычных команд боцмана, а электромоторы, управляемые электронной машиной, учитывающей силу и направление ветра, поддерживающей курс, осуществляющей связь с маяками и навигационными спутниками. На этом корабле экономится не только топливо, но и людской труд — корабль обслуживают всего несколько техников.

Известный французский ученый и исследователь моря, изобретатель акваланга Жак-Ив Кусто вместе с учеными и инженерами построил необычное судно. Оно движется ветром, но обходится... без парусов. В конструкции двигателя этого судна используется так называемый эффект Магнуса — возникновение поперечной силы, действующей на цилиндр, вращающийся в набегающем на него потоке воздуха. Экспериментальный катамаран, названный «Ветряная мельница», приводится в движение специальным турбопарусом — цилиндром-ротором, установленным на палубе. Этот цилиндр приводится во вращение двигателем и воздушным винтом, использующим энергию ветра.

Сила, возникающая при образовании разрежения вдоль ротора, приводит судно в движение.

В октябре 1983 года «Ветряная мельница» совершила попытку пересечь Атлантику между Танжером и Нью-Йорком. Попытка едва не увенчалась успехом. Турбопарус не устоял перед жестокими штормами, бушевавшими у американских берегов. Тем не менее результаты плавания оказались обнадежи-

вающими, строительство судов с турбопарусами продолжается. Ведь их применение позволит экономить при длительных морских переходах до трех четвертей топлива.

За два года неутомимый Кусто построил сестру знаменитой океанографической шхуны «Калипсо» — «Алкиону», названную так в честь мифической дочери древнегреческого бога ветров Эола. «Алкиона», помимо двух дизелей, оснащена двумя турбопарусами, которые помогают значительно экономить топливо.

Турбопаруса «Алкионы» — это овальные трубы десятиметровой высоты, вертикально укрепленные на палубе.

По всей высоте трубы имеются две стенки с дырчатыми отверстиями, через которые с помощью вентиляторов засасывается воздух. Ничего общего с обычными парусами, кроме принципа действия, а эффективность значительно выше!

13 мая 1985 года из французского порта Ла-Рошель «Алкиона» отправилась в свое первое экспериментальное плавание через Атлантику.

На борту корабля было 12 человек — ученые, инженеры, журналисты, представлявшие Францию, СССР и США.

Плавание прошло очень успешно.

Турбопаруса полностью оправдали возложенные на них надежды. Они помогли сэкономить много топлива, а на отдельных участках довольно продолжительного плавания через Атлантику до Нью-Йорка дизели вообще отключались.

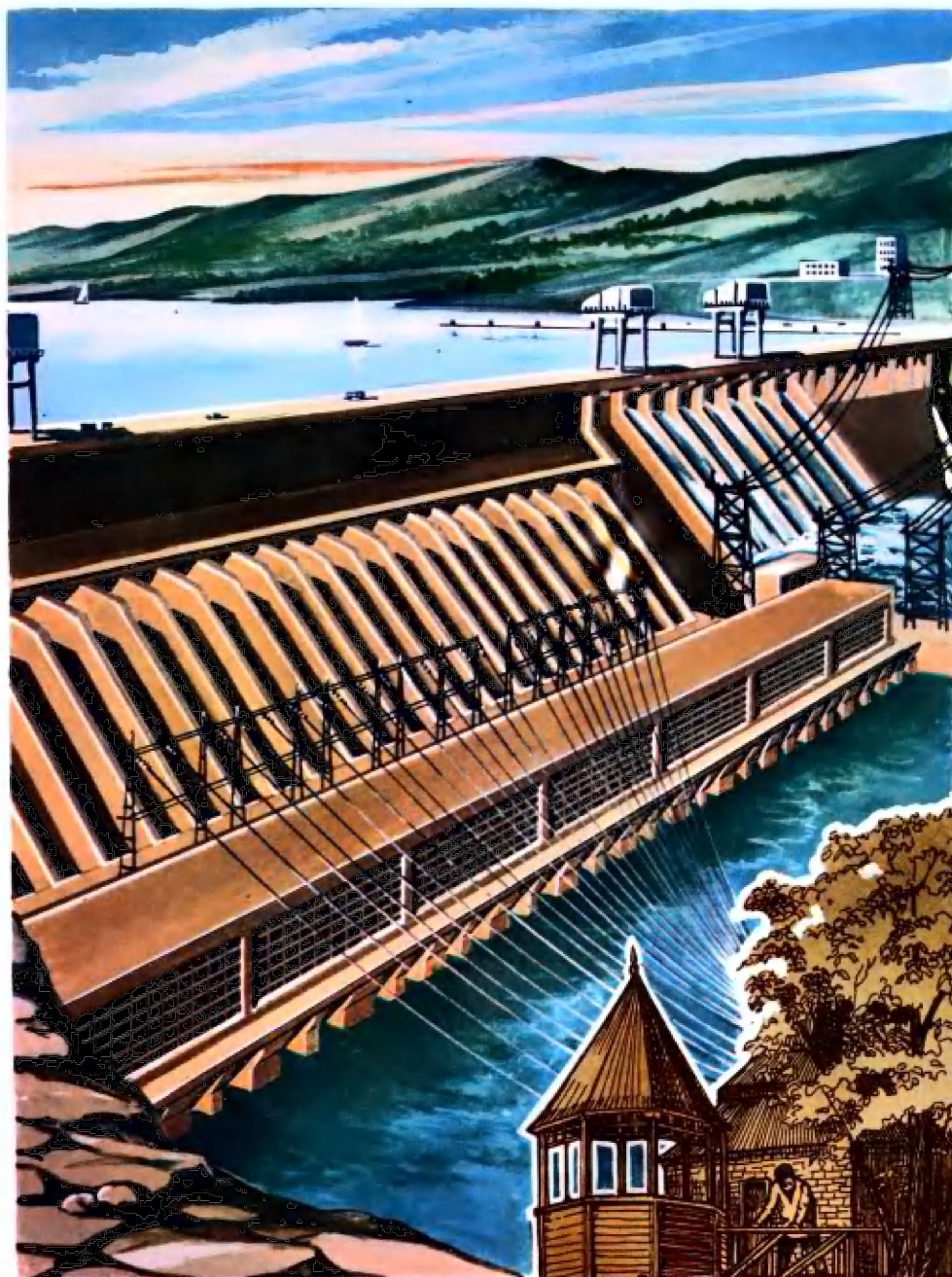
Движение судна обеспечивалось только силой ветра.

Еще одно неожиданное решение — поднять парус повыше, заменив традиционный гибридом азростата с воздушным змеем. Пластиковый воздушный змей наполняется гелием и запускается с палубы судна.

По сути, это тот же парус, но без мачты. Его преимущество: на высоте ветер дует значительно устойчивее, даже когда на поверхности морской глади царит полный штиль.

Изобретатели считают, что такой парус можно без особых сложностей использовать на судах водоизмещением до ста пятидесяти тонн.





*Водяные колеса превратились  
в могучие турбины*

---

## Глава 4

### НЕИСЧЕРПАЕМЫЙ ИСТОЧНИК

Многие тысячелетия верно служит человеку энергия, заключенная в текущей воде. Запасы ее на Земле колоссальны. Недаром некоторые ученые считают, что нашу планету правильнее было бы называть не Земля, а Вода — ведь около трех четвертей поверхности планеты покрыты водой. Огромным аккумулятором энергии служит Мировой океан, поглощающий большую ее часть, поступающую от Солнца. Здесь плещут волны, происходят приливы и отливы, возникают могучие океанские течения. Рождаются могучие реки, несущие огромные массы воды в моря и океаны. Понятно, что человечество в поисках энергии не могло пройти мимо столь гигантских ее запасов. Раньше всего люди научились использовать энергию рек.

Вот не лишенная интереса выдержка из рукописи XIII века, где описывается, как используют энергию небольшой европейской реки: «Сначала река наталкивается на мельницу... потом ее зовут к себе сукновальни, находящиеся по соседству... Опуская и поднимая тяжелые песты, или — лучше сказать — молоты, или деревянные ступы... река освобождает сукновалов от утомительной работы... Быстрое течение реки приводит

в движение большое количество водяных колес. Затем покрытая пеной река медленно движется далее... Здесь ее принимает общежитие братии, и она принимает деятельное участие в выработке того, что необходимо для обуви братии... Затем, мало-помалу распадаясь на множество рукавов, река суетливо кружится, заглядывает в отдельные мастерские, тщательно отыскивая, где имеется надобность в ее службе: при варке, просеивании, вращении, растирании, орошении и мытье».

Даже поэты не обошли своим вниманием водяные колеса, посвящали им торжественные строки:

Волне послушны, лопасти стучат  
Стоящего над берегом колосса,  
И медленно тяжелые колеса  
Вращаются, одно другому в лад.

Такое впечатление произвела большая водяная мельница — чудо техники того времени — на итальянского поэта XVII века Бартоломео Дотти.

Изобретение паровой машины, казалось бы, остановило многовековое триумфальное шествие водяных колес. Маленькие пыхтящие двигатели, которые можно было устанавливать где угодно, а не только на берегу реки, приводили в движение станки и кузнеч-



*Плотина Усть-Илимской ГЭС.*

ные молоты, лесопилки и сукновальни, покусились даже на извечное предназначение водяных колес — на орошение полей. Одно за другим шли на слом гигантские водяные колеса, казалось, многовековая история водяной энергетики близится к завершению.

Но когда наступил золотой век электричества, произошло возрождение водяного колеса, правда, уже в другом обличье — в виде водяной турбины. Электрические генераторы, производящие энергию, необходимо было вращать, а это вполне успешно могла делать вода, тем более что многовековой опыт у нее уже имелся. Можно считать, что современная гидроэнергетика родилась в 1891 году. В этом году русский инженер Михаил Осипович Доливо-Добровольский, эмигрировавший в Германию по причине «политической неблагонадежности», должен был продемонстрировать на электротехнической выставке во Франкфурте-

на-Майне изобретенный им двигатель переменного тока. Этот двигатель мощностью около 100 киловатт в эпоху господства постоянного электрического тока сам по себе должен был стать гвоздем выставки, но изобретатель решил для его питания построить еще и совершенно неожиданное по тем временам сооружение — гидроэлектростанцию. В небольшом городке Лауффен Доливо-Добровольский установил генератор трехфазного тока, который вращала небольшая водяная турбина. Электрическая энергия передавалась на территорию выставки по невероятно протяженной для тех лет линии передачи длиной 175 километров (это сейчас линии передач длиной в тысячи километров никого не удивляют, тогда же подобное строительство было единодушно признано невозможным). Всего за несколько лет до этого события виднейший английский инженер и физик Осборн Рейнольдс в своих Канторов-

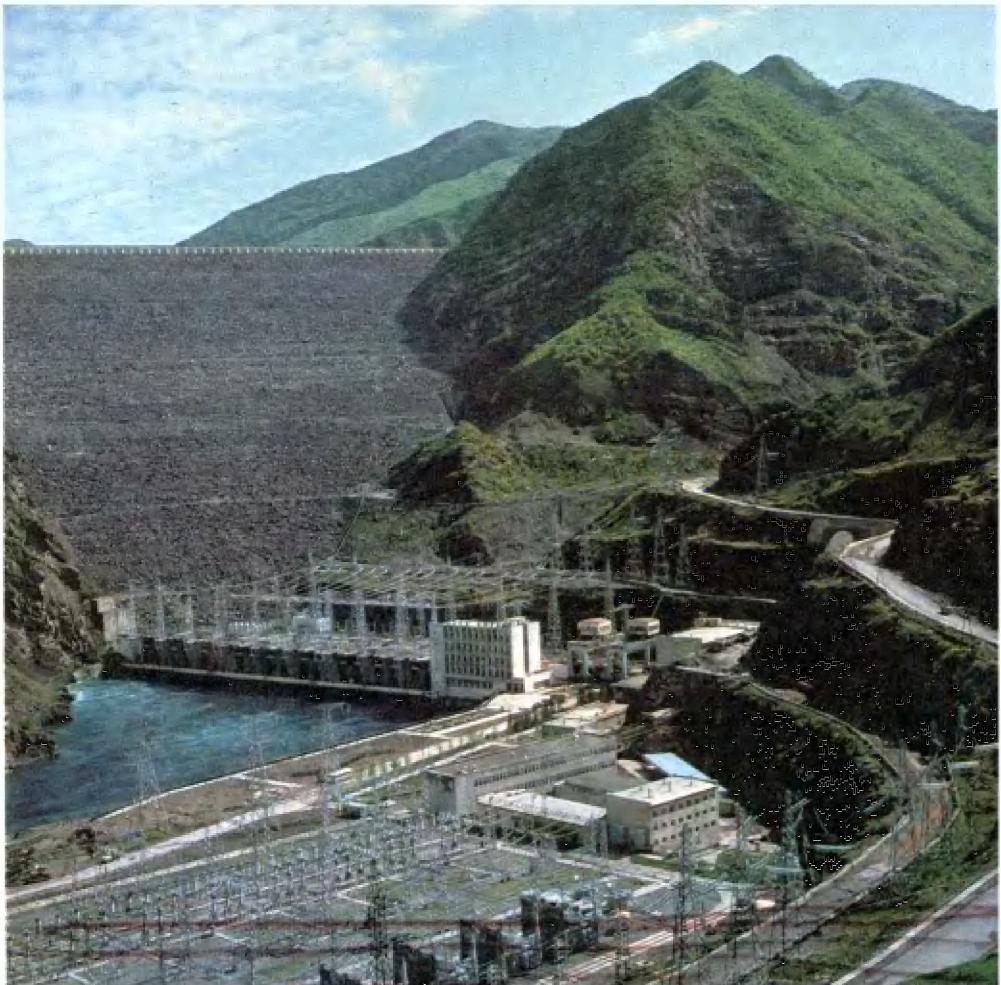


ских лекциях неопровержимо, казалось бы, доказал, что при передаче энергии посредством трансмиссии потери энергии составляют всего лишь 1,4% на милю, в то время как при передаче электрической энергии по проводам на такое же расстояние потери составят 6%. Опираясь на данные опытов, он сделал вывод о том, что при использовании электрического тока на другом конце линии передачи вряд ли удастся иметь более 15—20% начальной мощности. В то же время, считал он, можно быть уверенным в том,

что при передаче энергии приводным тросом сохранится 90% мощности. Этот «неоспоримый» вывод был успешно опровергнут практикой работы первенца гидроэнергетики в Лауффене.

Но эра гидроэнергетики тогда еще не наступила. Преимущества гидроэлектростанций очевидны — постоянно возобновляемый самой природой запас энергии, простота эксплуатации, отсутствие загрязнения окружающей среды. Да и опыт постройки и эксплуатации водяных колес мог бы оказать немалую

*Одна из крупнейших гидроэлектростанций страны — Нурекская ГЭС.*





*Здание и плотина Нурекской ГЭС.*

помощь гидроэнергетикам. Однако постройка плотины крупной гидроэлектростанции оказалась задачей куда более сложной, чем постройка небольшой запруды для вращения мельничного колеса. Чтобы привести во вращение мощные гидротурбины, нужно накопить за плотинной огромный запас воды. Для постройки плотины требуется уложить такое количество материалов, что объем гигантских египетских пирамид по сравнению с ним покажется ничтожным. Поэтому в начале XX века было построено всего несколько гидроэлектростанций. Вблизи Пятигорска, на Северном Кавказе на горной реке Подкумок успешно действовала довольно крупная

электростанция с многозначительным названием «Белый уголь». Это было лишь началом.

Уже в историческом плане ГОЭЛРО предусматривалось строительство крупных гидроэлектростанций. В 1926 году в строй вошла Волховская ГЭС, в следующем — началось строительство знаменитой Днепровской. Дальновидная энергетическая политика, проводящаяся в нашей стране, привела к тому, что у нас, как ни в одной стране мира, развита система мощных гидроэлектрических станций. Ни одно государство не может похвастаться такими энергетическими гигантами, как Волжские, Красноярская и Братская, Саяно-Шушен-





*Скалолазы-монтажники на строительстве Рогунской ГЭС.*

ская ГЭС. Эти станции, дающие буквально океаны энергии, стали центрами, вокруг которых развились мощные промышленные комплексы.

Но пока людям служит лишь небольшая часть гидроэнергетического потенциала земли. Ежегодно огромные потоки воды, образовавшиеся от дождей и таяния снегов, стекают в моря неиспользованными. Если бы удалось задержать их с помощью плотин, человечество получило бы дополнительно колоссальное количество энергии.

В последнее время у гидростроителей появились новые возможности. Изогранные проекты, строительные материалы, углубление понимания процессов, протекающих при эксплуатации плотины (основного сооружения гидроэлектростанции), дали возможность приступить к строительству самых монументальных сооружений нашего века — высотных плотин, которые позволяют использовать энергию

ранее недоступных водных потоков — горных и предгорных рек. На реке Вахш в Таджикистане построена грандиозная плотина Нурекской ГЭС — высота ее составила 300 метров. Еще выше — 320 метров — будет плотина Рогунской ГЭС в том же районе. Нужно иметь в виду, что строительство этих гигантских плотин осуществлено в районе с повышенной сейсмичностью. Это потребовало от советских гидроэнергетиков — признанных мировых лидеров в этой отрасли техники — принципиально новых решений.

И все же энергия рек, видимо, не сможет полностью обеспечить энергией потребности будущего общества. Специалисты считают, что всего через сто с небольшим лет практически все энергетические ресурсы крупных и даже не очень крупных рек будут задействованы. Но даже в этом случае гидроэлектростанции дадут не более пятой части энергии, которая по



прогнозам потребуется тогда человечеству.

Но возможно, на многие тысячелетия потребности человечества в энергии могли бы быть удовлетворены, если бы мы научились извлекать ее из гигантского природного аккумулятора — Мирового океана. И ученые настойчиво ищут пути использования этих колоссальных ресурсов.

Солнце нагревает воздух и вызывает ветры, волнующие поверхность океана. Оно же нагревает воду, накапливающую тепловую энергию. Солнечное и лунное притяжение вызывают приливы и отливы, периодически перемещающие огромные массы воды. В океане текут могучие реки — течения, практически постоянные по направлению. Наконец, каждая молекула воды содержит два атома водорода — великолепного топлива. Океан — средоточие механической, тепловой и химической энергии, источник вечный и неиссякаемый. Поэтому тысячи исследователей в десятках лабораторий мира ищут пути извлечения этой энергии из океана и превращения ее в удобные для использования виды, в основном путем преобразования в электрическую. Некоторые проекты близки к практической реализации, другие больше напоминают пока страницы из научно-фантастических романов, но мы уже неоднократно становились свидетелями того, как осуществляются самые дерзновенные замыслы ученых. Рассмотрим же некоторые проекты, которые, по-видимому, смогут быть реализованы в XXI веке.

Могущественный древний король Канют, монарх Норвегии, Дании и Англии, готовился к торжественному и совершенно необходимому ритуалу — ему предстояло остановить океанские воды, накатывающиеся на берег. Он облачался в королевские одежды, брал в руки скипетр, садился на трон,

который устанавливали на носилки, и приказывал своим подданным нести его на берег. Там он дожидался, пока прилив достигал высшей точки. Только тогда поднимал он свой скипетр и грозно повелевал океанским волнам: «Остановитесь! Ступайте назад!» Волны послушно отступали. Неизвестно, верил ли король Канют в свою власть над водами или просто использовал наблюдения за строгой периодичностью приливов и отливов, но для него и его придворных — людей, живших более тысячи лет назад, происхождение приливов и отливов, видимо, было совершенно загадочным.

Многие века задумывались люди над тем, что заставляет могучие воды океана с точностью хронометра дважды в сутки подниматься и опускаться. В числе других гениальных догадок эллинских ученых имеется и попытка объяснить чудо приливов притяжением Луны. Никаких научных оснований для этого вывода у них, конечно, не было. В средние века некоторые были убеждены, что приливы происходят из-за того, что ангел небесный опускает ногу в воды океана. Только теория всемирного тяготения, предложенная Ньютоном, смогла правильно истолковать загадочное явление и подтвердить догадку греческого ученого Павсания.

Именно притяжение Солнца и Луны создает гигантскую приливную волну. Энергия, которую несет с собой эта волна, колоссальна. Приливная волна Индийского океана катится на 250 километров против течения Ганга, а приливная волна Атлантического океана распространяется по могучей Амазонке на 900 километров! В некоторых местах высота ее достигает 18—20 метров. Трение приливной волны о дно берега затормаживает даже вращение Земли. Разумеется, за время жизни одного поколения это торможение совершенно неощутимо, но за миллионы лет счет вре-



Схема образования приливной волны.

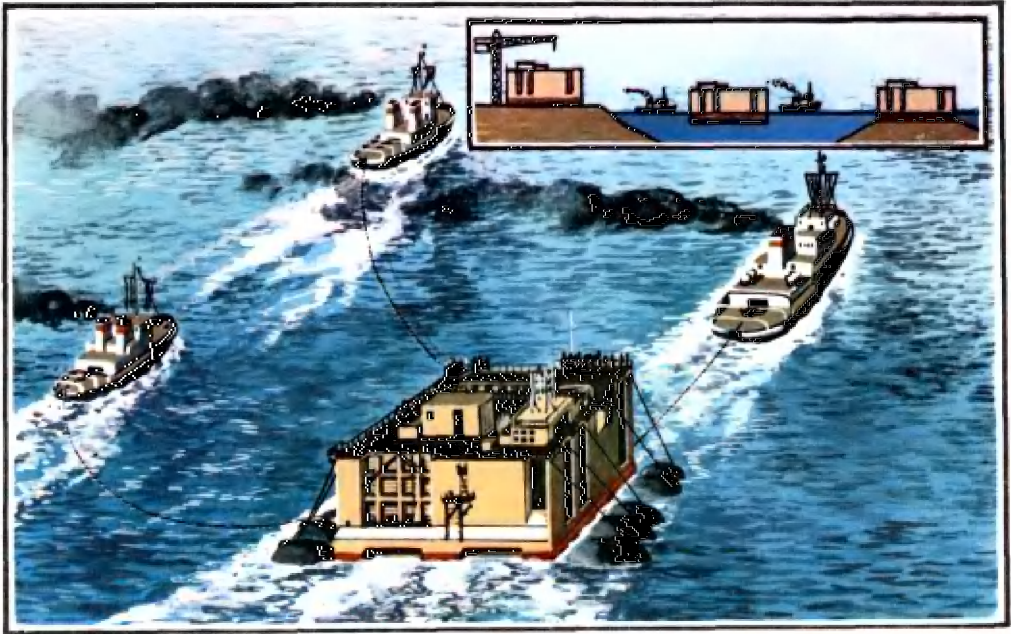
мени пойдет уже не на секунды. За последние 400 миллионов лет длина земных суток из-за этого торможения увеличилась на целых два часа — с 22 до 24 часов. Именно по торможению вращения Земли удалось подсчитать общий энергетический потенциал прилива — 1,7 миллиарда киловатт, из которых примерно одна треть приходится на долю морского прилива у берегов. Пренебрегать таким источником энергии мы просто не имеем права.

Первыми догадались использовать эту энергию мельники. В устьях рек, где прилив особенно высок, они строили дамбы, создавая резервуары для накопления воды, вращающей потом водяные колеса. Приливные мельницы были широко распространены в Англии, Франции, Голландии. Сохранилась жалованная грамота Ивана Грозного, в которой упоминается о приливных мельницах, построенных Никитой Павловым на берегу Белого моря в Усть-Золотице, а потом и в других местах. Во второй половине XVI века система водоснабжения Лондона осуществлялась громадными водяными колесами, вращаемыми силой прилива.

По-настоящему задумались инженеры об использовании силы прилива в нашем веке, когда появились не только способы превращать приливную энергию в механическую, но и были освоены способы превращения механической энергии в электрическую.

В 1935 году американцы предприняли попытку построить мощную приливную электростанцию в заливе Пассамакводди. В проекте предусматривалось компенсировать основной недостаток приливной энергии — ее цикличность (ведь прилив будет вращать турбину в одном направлении, отлив — в другом, а между циклами неизбежна пауза, когда турбина вообще остановится) — созданием огромного бассейна, в который вода должна была закачиваться во время самого высокого прилива, а затем постепенно использоваться для вращения турбин во время паузы. Уже вскоре стало ясно, что строительство электростанции обойдется баснословно дорого — почти вчетверо дороже, чем строительство обычной станции. Через полгода после начала строительства было прекращено.

Исследования советских ученых



*Буксировка здания приливной электростанции от места постройки.*

показали, что не цикличность приливов привела к неудаче строительства приливной электростанции, а неправильная концепция их использования. Ничего не поделаешь с тем, что энергия приливов неравномерна. Нужно только правильно поставить задачу и не требовать непрерывной работы приливной электростанции с одной и той же мощностью.

Наши ученые предложили использовать приливную энергию для того, чтобы компенсировать неизбежные перепады в энергопотреблении, весьма значительные в зависимости от времени суток. Если создать связку речной гидроэлектростанции с приливной, то в паре они смогут обеспечить равномерное производство энергии. Когда прилив высок, гидроэлектростанция сможет уменьшить производство энергии, а сэкономленная в водохранилище вода будет использована в период слабых приливов. А в то время, когда наступит пауза между приливом и отливом,

нагрузку возьмет на себя речная станция. Эта концепция советских ученых получила всеобщее признание.

В 1968 году заработала первая крупная приливная электростанция. В устье французской реки Ранс, вблизи города Сен-Мало, дали ток 24 турбины мощностью 10 тысяч киловатт каждая. Эта электростанция, безупречно работающая уже два десятка лет, послужила прекрасным испытательным полигоном.

Опыт строительства и эксплуатации электростанции «Ранс» должен был быть использован в проекте «Шозе», где предполагалось построить электростанцию такого типа, но в десятки раз более мощную. Для этой электростанции должна была быть построена плотина длиной более 75 километров. Но проектирование было прекращено — строительство оказалось слишком дорогим. Дальнейшее развитие приливных электростанций уперлось в барьер экономической



эффективности. Преодолеть его сумели советские специалисты.

Летом 1968 года от мыса Притыка вблизи Мурманска отошел необычный караван. Могучие буксиры тащили за собой понтоны, а на них располагалось здание приливной электростанции. Караван благополучно прошел почти сто километров по Кольскому заливу и доставил свой груз в губу Кислую, где здание со смонтированными в нем гидроагрегатом и технологическим оборудованием поставили на заранее подготовленное основание.

Этот наплавной метод строительства приливных электростанций во всем мире известен под названием «советский». Преимущества его огромны. Во-первых, строительство электростанций ведется не в суровых условиях морского побережья, а во вполне благоприятной заводской обстановке где-нибудь в приморском промышленном центре. Готовые блоки по морю переправляются к месту своей будущей работы. Во-вторых, отпадает надобность в устройстве перемычек, которыми при строительстве от моря отсекается залив, предназначенный выполнять роль бассейна будущей приливной электростанции.

При строительстве электростанции «Ранс», которая возводилась прямо на месте ее будущей работы, почти четвертая часть средств ушла на устройство перемычки и осушение котлована для машинного зала.

Советский метод строительства приливных электростанций наплавным способом привел к тому, что стоимость одного киловатта мощности (одна из самых важных экономических характеристик любого источника энергии!) даже у экспериментальной Кислогубской ПЭС лишь ненамного превысила стоимость киловатта, полученного привычными способами.

В СССР разрабатываются проекты гигантских приливных электро-

станций. Если отсечь плотиной длиной 86 километров восточную часть Мезенского залива Белого моря, мощность построенной здесь электростанции превысит 15 миллионов киловатт. А в южной части Охотского моря можно отсечь 37-километровой плотиной Тугурский залив и построить ПЭС мощностью 8 миллионов киловатт, которая будет работать вместе с гидроэлектростанцией на реке Бурее.

Самые большие перспективы открываются в другом заливе Охотского моря — Пенжинском. Этот залив можно полностью перегородить плотиной длиной 75 километров в створе мысов Дальний и Поворотный. Придет время, и построенная здесь приливная электростанция достигнет мощности 100 миллионов киловатт!

Конечно, чтобы возвести такие электростанции, ученым и инженерам придется решить много сложных задач. Одна из них — строительство гигантских морских плотин. Намного упростить их сооружение поможет метод, разработанный советскими специалистами. Взрыв цепочки концентрированных зарядов, расположенных в глубоких скважинах, приподнимет морское дно на нужную высоту и образует плотину. Опыт мирных взрывов в нашей стране накоплен огромный — достаточно вспомнить, как взрыв 5000 тонн взрывчатки возвел огромную противоселевую плотину вблизи Алма-Аты.

Немало сложностей придется преодолеть инженерам и при разработке и изготовлении тысяч гидроагрегатов нового типа, совсем непросто построить и доставить на место сотни достаточно громоздких блоков. Все эти проблемы, однако, технически разрешимы.

Более сложными могут оказаться экологические проблемы. В принципе приливные электростанции не загрязняют окружающую среду, но они могут оказать влияние на ход приливов. Что при

этом произойдет? Этот вопрос требует глубокого изучения. Некоторые экологи утверждают, что гигантские дамбы могут поднять высоту приливов на 15—20 сантиметров. Это, в свою очередь, грозит затоплением многих отлогих участков побережья. Другие специалисты уверены, что ничего подобного не произойдет — турбины электростанции как раз используют этот избыток воды. Во всяком случае, думать об экологии приливных электростанций необходимо.

Когда появились первые проекты приливных электростанций, многие специалисты утверждали, что их сооружение — просто дорогостоящий каприз. Но работы советских ученых и инженеров, опыт эксплуатации первых станций наглядно показали, что приливная энергетика — вполне реальное дело. По некоторым оптимистическим оценкам специалистов, электростан-

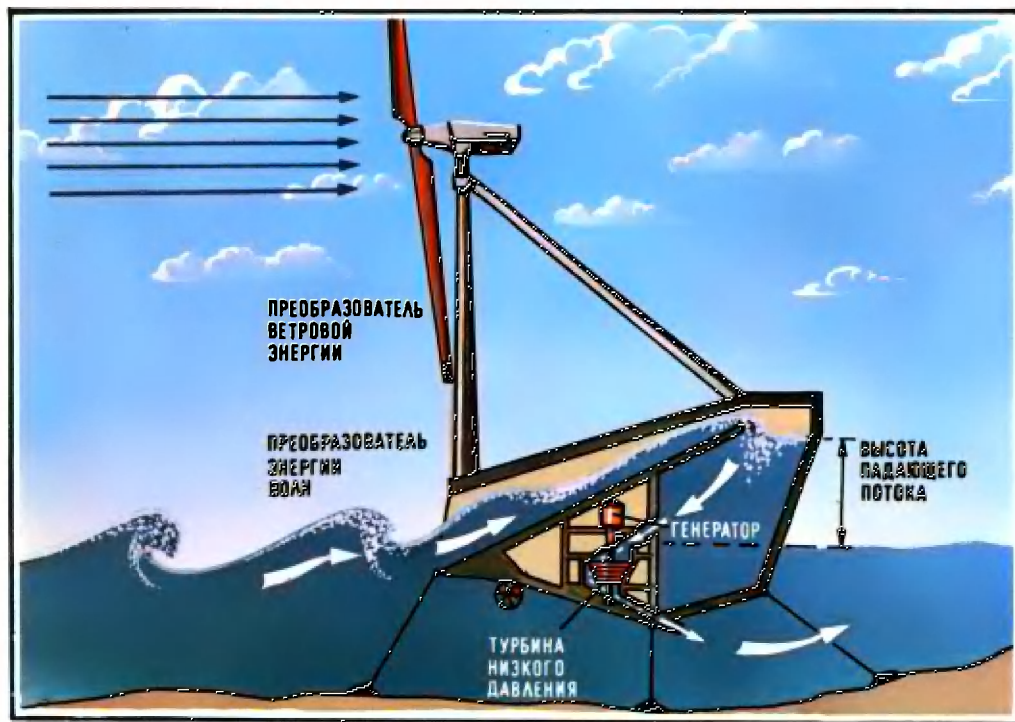
ции, использующие энергию приливов, уже скоро смогут дать человечеству заметную часть необходимой энергии.

Поговорим теперь немного о тех видах океанической энергии, которыми Советский Союз сравнительно небогат из-за своего географического положения. И тем не менее своей вклад в решение глобальных проблем энергетики использование этих источников энергии может внести.

Уже много лет размышляют специалисты над проблемой использования энергии волн, рожденных ветром и морем. Особенно интенсивно такие исследования ведутся в островных странах — в Великобритании и Японии. Число энтузиастов, старавшихся найти способ преобразования энергии морских волн, было столь велико, что только в Великобритании к 1980 году было запатентовано около 340 устройств,

*«Нырок» Солтера.*





*Электростанция, которая одновременно использует энергию ветра и энергию прилива.*

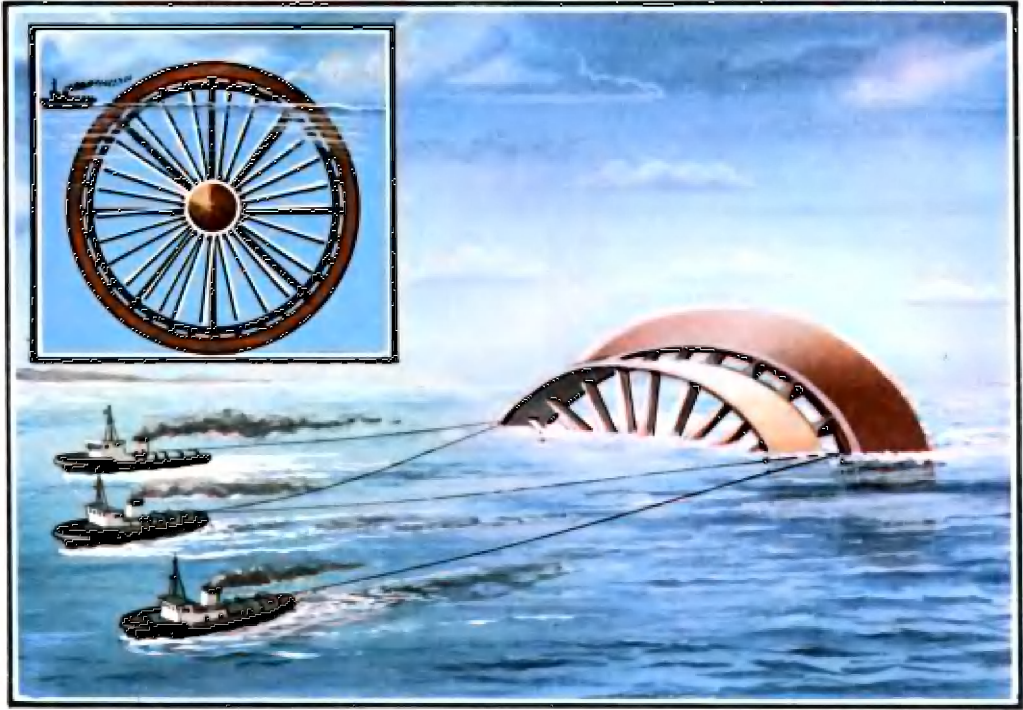
перерабатывающих энергию волн. Однако ни одно из этих устройств не получило практического воплощения — слишком много недостатков обнаруживалось при попытках реализации замыслов изобретателей. К настоящему времени осталось всего несколько конструкций, усовершенствованием которых занимаются ученые и инженеры.

Одна из таких конструкций, получившая название «нырок», разработана профессором физики Эдинбургского университета Стефаном Солтером. Первая из построенных им моделей напоминала продолговатую каплю, покачивающуюся в воде, словно ныряющая утка, чем и объясняется название устройства. «Нырок» поднимается и опускается вместе с волнами, при этом он приводит в действие насос. Насос качает воду, которая вращает турбину, и генератор производит электрический ток. Испытания пер-

вых моделей прошли успешно. Сейчас готовятся испытания устройств в их натуральном масштабе. В готовом виде волновая электростанция будет состоять из многочисленных стальных и цементных ячеек, каждая размером с дом. В открытом море волны приведут в действие гигантские гидравлические насосы, вода под давлением поступит в электрогенератор, который будет вырабатывать энергию, передаваемую на берег по подводному кабелю. По расчетам авторов проекта, с одного метра цепи, состоящей из таких поплавков, можно будет получать от 30 до 50 киловатт электроэнергии. Цепь длиной в 480 километров выработает столько энергии, сколько производят ее сейчас все электростанции Великобритании.

Несколько лет назад приступили к испытаниям еще одной конструкции, предназначенной для исполь-





*Установка турбины по проекту «Кориолис».*

зования энергии морских волн. Это устройство представляет собой плот, состоящий из трех шарнирно соединенных между собой понтонов. Понтоны, повторяя движения волнующейся водной поверхности, приводят в движение гидравлические устройства, которые, в свою очередь, соединены через гидросистему с генератором. По оценкам авторов проекта, одиночный плот размером 50 на 100 метров способен произвести 2 тысячи киловатт электроэнергии. Предполагается создать цепь таких плотов в бурном море вблизи берегов Шотландии. Цепь длиной 25 километров, по предположениям ученых, сможет развить мощность до 500 тысяч киловатт. Это близко к мощности Днепрогэса.

Первыми создателями действующих устройств, преобразующих энергию волн в электрическую, были японские инженеры. Они со-

здали портовые бакены, или буи, которые светили, используя электричество, рожденное энергией волн. Волновая энергия преобразовывалась в электрическую либо посредством длинных вертикальных стержней, приводимых в движение волнами, либо посредством механизмов маятникового типа, раскачиваемых волнами. Сейчас сотни таких бакенов, установленных в разных местах океана, указывают путь кораблям светом, рожденным волновой энергией. Разрабатываются в Японии и проекты крупномасштабных волновых электростанций. В основу их положен принцип использования воздуха, который сжимается подвижными частями электростанции под действием волн, а потом приводит в движение воздушную турбину, вращающую электрогенератор.

Заманчивой кажется и идея использования энергии морского при-

боя, особенно сильного в Северной Атлантике. Некоторая часть этой огромной энергии должна вскоре начать использоваться у берегов Норвегии. Прибойная электростанция, по замыслу норвежских инженеров,— это устойчивое бетонное сооружение с открытой в сторону моря камерой, в которую попадают волны прибоя. Под водой у камеры имеется широкое отверстие, выходящее в вертикальную бетонную шахту, в верхней части которой установлена воздушная турбина.

Накатывающаяся вода заполняет камеру, уровень воды в шахте повышается, а когда вода спадает — понижается. Поверхность воды в шахте становится своеобразным поршнем, который движется и прогоняет воздух через турбину. Хотя поток воздуха все время меняет направление, конструкция турбины такова, что направление ее вращения от направления потока воздуха не зависит. Как обычно, турбина вращает электрогенератор. Задача решена — механическая энергия прибоя превратилась в удобную для использования электрическую.

Мощность экспериментального блока — 400 киловатт. Если его эксплуатация окажется успешной, ничего не препятствует постройке целой цепи таких блоков, которые смогут производить большие количества энергии.

Все подобного рода экспериментальные установки пока еще очень несовершенны. Неясно, можно ли вообще создать мощную волновую электростанцию? Как она будет себя вести при шторме? Может быть, генераторы не выдержат сильных волн? Абсолютно неясно, существуют ли материалы, способные долгое время выдерживать воздействие морской воды, не подвергаясь коррозии,— ведь необходимость в частой замене проржавевших узлов может оказаться экономически невыгодной. В общем, вопросов пока больше, чем ответов. Остается лишь надеяться, что уси-

лия ученых принесут плоды и огромная энергия морских волн перестанет расходоваться впустую, не внося своего вклада в мировой энергетический баланс.

Есть еще один источник энергии, заключенной в океане, который будоражит воображение изобретателей. Это — энергия морских течений, могучих рек в океане, несущих невообразимые массы воды. Крупнейшие из них — Гольфстрим и Куроисио — несут, соответственно, 83 и 55 миллионов кубических метров воды в секунду. С точки зрения энергетики, это означает примерно 3 миллиарда неиспользованных киловатт! Трудно пройти мимо столь обильного и постоянного источника энергии. Проекты использования энергии морских течений на благо людей не заставили себя ждать.

Существование океанских течений отметил еще Христофор Колумб. В своем плавании к берегам Южной Америки он попал в полосу быстрого западного течения. Тогда великий путешественник сделал в своем дневнике примечательную запись: «Я считаю доказанным, что воды морей, как и небеса, движутся с востока на запад». Но еще много веков причины возникновения устойчивых течений в океане оставались невыясненными. Только в 1835 году Гаспар Густав де Кориолис, знаменитый французский математик и механик, опубликовал работу, в которой вывел уравнения, описывающие влияние вращения Земли на возникновение воздушных и водных течений, и обнаружил существование неизвестных ранее сил, названных кориолисовыми. В честь Кориолиса получил имя разрабатываемый в США проект использования энергии американской части Гольфстрима — Флоридского течения.

Это течение несет в пятьдесят раз больше воды, чем все реки мира. Да и скорость его довольно приличная — свыше 8 километров

в час. Ученые подсчитали: если удастся извлечь хотя бы 4% заключенной в течении энергии, мощность станции могла бы составить один-два миллиона киловатт.

По проекту «Кориолис» у побережья Флориды должны быть установлены десятки гигантских труб, размером с городской квартал с заключенными в них водяными турбинами. Заякоренные на небольшой глубине, они смогут так же непрерывно, как постоянно само течение, вырабатывать электроэнергию, которой, по расчетам авторов проекта, должно хватить для удовлетворения всех нужд штата. Экологически этот способ получения энергии совершенно чист, окружающая среда не загрязняется. Высказывались опасения, что из-за работы турбин в океане могут возникнуть огромные волны, но исследования показали, что волны не превысят обычных. Конечно, трудности осуществления проекта — и технические, и экономические — огромны. Изобретатели, однако, не теряют оптимизма.

Возможно, в недалеком будущем пройдут первые эксперименты на небольших моделях агрегатов. «Мини-Кориолисы» предполагается установить у берегов Австралии, в Торресовом проливе, где скорость морского течения составляет 15 километров в час. Подводные турбины диаметром около шести метров и мощностью 400 киловатт послужат хорошей моделью, на которой изобретатели смогут отработать основные узлы будущих турбин-гигантов.

Не только механической энергией — энергией приливов, морских течений и волн — богат океан. Это — самый большой на Земле аккумулятор тепловой энергии. На поверхности океана в тропиках вода нагрета до 20—25°C. В глубине она гораздо холоднее. А если есть разность температур, значит, есть и возможность получения энергии. Поэтому в последние годы по-

явились проекты извлечения из океана и этой энергии.

Собственно, никаких новых проблем использование тепла океана не ставит. Более ста лет назад французский физик д'Арсонваль предложил использовать имеющуюся в океане разность температур для получения энергии. Принцип действия морской тепловой электростанции прост: теплая океанская вода направляется в теплообменник, в котором испаряется какая-либо низкокипящая жидкость (д'Арсонваль предложил использовать в качестве такой жидкости аммиак, температура кипения которого всего 33,3°C). Пары аммиака вращают турбину, вырабатывающую электроэнергию, а потом поступают в другой теплообменник, в который подается холодная вода с тысячеметровой глубины, где ее температура всего 5°C. Пары аммиака конденсируются, аммиак вновь поступает в первый теплообменник. Цикл повторяется.

Казалось бы, все довольно просто, но технические трудности в осуществлении такого проекта оказались немалыми. Совсем не просто изготовить теплообменник для столь небольшой разницы температур, нелегко поднять воду с большой глубины, сложно передать энергию на берег.

Тем не менее еще в 1929 году соотечественник д'Арсонваля Жорж Клод совершил первую попытку извлечь тепловую энергию океана и преобразовать ее в электрическую. Чтобы не задумываться над проблемой передачи энергии на сушу, Клод построил свою электростанцию на берегу залива Матансас на Кубе. Это была станция, работающая в так называемом открытом цикле: нагретая морская вода использовалась для приведения в действие паровой установки, а затем сбрасывалась обратно в океан. Открытый цикл очень усложнял установку — ведь чтобы



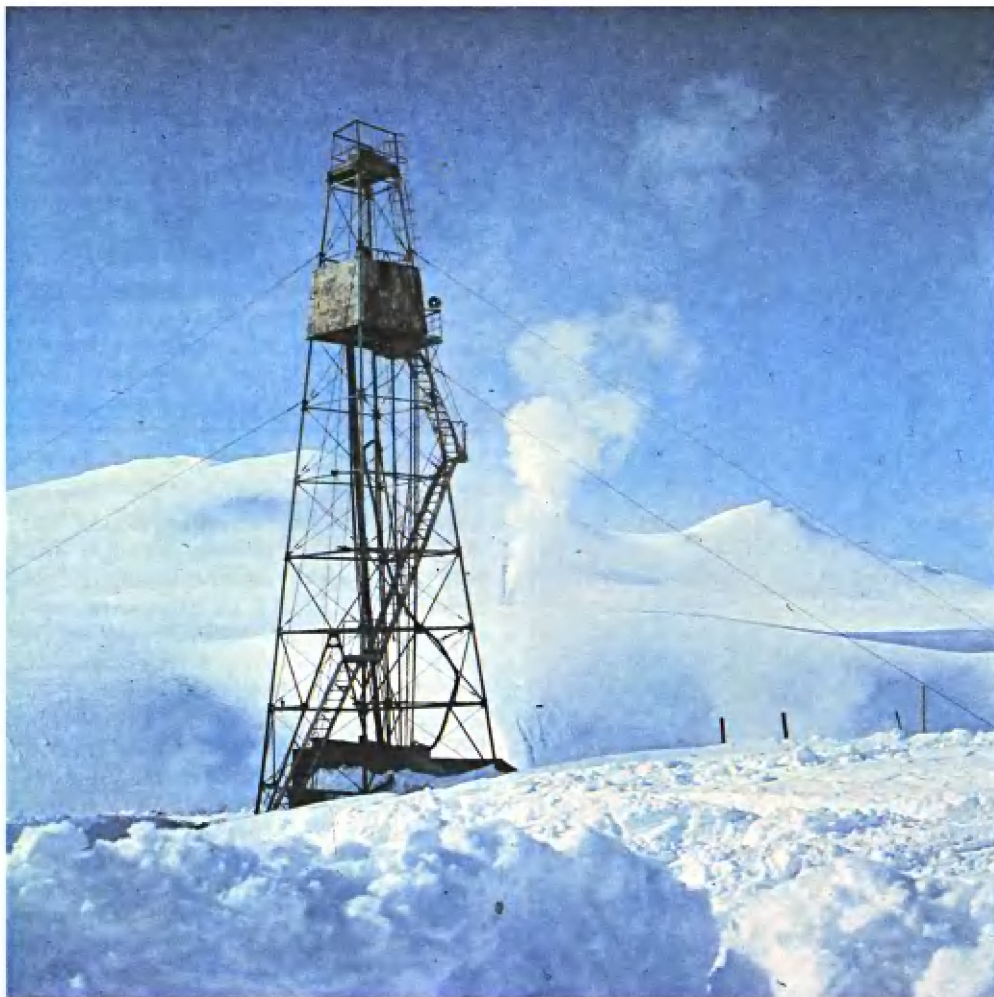


Схема и внешний вид электростанции «ОТЕК»

превратить воду в пар при низкой температуре, нужно создать вакуум (при нормальном давлении, как известно, вода кипит примерно при  $100^{\circ}\text{C}$ , и температура кипения снижается только с падением давления). Изобретателю удалось пре-

одолеть затруднения, и первая электростанция, использующая тепловую энергию океана, вскоре дала ток. Мощность ее составила 22 киловатта, но чтобы ее получить, приходилось тратить 80 киловатт на работу вакуум-насоса и насосов, подающих холодную воду по трубе длиной два с половиной километра. Но цель изобретателя была достигнута: энергию получить удалось! Дальнейшему совершенствованию установки помешала авария — во время шторма была повреждена и унесена в море труба для подачи холодной воды. Эксперимент пришлось прекратить. Впоследствии Клод сделал еще несколько попыток построить энергетические установки, использующие теплую воду тропических морей. Все они завершились неудачей. Только в наши дни, используя достижения науки и техники, возобновились попытки использовать тепловую энергию океана. Специалисты разных стран объединились для разработки и выполнения обширной программы исследований, получившей название «ОТЕК».

С августа по ноябрь 1979 года вблизи Гавайских островов производилась пробная эксплуатация установки «Мини-ОТЕК» мощностью 50 киловатт. В ней в качестве теплоносителя использовался жидкий пропан, а в качестве привода гене-



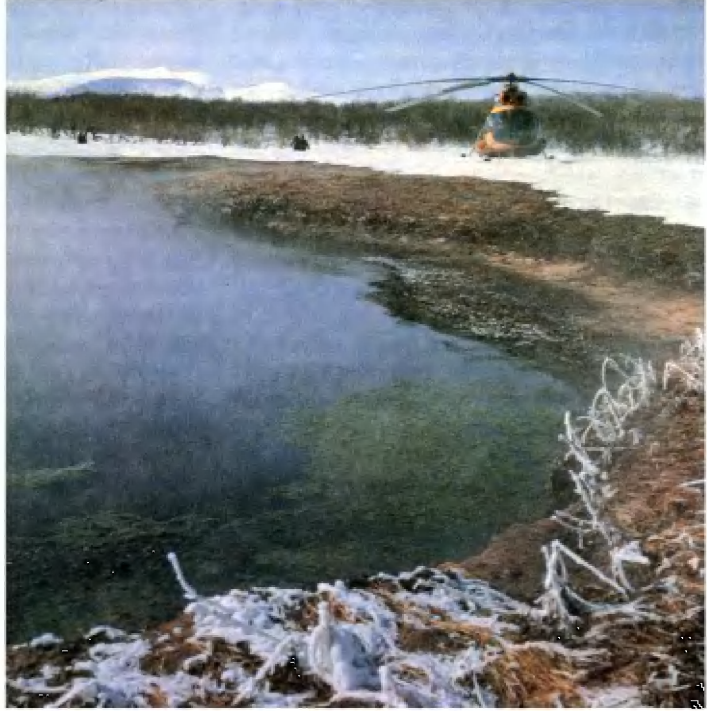
*Мутновская скважина на Камчатке. Здесь будет построена Мутновская геотермальная электростанция.*

ратора — турбина высокого давления. Эти усовершенствования дали возможность существенно превзойти результат Жоржа Клода. Испытания малютки прошли вполне удовлетворительно, и новая станция, «ОТЕК-1», мощностью уже тысячу киловатт готовится к спуску на воду. Испытания этой станции должны продолжаться три года. Исследователи хотят выяснить, не будут ли портиться теплообменники, которые невозможно предохранить от попадания водорослей и микро-

скопических обитателей океана — бактерий.

А пока разрабатываются конструкции уже гораздо более мощных станций, пригодных для промышленного производства энергии таким способом. Разрабатываются и различные методы использования полученной энергии — от передачи ее на землю по подводному кабелю до применения ее на месте для получения водорода или аммиака.

Предлагаются и совсем экзоти-



*Термальные источники вблизи камчатского вулкана Ходутка.*



*Теплицы совхоза «Термальный» обогревает тепло Мугновской скважины.*



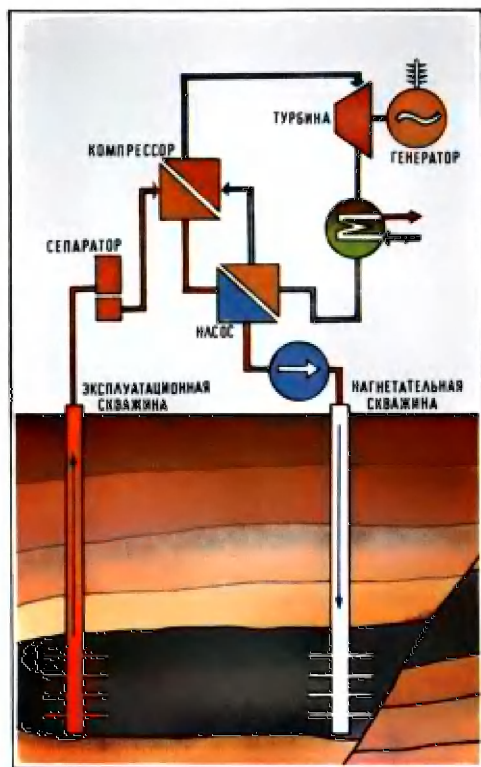
ческие проекты. В одном из них рассматривается, например, возможность установки электростанции прямо на айсберге. Холод, необходимый для работы станции, можно получать ото льда, а полученная энергия используется для передвижения гигантской глыбы замороженной пресной воды в те места земного шара, где ее очень мало, например в страны Ближнего Востока.

Другие ученые предлагают использовать полученную энергию для организации морских ферм, производящих продукты питания.

Взоры ученых постоянно обращаются к неисчерпаемому источнику энергии — океану.

Океан, выпестовавший когда-то саму жизнь на Земле, еще не раз послужит человеку добрым помощником.

Схема «подземной коцегарки».



Но не только океан хранит огромные запасы энергии. Не меньшее ее количество содержится в земных недрах.

Издавна люди знают о стихийных проявлениях гигантской энергии, таящейся в недрах земного шара. Память человечества хранит предания о катастрофических извержениях вулканов, унесших миллионы человеческих жизней, неузнаваемо изменивших облик многих мест на Земле. Мощность извержения даже сравнительно небольшого вулкана колоссальна, она многократно превышает мощность самых крупных энергетических установок, созданных руками человека. Правда, о непосредственном использовании энергии вулканических извержений говорить не приходится — нет пока у людей возможностей обуздать эту непокорную стихию, да и, к счастью, извержения эти достаточно редкие события. Но это проявления энергии, таящейся в земных недрах, когда лишь крохотная доля этой неисчерпаемой энергии находит выход через огнедышащие жерла вулканов.

Заманчивые перспективы использования энергии, находящейся буквально под ногами, уже давно привлекают внимание. К сожалению, людям еще не удалось достаточно глубоко проникнуть в недра Земли, чтобы досконально изучить процессы, протекающие в ее глубинах. Известно лишь, что в центре Земли находится расплавленное ядро, имеющее температуру в несколько тысяч градусов. Тепловой поток, идущий от ядра к поверхности, прогревает Землю насквозь. Только плохая теплопроводность пород, слагающих земную кору, обеспечивает приемлемую для людей температуру земной поверхности. С углублением температура неуклонно растет. Для большинства мест на Земле геотермическая ступень — глубина, при которой температура повышается на один градус, — составляет около 30 мет-

ров. Но имеются области, где эта ступень составляет 2—3 метра, а иногда — даже полметра. Эти-то области и избрали для своих изысканий специалисты по использованию внутриземного тепла.

Обратимся к фактам. Огромное озеро горячей воды, площадью более 400 квадратных километров, обнаружили геологи неглубоко под землей в Дагестане. Даровая горячая вода сразу пошла в дело — она обогревает квартиры и теплицы, обеспечивает горячее водоснабжение. Уже 350 тысяч человек по утрам умываются подземной горячей водой.

В соседней Чечено-Ингушетии невольно пришлось проделать уникальный эксперимент. Дело в том, что подземные источники, много лет питавшие горячей водой теплицы, стали иссыхать. Выход был один — попытаться использовать тепло земных недр по замкнутому циклу: закачивать отработанную и остывшую воду обратно под землю, пополняя обедневшие запасы. Пять месяцев продолжался, казалось бы, бесплодный эксперимент. Через пять месяцев давление на выходе скважины вновь стало расти. Опыт завершился полной победой ученых — теперь подземная циркуляционная система действует бесперебойно. Такая же система отопления задумана и для строящегося в Париже нового здания музея науки и техники.

Маленькая европейская страна Исландия — «страна льда» в дословном переводе — полностью обеспечивает себя помидорами, яблоками и даже (единственная в Европе) бананами! Многочисленные исландские теплицы получают энергию от тепла земли — других местных источников энергии в Исландии практически нет. Зато очень богата эта страна горячими источниками и знаменитыми гейзерами — фонтанами горячей воды, с точностью хронометра вырывающейся из-под земли. И хотя не исландцам при-

надлежит приоритет в использовании тепла подземных источников (еще древние римляне к знаменитым баням — термам Каракаллы — подвели воду из-под земли), жители этой маленькой северной страны эксплуатируют подземную котельную очень интенсивно. Столица — Рейкьявик, в которой проживает половина населения страны, отапливается только за счет подземных источников.

Но не только для отопления черпают люди энергию из глубин земли. Уже давно работают электростанции, использующие горячие подземные источники. Первая такая электростанция, совсем еще мало-мощная, была построена в 1904 году в небольшом итальянском городке Лардерелло, названном так в честь французского инженера Лардерелли, который еще в 1827 году составил проект использования многочисленных в этом районе горячих источников. Постепенно мощность электростанции росла, в строй вступали все новые агрегаты, использовались новые источники горячей воды, и в наши дни мощность станции достигла уже внушительной величины — 360 тысяч киловатт. В Новой Зеландии существует такая электростанция в районе Вайракеи, ее мощность 160 тысяч киловатт. В 120 километрах от Сан-Франциско в США производит электроэнергию геотермальная станция мощностью 500 тысяч киловатт.

С 1966 года действует геотермальная электростанция на Камчатке, вблизи реки Паужетки, ее мощность достигает 11 тысяч киловатт. Это — прототип мощной камчатской геотермальной станции Мутновской, проектирование которой уже началось.

Здесь, у подножия действующего вулкана Мутновский, находятся грандиозные запасы горячей воды. Особенности геологического строения этого района таковы, что дождь и снег, в изобилии выпадающие в окрестностях вулкана, не

полностью скатываются в океан. Большая часть воды проникает в толщу земли на глубину четырех-пяти километров, где недра нагреты до очень высокой температуры. Там вода превращается в перегретый пар, который сквозь расстрескавшуюся вблизи вулкана землю выходит на поверхность, создавая паровые фонтаны, в изобилии разбросанные по равнине. Пар из этих фонтанов обычно непригоден для производства электроэнергии. Поэтому геологи бурят специальные скважины, по которым пар поступит к турбинам будущей электростанции. Наиболее удачные из этих скважин, добравшихся до больших глубин, дают пара столько же, сколько хороший паровой котел — до 80 тонн в час с температурой 230° С. Пять-шесть таких скважин обеспечат первую очередь геотермальной Мутновской электростанции мощностью 50 тысяч киловатт. В дальнейшем мощность этой станции многократно возрастет.

Таких мест на земле, где расположены глубинные источники перегретого пара, очень немного, все они наперечет. Значительно больше источников, в которых вода нагрета до гораздо более низких температур. Их тоже не обошли вниманием ученые в поисках новых источников энергии, хотя эксперименты по использованию низкотемпературных подземных вод еще не вышли из начальной стадии.

Принцип получения энергии с помощью подземных вод, нагретых до температур всего 65—100° С, примерно такой же, как в проекте «ОТЕК», использующем энергию нагретой воды океана. В экспериментальной модели турбогенератора мощностью 5 тысяч киловатт поступающая из-под земли вода нагревает жидкий изобутан, заключенный в замкнутую систему. При нагреве изобутан испаряется, его пары под давлением поступают на турбину, которая приводит во вращение генератор. Работает экспери-

ментальная система неплохо, но до постройки промышленных электростанций такого типа еще, конечно, далеко. Но даже низкотемпературные источники существуют далеко не везде, а земные недра нагреты до высоких температур повсюду. Существуют проекты создания в нужных местах искусственных горячих источников. Для этого предлагается пробурить две скважины до такой глубины, чтобы температура окружающих пород составляла 300—400° С. В одну из скважин закачивается холодная вода, из другой на поверхность поступает перегретый в подземном естественном котле пар.

Геотермальная электростанция подобного типа строится в Закарпатье. Строители уже пробурили одну скважину до нужной глубины, приступили к бурению второй. Закарпатская ГеоТЭС, мощность первой очереди которой составит 10 тысяч киловатт, станет уникальным полигоном, на котором пройдут проверку многие технические решения. В перспективе мощность этой станции возрастет во много раз.

Препятствием для широкого развития таких станций может стать низкая теплопроводность горных пород, которая не позволит снять со стенок скважины достаточное количество тепла. Поэтому ученые изучают возможность провести в основании скважины взрыв (возможно, даже ядерный!), который создал бы многочисленные трещины и полости. С разветвленной поверхности искусственной пещеры можно было бы получить гораздо больше тепловой энергии.

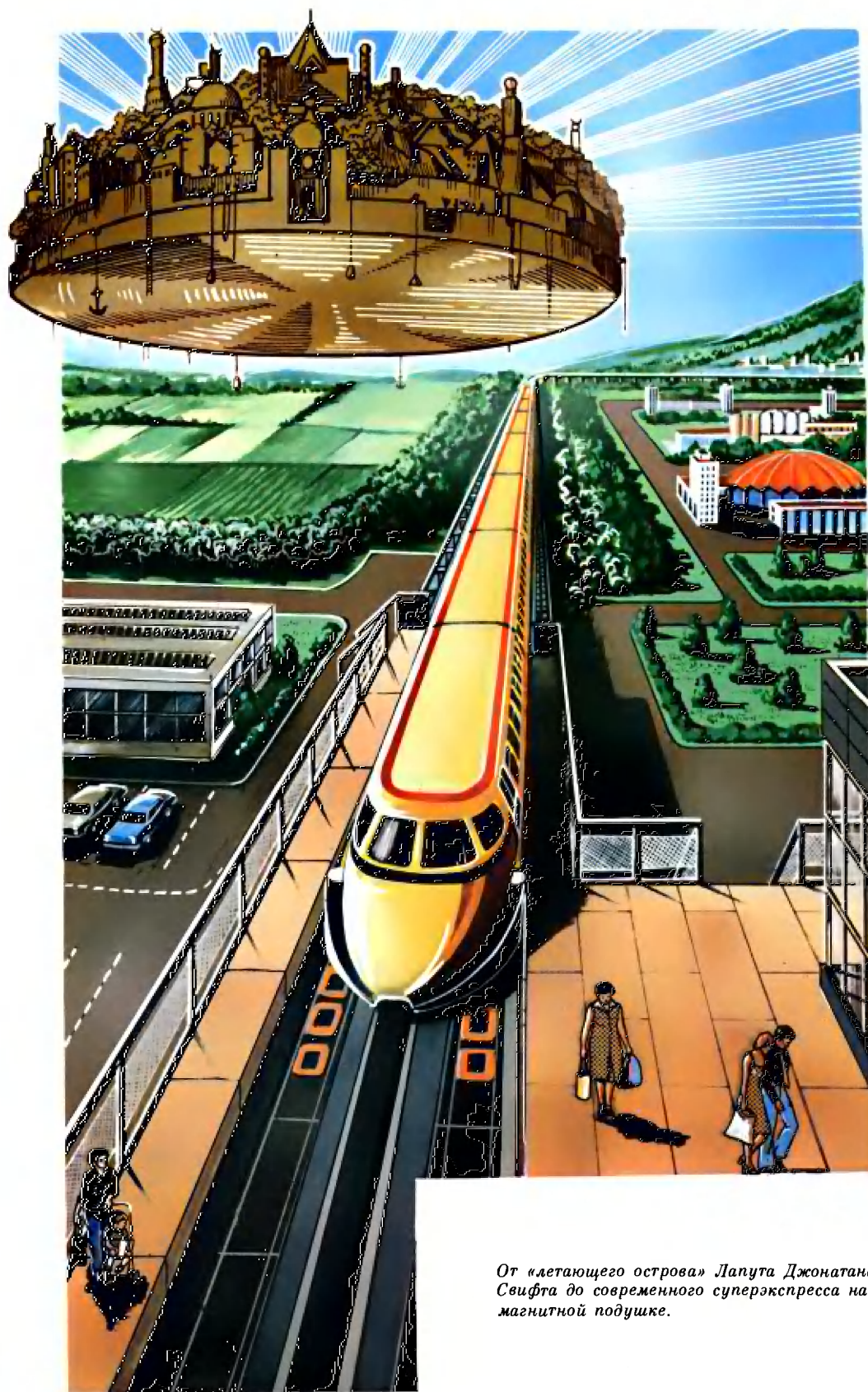
Существуют еще более дерзкие проекты — добраться до раскаленной до тысячи градусов магмы, в которой как бы плавает земная кора. Направленная в скважины вода мгновенно превратится в пар, который сможет вращать турбины колоссальной мощности. Осуществление этого проекта — дело очень



отдаленного будущего; слишком много трудностей ожидает ученых, которые дерзнут добраться до царства Плутона.

Среди многочисленных проблем, которые придется решать будущим проектировщикам и строителям геотермальных электростанций, далеко не последнее место занимают проблемы экологические.

Подземные воды выносят на поверхность не только тепло, но и растворенные в них различные вредные вещества. Эти вещества могут не только разрушать насосы, турбины и трубы, но и загрязнять воздух и воду вблизи геотермальных станций. Возникнет, следовательно, серьезная проблема очистки подземных вод.



*От «летающего острова» Лапуга Джонатана Свифта до современного суперэкспресса на магнитной подушке.*

---

## Глава 5

### ВВЕРХ И ВНИЗ ПО ШКАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

В поисках энергии человек не только осваивает природные источники, поднимается в атмосферу и проникает в недра земли, уходит в океан и в космос. Логика развития техники приводит к тому, что находить пути к энергетическому изобилию приходится в разных концах температурной шкалы: и на дне температурного колодца, в странном и загадочном мире невообразимого космического холода, и там, где царит нестерпимый жар, такой, какой встречается лишь в раскаленных звездах.

...В конце XVIII века Нидерланды были оккупированы наполеоновскими армиями. Как раз в это время на одном из судоходных каналов в центре Лейдена взорвался корабль, нагруженный боеприпасами. Взрыв был настолько силен, что все постройки на обоих берегах канала оказались сметены. С тех пор лейденцы называли этот район руинами. Здесь никто не строился, и постепенно развалины сровнялись с землей. Берега канала превратились в заросший бурьяном пустырь. Но в 80-х годах прошлого века сюда пришли строители, и вскоре на левом берегу канала поднялось светлое трехэтажное здание Лейденского университета.

Из всех возможных направлений

исследований предпочтение в университете отдавалось экспериментальной физике. Особенного развития физические исследования достигли при Гейке Камерлинг-Онессе, впоследствии иностранном члене-корреспонденте Академии наук СССР, по сути дела превратившем весь университет во всемирно известную лабораторию низких температур, позже названную его именем.

Он занял под свои исследования почти все здание университета, разработал и построил невиданные по тем временам холодильные установки, основал школу высококвалифицированных рабочих и научный журнал. Тематика исследований лаборатории была ограничена только низкими температурами и совершенно конкретной целью — ожить гелий, что до сих пор никому не удавалось.

Хорошее техническое оснащение лаборатории дало себя знать довольно быстро. В течение месяца оказались преодоленными первые ступени в температурный колодец — оживлены кислород, неон, водород.

Все газы были оживлены, и более того — большинство доведено даже до твердого состояния. Только один гелий по-прежнему не поддавался



усилиям ученых. Уже раздавались голоса, что, может быть, гелий занимает среди газов какое-то особое положение и именно из-за этого не превращается в жидкость.

Онесс не сдавался. Он упорно совершенствовал аппаратуру, ведь каждый новый градус холода достигается невероятным трудом. Холодильные машины работали по нескольку суток. Все ближе дно температурного колодца — 20 градусов абсолютной шкалы, 10, 5... Гелий все тот же, кажется, совершенно не склонен был к ожижению.

С начала опытов прошло уже более десятка лет, когда температура в дьюаровском сосуде опустилась до 4,2 градуса. И тогда в сосуде появилось небольшое облачко тумана. Это — хороший признак. Ведь все остальные газы и пары, которые из-за нечистоты опыта могли бы остаться в сосуде, давно уже смерзлись. В сосуде только гелий, туман может быть образован только им. Значит, непрístupный гелий начал превращаться в жидкость! Температура понемногу снижалась, эксперимент продолжался.

В конце восемнадцатого часа на стеклянном доньшке сосуда появился тонкий слой легкой кипящей жидкости, настолько прозрачной, что разглядеть ее удавалось с трудом. Это и был долгожданный гелий. Это произошло 10 июля 1908 года. Теперь в распоряжении ученых была возможность изучать свойства веществ при самых низких, полученных человеком, температурах. И эксперименты начались. В журналах появляются все новые и новые результаты измерения теплоемкостей газов и твердых тел при сверхнизких температурах, опубликованы изотермы газов. Через три года приступили к измерениям удельных электрических сопротивлений проводников.

Ученых интересовало, как же будет изменяться электрическое сопротивление проводников, когда их температура, снижаясь, достигнет

областей, близких к абсолютному нулю.

Господствующей в то время была следующая точка зрения: если температура образца снижается, то это означает, что кристаллическая решетка материала все меньше и меньше колеблется. Вероятность того, что электрон — носитель электричества — столкнется с решеткой и затормозит свое движение (грубо говоря, в этом сущность электрического сопротивления), будет становиться все меньше. Стало быть, с уменьшением температуры сопротивление металла должно снижаться и в принципе равняться нулю при нулевой абсолютной температуре. Но в эксперименте абсолютного нуля достигнуть невозможно, и поэтому ученые следили за характером кривой электрического сопротивления при понижении температуры.

Начали с хороших электропроводников — медь, алюминий, серебро. Все измерения полностью подтверждали изложенную выше точку зрения. Следующей на очереди оказалась твердая ртуть (конечно, твердая, вернее замерзшая, — ведь температура была всего лишь на несколько градусов выше абсолютного нуля!). И вот тут-то и ожидал ученых сюрприз, да еще какой!

Пока сопротивление ртути измерялось в диапазоне 15, 10, 5, все шло нормально, как и в других исследованных металлах. Но как только температура снизилась до 4,1 К, случилось неожиданное: прибор показал, что сопротивление образца равно нулю, хотя до температурного нуля оставалось еще больше 4 К! Это казалось поразительным. Для физика исчезновение электрического сопротивления было равносильно исчезновению земли из-под ног.

Конечно, первым было предположение, что с сопротивлением все в порядке, а вот прибор, наверное, испортился. Его заменили другим,

но все осталось по-прежнему: как только температура опускалась до  $4,1^\circ$ , сопротивление ртути становилось нулевым. Ученые заменяли образцы, namного увеличили чувствительность приборов, но не тут-то было — как и прежде, сопротивление столбика ртути исчезало. Новое явление получило название «сверхпроводимость».

Статья с описанием открытия вызвала всеобщий интерес. За ней последовали десятки новых сообщений, которые дополняли, подкрепляли и расширяли открытие. Выяснилось, что не только ртуть обладает свойством сверхпроводимости. Другие металлы, например свинец и олово, тоже становятся сверхпроводниками при глубоком охлаждении. С другой стороны, оказалось, что лучшие проводники электричества — медь и серебро — вовсе не обладают таким свойством.

Долгое время ни один физик не мог дать этому удивительному явлению убедительного теоретического истолкования. Но экспериментальные факты представляли огромный интерес не только для физиков. Открытие сверхпроводимости сразу же вызвало к жизни множество заманчивых проектов, относящихся в первую очередь к области электроэнергетики.

Любое электрическое устройство — генератор, двигатель, трансформатор — нагревается, когда по его обмоткам течет ток. Это тепло возникает за счет электрической энергии вследствие неумолимого закона Джоуля — Ленца, гласящего, что любой ток, проходящий по проводнику с некоторым электрическим сопротивлением, отдает в этом сопротивлении часть своей энергии, превращающейся в тепло.

Иногда эта энергия используется, например, в электрических обогревателях, плитках, подушках. Однако в большинстве случаев тепловое нагревание проводников является напрасной потерей энер-

гии. Более того, этот нагрев ставил предел созданию мощных электрических и магнитных полей (слишком велики становились потери энергии), а значит, и предел повышению мощности энергетических устройств.

Понятно, что перспектива создания электрических обмоток без сопротивления и без нагрева невероятно увлекла электротехников. Проекты сверхпроводящих устройств не заставили себя ждать.

Но расчеты не оправдались. Оказалось, что по сверхпроводнику может течь ток не всякой величины. Как только величина тока превосходит некоторое значение (позже названное критическим), ток выключает сверхпроводимость. Ток этот оказался настолько малым, что постройка сверхпроводящего магнита из ртути, свинца или олова становилась практически бесполезной. Выяснилось также, что не только ток способен «выключить» сверхпроводимость, она исчезала и под действием даже слабых магнитных полей, не превышающих сотен эрстед.

Техническая революция не состоялась. Поразительное явление сверхпроводимости, казалось, навсегда останется физической игрушкой, любопытнейшим курьезом, как бы олицетворяющим вечное движение. Постепенно все больше и больше исследовательских групп прекращали изучение сверхпроводимости. Возродившиеся было надежды — в начале 30-х годов было обнаружено, что для некоторых сплавов критическое значение магнитного поля превышает 15 тысяч эрстед, — были перечеркнуты авторитетным заключением В. Кеезома, сменившего Г. Камерлинг-Онесса на посту директора Лейденской лаборатории. Измерив критический ток проволоки из сплава свинца с висмутом, он выяснил, что этот ток слишком мал и сделать из такой проволоки сколько-нибудь ценный магнит невозможно. Впоследствии выяснилось, что Кеезом ошибся, но

приговор «бесперспективной» сверхпроводимости был уже вынесен.

Примерно в это же время в Харькове работала большая группа физиков, которой руководил доктор Л. В. Шубников. Ученые всего мира единодушно признают, что группа Шубникова была лучшей по своей оснащенности и знаниям металлургии сверхпроводящих сплавов. Не приняв выводы Кеезома на веру, харьковская группа продолжала заниматься сплавами. Эти работы легли в основу последующих теорий, экспериментов и открытий. Однако и харьковским экспериментаторам не удалось в те годы открыть сверхпроводящие сплавы, устойчивые к сильным магнитным полям. Не хватало теории сверхпроводников, оставалось непонятным, почему возникает и исчезает сверхпроводимость.

Но даже если бы в те годы и появились подходящие сверхпро-

водящие материалы, проблема технического применения этого явления не стала бы намного проще — слишком сложным и дорогим путем получали жидкий гелий. В супероснащенной Лейденской лаборатории мощным холодильным установкам приходилось непрерывно работать почти трое суток, потребляя огромную энергию, чтобы получить меньше литра жидкого гелия. Решением задачи получения жидкого гелия в достаточно больших количествах занялся советский физик П. Л. Капица.

В 1934 году им был создан ожижитель гелия нового типа — поршневой детандер. Используя идеи П. Л. Капицы, конструкторы создали ожижительные установки, производительность которых достигла 200 и более литров жидкого гелия в час! Проблема обеспечения сверхпроводящих устройств жидким гелием была снята с повестки дня. Дело оставалось только

*Энергоблок мощностью 1 миллион 200 тысяч киловатт.*





за подходящими сверхпроводниками.

Появились достижения и у теоретиков. Первым пролил свет на природу сверхпроводимости советский физик Л. Д. Ландау. Он первым сопоставил два странных явления — сверхпроводимость и сверхтекучесть (течение жидкого гелия без трения через узкие капилляры) — и предположил, что эти явления родственны.

Сверхпроводимость — это сверхтекучесть весьма своеобразной жидкости — электронной.

Идея Ландау оказалась чрезвычайно плодотворной, на ее основе построено большинство теорий сверхпроводимости.

Следующий шаг был сделан почти одновременно советским физиком, академиком Н. Н. Боголюбовым, и американскими физиками Бардиным, Купером и Шриффером. Теория Н. Н. Боголюбова и теория БКШ основаны на предположении, что сверхпроводящие электроны, в противовес обычным, объединены в пары, тесно связаны между собой. Разорвать пару и разобщить электроны чрезвычайно трудно. Такие мощные связи позволяют электронам двигаться сквозь кристаллическую решетку, помогая друг другу и не встречая электрического сопротивления.

Крупным достижением в описании сверхпроводимости стала теория ГЛАГ (Гинзбург — Ландау — Абрикосов — Горьков). Эта теория позволила рассчитывать и создавать различные сверхпроводящие системы, позволила, в частности, в десятки раз увеличить силу сверхпроводящих магнитов. За разработку этой теории авторы были удостоены в 1960-х годах Ленинской премии.

Теории предсказывали, что в металлургических лабораториях вот-вот появятся сплавы с чудесными свойствами. И практика не замедлила подтвердить теорию. Уже в 1961 году, исследуя сплав

ниобия с оловом, ученые обнаружили совершенно фантастические сверхпроводящие свойства этого соединения. Оказалось, что даже самое сильное в то время магнитное поле не в состоянии разрушить сверхпроводимость сплава. Этими свойствами обладали и другие сплавы, в первую очередь сплавы ниобия. Теперь можно было приступить к созданию проволоки, кабелей и шин из сверхпроводящих материалов. Путь к сверхпроводящим электротехническим устройствам был открыт.

Результаты не заставили себя ждать. Очень быстро в лабораториях ученых появились сверхпроводящие электромагниты, с помощью которых удалось получить гигантские магнитные поля, необходимые для изучения строения материи. Из лабораторий ученых сверхпроводящие устройства пришли в промышленность, в первую очередь в энергетику.

Захватывающими кажутся перспективы применения сверхпроводников в обмотках крупнейших электрических машин — турбогенераторов, устанавливаемых на крупных электростанциях. Их мощность непрерывно нарастает. Если сравнительно недавно турбогенератор в 100 тысяч киловатт считался сверхкрупной машиной, то уже сейчас серийно выпускаются генераторы в 500, 800 и 1000 тысяч киловатт. А не так давно на Костромской ГРЭС была установлена и включена в энергосистему исполнинская машина в 1200 тысяч киловатт — два Днепрогэса в одном агрегате! Повышение мощности турбогенераторов — отнюдь не гигантомания, а веление времени: чем больше мощность единичных агрегатов, тем меньше удельные расходы на их изготовление, меньше объем строительных работ на электростанциях, дешевле эксплуатация. Академик Игорь Алексеевич Глебов приводит такой пример: тепловую электростанцию мощ-



*Обработка ротора мощностью 200 тысяч киловатт.*

ностью 4800 тысяч киловатт можно оснастить либо 16 турбогенераторами по 300 тысяч киловатт, либо установить 6 турбогенераторов по 800 тысяч киловатт. Расчеты показывают, что во втором случае будет сэкономлено 6—7 тысяч тонн металла, 10 миллионов рублей при строительстве электростанции, ежегодно в процессе производства электроэнергии будет сберегаться 120 тысяч тонн топлива.

К сожалению, возможности повышения мощности электрических машин не безграничны. Во-первых, существует предел мощности турбогенераторов современной конструкции, определяемый прочностью используемых материалов. Расчеты показывают, что ротор турбогенератора мощностью свыше 2500 тысяч киловатт разрушится от возникших при его вращении механических напряжений. Вряд ли удастся в ближайшем будущем изготовить слиток металла, не содержащий примесей, раковин, по-

сторонних включений, с массой около 500 тонн, а именно такую массу должна иметь заготовка ротора сверхмощного генератора. В общем, чтобы в энергетику пришли «сверхмашины», необходимы новые технические решения. Может быть, наиболее перспективным направлением в энергомашиностроении окажется создание генератора, использующего сверхпроводящие обмотки.

Если обмотку возбуждения электрической машины (по сути, это — электромагнит особой формы) сделать из сверхпроводника, это сразу же решило бы ряд проблем. Во-первых, исчезло бы нагревание обмоток. Во-вторых, плотность тока в сверхпроводящей обмотке может быть в десятки раз выше, чем в обычной. Такой ток, протекая по обмотке, создает столь сильное магнитное поле, что уже не нужно сооружать мощный стальной сердечник, ротор можно сделать во много раз легче. Можно упростить



*Испытания криотурбогенератора.*

и конструкцию статора, убрать из него «лишнюю» сталь. Благодаря этому криогенный турбогенератор будет иметь значительно меньшие габариты и массу по сравнению с традиционной машиной той же мощности.

Плюсы применения сверхпроводимости в генераторостроении очевидны. Но проблем возникает тоже немало. Главная из них — создание и поддержание сверхпроводящего состояния обмотки ротора. Для этого ее нужно охладить до очень низких температур, которые можно сделать, если обмотка постоянно будет погружена в жидкий гелий. При этом следует иметь в виду, что ротор турбогенератора вращается со скоростью 3000 оборотов в минуту, поэтому жидкий гелий нужно подавать в него «на ходу». Нелегко уберечь жидкий гелий от испарения — ведь комнатная температура для него столь же, если не более, «горяча», как разогретая докрасна плита для воды. Много выдумки

пришлось приложить конструкторам, чтобы превратить ротор турбогенератора еще и в совершенный теплонепроницаемый сосуд — криостат. Специальные меры пришлось принять, чтобы защитить ротор от аварийного режима — внезапного исчезновения сверхпроводимости.

Шаг за шагом решали эти задачи советские ученые. Вначале исследования проводились на макете турбогенератора мощностью всего 18 киловатт. Потом была построена машина мощностью в тысячу киловатт. Только после этого приступили к изготовлению уже опытно-промышленного генератора КТГ-20 мощностью 20 тысяч киловатт. Чтобы накопить опыт эксплуатации необычной машины, она включена в энергосеть Ленинграда.

Прославленный завод «Электросила» приступил к изготовлению очень мощной машины — криогенного генератора — трехсоттысячника (300 тысяч киловатт). Руководители работ — академик И. А. Глебов



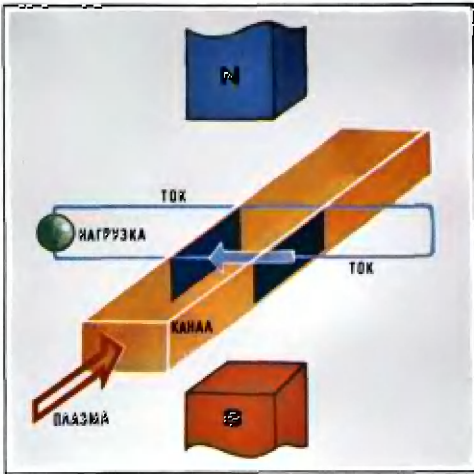


Схема МГД-процесса.

и доктор технических наук Г. М. Хуторецкий — считают, что масса такого генератора будет в два раза меньше, чем у обычного; кроме того, на 0,5—0,7 процента повысится его коэффициент полезного действия. В ближайшие годы этот генератор войдет в строй. Академик Глебов считает, что не за горами и следующий шаг — проектирование и изготовление генератора мощностью миллион киловатт. В начале XXI века следует ожидать создания атомных реакторов такой мощности, которая недостижима для турбогенераторов традиционной конструкции. Поэтому создание криогенных турбогенераторов, для которых нет принципиальных технических ограничений по мощности, во всяком случае до фантастической величины 10 миллионов киловатт, — объективная необходимость для развития энергетики будущего века.

Но не только в криогенных турбогенераторах будет использоваться сверхпроводимость в энергетике XXI века. Сверхпроводящие магниты оказались совершенно необходимыми в новой отрасли энергетики — магнитогидродинамическом генерировании электрической

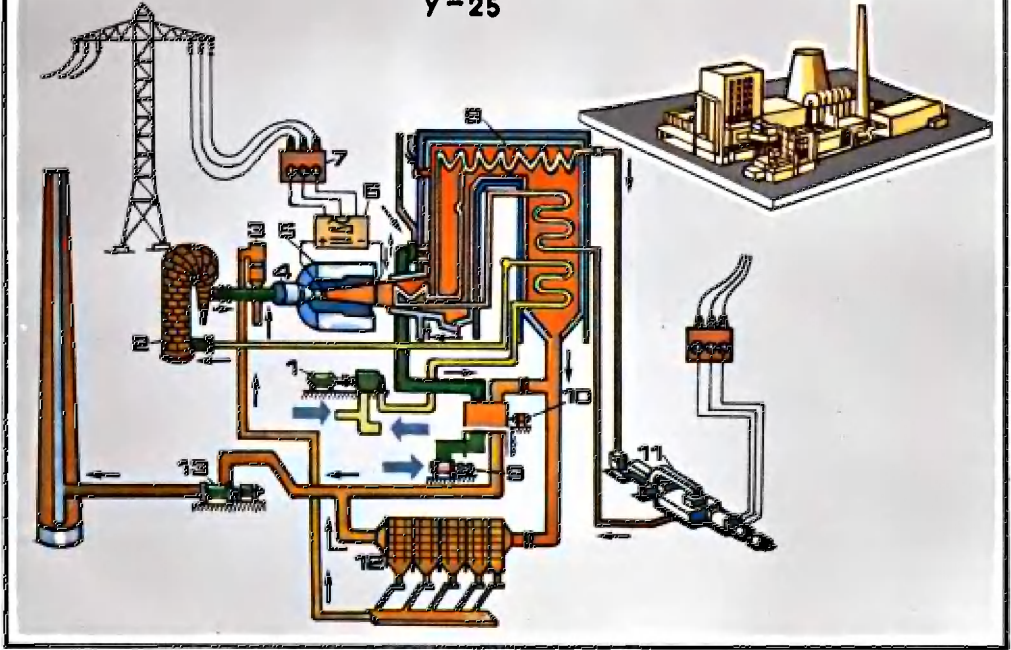
энергии, при котором сверхнизким температурам приходится контактировать с веществом, нагретым до 2500—3000°.

Собственно, совсем новым этот способ генерирования энергии назвать никак нельзя. Магнитогидродинамическим, или МГД-генераторам, многие тысячи лет. Они существуют, во всяком случае, с тех пор, как земля обзавелась магнитным полем. Ведь если проводник (например, вода в реке) движется в магнитном поле (а оно у Земли есть), то в нем возникает электродвижущая сила, а значит, генерируется электрическая энергия. Первым человеком, который это понял, был Майкл Фарадей.

...Лондонцы, спешившие на работу через один из городских мостов осенним днем 1831 года, могли видеть, как мужчина лет сорока погружал в воду Темзы две металлические пластинки, подсоединенные к какому-то прибору. Мужчина хмурился и что-то раздраженно говорил своим помощникам. Этот опыт закончился неудачей — слишком малой была чувствительность приборов Фарадея, чтобы зафиксировать электрическое напряжение, создаваемое природным МГД-генератором. Вода — довольно плохой проводник, а магнитное поле Земли невелико, его напряженность примерно 0,5 эрстеда. Поэтому и электродвижущая сила, возникающая в природном МГД-генераторе, слишком мала.

Но идея МГД-генерирования электрической энергии весьма заманчива. Ведь в таком генераторе тепловая и кинетическая энергии рабочего тела непосредственно преобразуются в электрическую, без каких-либо движущихся механических частей, как это происходит в обыкновенных генераторах. А это означает, что коэффициент полезного действия такой установки может быть существенно повышен по сравнению с суще-

## СХЕМА И МАКЕТ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭНЕРГБЛОКА МГД У-25



ствующими способами получения электрической энергии. Поэтому, когда ученые научились создавать сильные магнитные поля, развернулись работы по созданию МГД-генераторов.

Советские ученые, признанные мировые лидеры в создании МГД-генераторов, приступили к изучению этого способа получения электрической энергии в 60-х годах. Исследовались различные типы МГД-установок, в которых в качестве рабочего тела использовались различные вещества, например жидкие металлы. Постепенно ученые пришли к выводу, что наиболее удобна для использования в качестве рабочего тела низко-температурная плазма.

Здесь мы впервые встречаемся со словом «плазма», изучению которой в настоящее время посвящено огромное количество научных работ. Ведь почти все вещество видимой нами Вселенной (99,9% ее массы) находится в состоянии

плазмы — сильно ионизированного газа. Солнце и звезды — гигантские сгустки очень горячей плазмы. Верхний слой земной атмосферы содержит плазму несколько другого сорта, температура ее существенно ниже солнечной. Плазма образуется при ионизации газа, когда его в обычном состоянии нейтральные атомы распадаются на электроны и положительные ионы. Такое явление может происходить, если газ сильно нагреть или пропустить через него достаточно мощный электрический разряд. Правда, электропроводность такой плазмы не особенно высока, но, если принять дополнительные меры, ее можно превратить в довольно приличный проводник, который уже вполне может использоваться в МГД-генераторе.

Советские ученые использовали накопленный к началу 60-х годов космический опыт — ведь при сгорании ракетного топлива возникают как раз те температуры, которые

нужны для образования плазмы. Если к таким раскаленным продуктам сгорания добавить соединения, содержащие щелочные металлы (калий или цезий), то газ становится электропроводным — превращается в низкотемпературную плазму (плазма низкотемпературная в сравнении с той, которая существует на Солнце и звездах, а так температура ее очень высока — около  $3000^{\circ}\text{C}$ ). Такая плазма и служит рабочим телом в МГД-генераторах. Пронесясь со скоростью около 1000 метров в секунду через канал, помещенный в сильное магнитное поле, созданное сверхпроводящим магнитом, плазма отдает свою кинетическую энергию, которая непосредственно преобразуется в электрическую.

Однако в МГД-генераторе плазму можно использовать только до тех пор, пока она достаточно электропроводна, а такое ее состояние сохраняется, пока температура не понизится до  $2300\text{—}2400^{\circ}\text{C}$ . Такая «холодная» плазма уже не годится для МГД-генератора, но прекрасно может использоваться в обычном котле, соединенном с паровой турбиной.

Таким образом, плазма работает как бы дважды: сначала в канале МГД-генератора из нее непосредственно извлекают электроэнергию, а потом, став уже более холодной и неэлектропроводной, она отдает оставшееся тепло пару, который вращает турбину и электрогенератор. У такой sdвоенной энергетической установки коэффициент полезного действия почти в полтора раза выше, чем у обычной электростанции. Поэтому так велик интерес ученых к магнитогидродинамическому методу получения электрической энергии.

В нашей стране исследования по МГД-генераторам возглавил Институт высоких температур АН СССР. В 1964 году была пущена установка У-02, работавшая по описанному принципу. Хотя ее электри-

ческая мощность была всего около 100 киловатт, в ней содержались все элементы будущих энергетических гигантов.

На этой установке были проведены многочисленные исследования. Постепенно возрастало время ее непрерывной работы. Опробовались разные материалы и конструкции основных элементов станции. Эти работы позволили перейти к следующему этапу.

В 1971 году заработала первая в мире опытно-промышленная установка У-25, электрическая мощность которой составила 20 тысяч киловатт. Эта установка проработала уже несколько тысяч часов, в том числе совместно с Московской энергетической системой.

На очереди — мощные МГД-генераторы. На Рязанской ГРЭС ведется строительство головного энергоблока с МГД-генератором мощностью 500 тысяч киловатт. Функционировать этот энергоблок будет таким образом. Обычный или обогащенный кислородом воздух, подогретый до  $1700^{\circ}\text{C}$ , попадает в камеру сгорания, куда подается природный газ. В продукты горения добавляется углекислый калий, и образовавшаяся плазма с температурой около  $3800^{\circ}\text{C}$ , разогнанная до скорости примерно полторы тысячи метров в секунду, поступит в канал, расположенный в магнитной системе. Там и произойдет преобразование тепловой энергии в электрическую. Мощность МГД-генератора составит примерно половину от общей мощности энергоблока. Другая половина общей мощности производится в обычной паротурбинной установке, расположенной за МГД-генератором.

Авторы проекта считают, что на этой станции, которая должна войти в строй в конце 80-х годов, будет сэкономлено около четверти топлива по сравнению с обычной электростанцией такой же мощности.

Затем в эксплуатацию будут вводиться аналогичные МГД-блоки



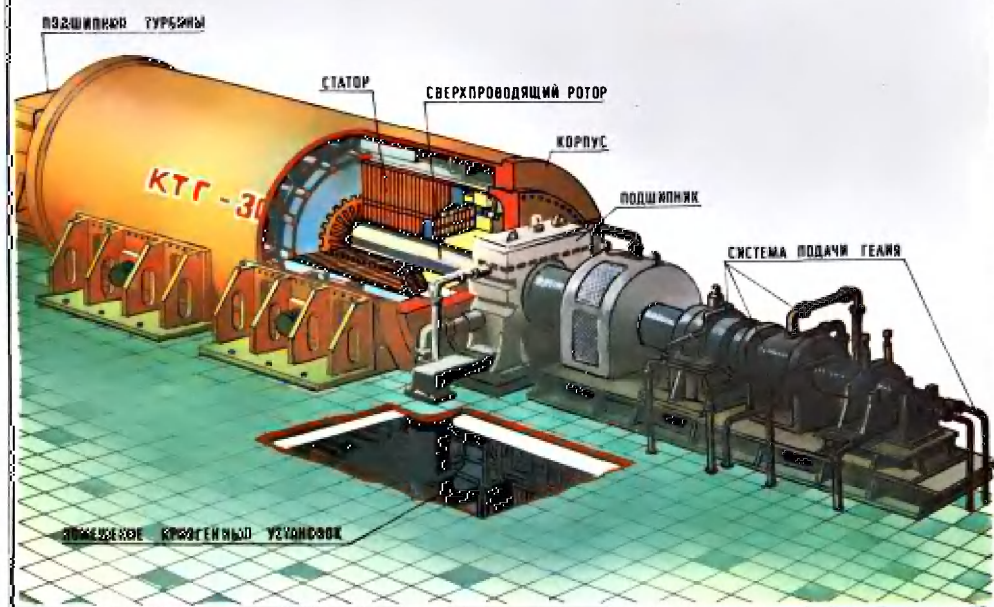
мощностью до миллиона киловатт. Одновременно учеными и энергетиками ведутся работы по созданию МГД-электростанций на угольном топливе, запасы которого в СССР колоссальны. Вероятно, первые такие станции на угле появятся в начале 90-х годов на базе углей Кузнецкого и Канско-Ачинского бассейнов. Оснащаться эти все установки будут, конечно, сверхпроводящими магнитными системами, которые и смогут создать необходимые сильные магнитные поля. Так при помощи раскаленной плазмы и охлажденных до самых низких температур обмоток будет рождаться энергия.

Немалую роль должны сыграть сверхпроводники и при передаче электрической энергии — ведь тепловые потери в кабелях и проводах линий электропередач довольно велики. Поэтому, как только появились новые сверхпроводящие материалы, появились и экспериментальные сверхпроводящие кабели.

Первые сверхпроводящие линии электропередач — это алюминиевые трубы, покрытые тонким слоем ниобиевого сплава и помещенные в трубопровод, по которому циркулирует жидкий или газообразный, охлажденный до  $6-7^{\circ}$  абсолютной шкалы, гелий. Этот трубопровод помещен в свою очередь в трубопровод с жидким азотом, являющийся своеобразным тепловым экраном. Несмотря на кажущуюся сложность и дороговизну такой конструкции, она, как показывают расчеты, учитывающие стоимость потерь электроэнергии в обычных линиях, является вполне конкурентоспособной, а с понижением стоимости сверхпроводящих материалов будет дешевле их.

С помощью сверхпроводников, возможно, удастся наконец осуществить и заветнейшую мечту энергетиков — хранение больших количеств электроэнергии. Ведь пока еще запастись электрической энергией в больших количествах

### ПЕРВЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ КРИОТУРБОГЕНЕРАТОР КТГ-300



впрямую невозможно (небольшие аккумуляторы в счет не идут). Вот и приходится, для того чтобы обеспечить максимум нагрузок, иметь в энергосистемах колоссальный дорогостоящий запас энергетических мощностей. Если бы удалось создать «склады» электроэнергии, дорогостоящий резерв оказался бы ненужным, энергию по мере необходимости можно было бы просто выдавать с таких «складов».

Вот здесь-то и может пригодиться удивительное сверхпроводящее кольцо, по которому бесконечно — без потерь электроэнергии — будет циркулировать электрический ток. Расчеты утверждают, что пиковые нагрузки, например, всей энергосистемы европейской части СССР могут покрываться за счет громадного сверхпроводящего кольца, в котором хранятся 3 миллиарда киловатт-часов электроэнергии. Кольцо это, внутренним диаметром 70 метров и сечением 20 метров, представляло бы собой огромную сверхпроводящую обмотку, в магнитном поле которой и запасена энергия.

Это, конечно, пока еще фантастика, но, может быть, в веке двадцать первом...

Колоссальный рывок в энергетике может произойти и раньше, если удастся реализовать одну «сумасшедшую» идею. В чем же она состоит?

Существующие сверхпроводники приобретают свои свойства при очень низких температурах. Теория сверхпроводимости утверждает, что в сверхпроводнике электроны проводимости связаны между собой, что и дает им возможность беспрепятственно двигаться внутри кристаллической решетки. В «обычных» сверхпроводниках взаимодействие между электронами, ответственное за переход в сверхпроводящее состояние, передается через ионы, составляющие кристаллическую решетку.

Это так называемый «фононный»

механизм образования куперовских пар. Расчеты показывают, что такой механизм может обеспечить сверхпроводимость при температурах, ни в коем случае не превышающих 50 К. Конечно, даже эта температура не очень удобна для работы, но и ее достичь пока не удалось. Рекорд перехода в сверхпроводящее состояние у сплава ниобия с германием (24 К) продержался почти десять лет.

А не могут ли существовать иные механизмы, приводящие к образованию электронных пар? В 1964 году американец В. Литтл предположил существование механизма, при котором передача взаимодействия между электронами осуществлялась бы не ионами, а значительно более легкими и подвижными электронами-посредниками. В то же время академик В. Л. Гинзбург теоретически открыл еще один, так называемый «экситонный» механизм образования куперовских пар. Эти теории предсказывали, что сверхпроводимость может существовать даже при комнатных температурах, то есть при 300 К.

Физики-экспериментаторы не покидали лабораторий, лихорадочно исследуя «подозрительные» материалы — органические полимеры и сложные структуры металлов-полупроводников. Им сопутствовала удача: были открыты многие новые сверхпроводники, но... температура их перехода оказалась небольшой, гораздо ниже уже достигнутых 24 К.

Полна драматизма история научных открытий! Увлечшись органическими полимерами и сложными структурами, ученые-экспериментаторы оказались недостаточно внимательными к другим веществам. И в частности, к керамикам. В 1979 году исследователи Института общей и неорганической химии АН СССР им. Н. С. Курнакова И. С. Шатыгин, Б. Г. Кохан и В. Б. Лазарев получили новую лан-

тан-стронциевую и лантан-бариевую керамику. Керамика оказалась примечательной — она проводила ток, как обычный металл. Электросопротивление керамики, как и полагалось, уменьшалось с понижением температуры. Исследователи довели испытания до температуры жидкого азота (77 К) и остановились. Они никак не ожидали того, что эта керамика, если понизить ее температуру еще на 40, превратилась в удивительный высокотемпературный сверхпроводник, который так давно искали!

И вот в апреле 1986 года ученые Цюрихского филиала фирмы «ИБМ» в Швейцарии Дж. Беднорц и К. Мюллер, исследуя, по существу, ту же керамику, что и наши химики, но при более низких температурах, обнаружили в ней сверхпроводимость при 30 К! Так был побит рекорд, продержавшийся много лет! Однако и это важнейшее достижение не было замечено — в январском 1987 года номере журнала «Физикс тудей», где зарегистрированы все крупнейшие достижения физики 1986 года, об этом открытии не сказано ни слова!

Настоящий бум начался, как только наступил 1987 год. Из лабораторий в США, СССР, КНР, Японии с нарастающей скоростью стали поступать все новые и новые сверхсенсационные сообщения. Температура сверхпроводящего перехода росла буквально на глазах! 35... 40... 92... Это — уже выше температуры кипения жидкого азота! Этот

рекорд был достигнут одновременно в СССР и США. Заведующий лабораторией сверхпроводимости Физического института имени П. Н. Лебедева АН СССР А. И. Головашкин 11 марта 1987 года на общемосковском семинаре физиков, проходившем под руководством В. Л. Гинзбурга, сообщил, что ему и его сотрудникам на одном из образцов керамики удалось получить температуру сверхпроводящего перехода 102 К. Перейден рубеж, еще полгода назад казавшийся немыслимым! Впервые обнаружен нефононный механизм образования куперовских пар, предложенный четверть века назад.

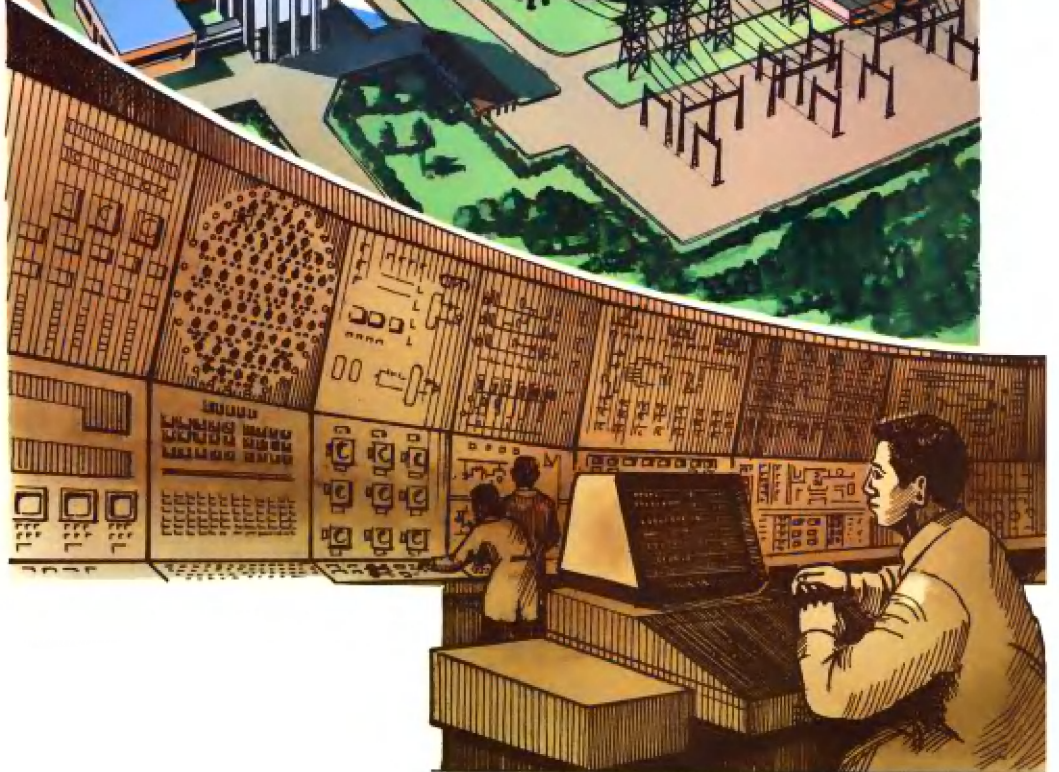
Ученые штурмуют «комнатные» температуры — около 280—300 К. Едва ли не каждую неделю появляются новые достижения, так что может случиться, что, когда эта книга выйдет в свет, «комнатная» сверхпроводимость станет реальностью!

Работы по созданию и исследованию новых сверхпроводников продолжают.

У А. С. Пушкина в «Сценах из рыцарских времен» есть такая фраза: «Если найду вечное движение, то я не вижу границ творчеству человеческому... видишь ли, добрый мой Мартин: делать золото задача заманчивая, открытие, может быть, любопытное — но найти perpetuum-mobile... О!»

Сегодня идея вечного движения приобрела своеобразное воплощение именно в сверхпроводниковых устройствах.





---

## Глава 6

### СВЕТ МИРНОГО АТОМА

В конце XIX века последнюю тогда, девяносто вторую, клетку в Периодической таблице Дмитрия Ивановича Менделеева занимал элемент, лишь незадолго до этого выделенный в чистом виде. Назывался он уран — в честь бога неба древних греков, отца титанов, циклопов и сторуких великанов. Ничего, казалось бы, не предвещало мировой славы этому невзрачному тяжелому металлу. В энциклопедии, выпущенной в 1912 году, написано, что уран употребляется для изготовления урановой краски и уранового стекла. И это все. Спустя несколько десятилетий в уране воплотились надежды и страхи человечества.

Это были десятилетия грандиозных перемен в науке, прежде всего в физике. Составители той старой энциклопедии, наверное, не очень внимательно следили за научной прессой, а то они не преминули бы отметить, что вот уже несколько лет ученые пристально изучают загадочное излучение урана. Их открытия впоследствии стали ключом к энергетическим кладовым природы.

Главным, сразу же заинтересовавшим исследователей, был вопрос: откуда берется энергия лучей, испускаемых ураном, и почему

уран всегда чуточку теплее окружающей среды? Под сомнение ставился либо закон сохранения энергии, либо утвержденный веками принцип неизменности атомов! Огромная научная смелость требовалась от ученых, которые перешагнули границы привычного, отказались от устоявшихся представлений.

Такими смельчаками оказались молодые ученые Эрнест Резерфорд и Фредерик Содди. Два года упорного труда по изучению радиоактивности привели их к революционному по тем временам выводу: атомы некоторых элементов подвержены распаду, сопровождающемуся излучением энергии в количествах, огромных по сравнению с энергией, освобождающейся при обычных молекулярных видоизменениях.

Так начиналась атомная физика, физика, изучающая процессы, протекающие в глубинах материи. Открытия в новой области науки следовали одно за другим.

Довольно скоро удалось объяснить, откуда берется огромная энергия ядерных превращений. В основу этого объяснения была положена формула Эйнштейна, связывающая массу и энергию. В самом конце 30-х годов было обнару-

жено деление урана и теоретически показана возможность осуществления цепной реакции. При делении каждого атома урана выделялась значительная энергия. Можно было ставить вопрос о получении и использовании энергии атома.

Правда, писатели-фантасты уже давно в полной мере использовали атомную энергию в своих романах. «Тут раздался грохот, похожий на раскаты грома... Мир вокруг куда-то исчез. На земле не существовало уже больше ничего, кроме пурпурно-алого, ослепительного сверкания... в этом спящем свете, оседая, рушились стены, взлетали в воздух колонны, кувыркались карнизы и кружились осколки стекла». Так в романе «Освобожденный мир», написанном еще в 1914 году, Герберт Уэллс описывает атомный взрыв. А в романе В. Орловского «Бунт атомов», вышедшем в нашей стране в 1928 году, даже описывается борьба человечества против угрозы атомного самоуничтожения.

Но то — писатели! Сами ученые весьма скептически относились к возможности получения и использования атомной энергии. Самые оптимистические предсказания относили начало использования этого энергетического источника к XXI веку. В январском номере журнала «Электричество» за 1941 год приведен обзор литературы по этому вопросу и сделан вывод, что как источник энергии ядерная энергия бесперспективна и что максимум того, что удастся создать к концу нашего века, — это небольшие установки для обогрева с использованием ядерной энергии отдельно стоящих помещений типа животноводческих ферм.

Действительность оказалась иной.

...Уже в те годы в условиях строжайшей секретности американское правительство дало указание приступить к работам по созданию атомной бомбы, к «Манхеттенскому проекту». В декабре 1942 года в

Чикаго был запущен первый в мире ядерный реактор. Человек освободил энергию атомного ядра и доказал, что может ее контролировать.

Талант ученых, труд многих тысяч людей были направлены не на энергетическое использование атомного распада, а на создание с его помощью страшного, бесчеловечного оружия. В черный понедельник 6 августа 1945 года вылетевший с базы Тиниан американский самолет взял курс на Хиросиму. Через несколько часов взрыв атомной бомбы уничтожил тысячи жителей этого города. А через три дня, 9 августа, — взрыв над Нагасаки.

Эти взрывы, уже бесполезные в военном отношении, дали понять, что в мире возникла ситуация, когда одно государство решило навязывать свою волю другим. Но в Советском Союзе были готовы к такому повороту событий.

Еще в 1932 году в Физико-техническом институте в Ленинграде была образована «особая группа по ядру», заместителем начальника которой был назначен двадцатидевятилетний Игорь Васильевич Курчатов. Он придавал исследованиям широкий размах. Открываются новые лаборатории, появляются первые серьезные научные достижения. С 1939 года группа Курчатова подробно изучала условия протекания цепной реакции. Вывод был однозначен: цепная реакция реально осуществима и может быть использована в энергетике. Этот вывод молодые ученые изложили в записке в Президиум Академии наук СССР, в которой наметили план первоочередных работ в этом направлении.

Предложения были приняты, в Физтехе началось строительство большого циклотрона — главного инструмента, который в руках исследователей должен был помочь проникнуть в самые темные закоулки атомного ядра, вывести у при-



роды ответы на многие неясные вопросы и приблизить время осуществления цепной реакции. В «Правде» печатается беседа корреспондента газеты с учеными, в которой указывается, что все готово к пуску циклотрона. Беседа была опубликована 21 июня 1941 года. Когда читатели газеты ознакомились с текстом заметки, до начала Великой Отечественной войны оставалось меньше суток.

Война перечеркнула планы физиков. Некоторые ушли на фронт, другие, оставив ядерную физику, занялись работами, необходимыми фронту уже сегодня. Сам И. В. Курчатов поспешил на помощь А. П. Александрову, занимавшемуся защитой боевых кораблей от магнитных мин. Затем, когда эта задача была решена, Курчатов возглавляет в эвакуированном в Казань Физтехе лабораторию танковой брони.

Но к середине 1942 года Советское правительство уже располагало сведениями о том, что в США и Германии в обстановке строжайшей секретности ведутся работы по созданию атомного оружия. Осенью 1942 года Курчатов был вызван из Казани в Москву. Состоялась его первая встреча с М. Г. Первухиным и С. В. Кафтановым, которым Государственный комитет обороны поручил организовать проведение работ по атомной проблеме. Научное руководство возлагалось на И. В. Курчатова.

Было решено организовать в Москве специальную лабораторию, получившую название «Лаборатория № 2». Помещения под нее отвели на краю бывшего Ходынского поля, где уже было несколько недостроенных зданий.

В невероятно трудных условиях пришлось разворачивать сложнейшие работы. Хотя после Сталинграда в войне произошел коренной перелом, фронт требовал все больше и больше самолетов, танков, снарядов, другой техники. Вся про-

мышленность трудилась, чтобы помочь героическим нашим солдатам поскорее завершить войну полным разгромом фашизма. Но даже в те напряженные дни нашли возможность развернуть работы по поиску месторождений урана, организации производства сверхчистого графита, тяжелой воды, многих других компонентов атомной техники.

Курчатов вместе со своими довоенными сотрудниками, вызванными иной раз прямо с передовой или со смены военного завода, смог приступить к строительству крупного института, к постройке циклотрона и первого атомного реактора.

Работа проходила в нетопленых корпусах, в палатках, без самого элементарного оборудования. Но даже в этих условиях работы разворачивались с большим размахом.

Май 1945 года принес долгожданную победу. Курчатов снова мечтает о дешевой энергии из атомов, о кораблях и самолетах, в двигателях которых работает укороченный атом, о мирных исследованиях.

Но взрывы в Хиросиме и Нагасаки, принесшие неисчислимы страдания японскому народу, с неопровержимостью свидетельствовали, что империалистическая Америка стремится к атомному шантажу. В этой обстановке Советское правительство дало задание Курчатову: форсировать создание советского атомного оружия.

Это была невиданная по масштабам и темпам работа. При Совете Народных Комиссаров СССР был создан научно-технический совет по атомному оружию, им руководил легендарный «комиссар по боеприпасам» Б. Л. Ванников. Были мобилизованы все институты, которые могли бы помочь в создании бомбы. Организована подготовка специалистов для новой отрасли промышленности — атомной — на некоторых факультетах Московского энергетического института, создан

новый институт — Московский инженерно-физический. Чтобы выиграть время, начали строить атомные заводы, хотя еще не было ясно, что и как на этих заводах производить.

Тогда же на Ходынке построили специальное здание для первого советского атомного реактора. Были получены первые тонны урана и графита. Скоро смогли приступить к постройке огромного, высотой более восьми метров, цилиндра из графитовых кирпичей — самого реактора. В кирпичах активной зоны просверливались отверстия, в которые вставлялись урановые стержни.

К концу 1946 года работы были завершены. Предстоял пуск первого в Европе и Азии атомного реактора. 25 декабря в 18 часов И. В. Курчатов с помощниками впервые в Европе осуществили управляемую цепную реакцию деления урана.

Десятилетия спустя, вспоминая события того памятного дня, Курчатов писал, что он надеется на торжество здравого смысла, на то,

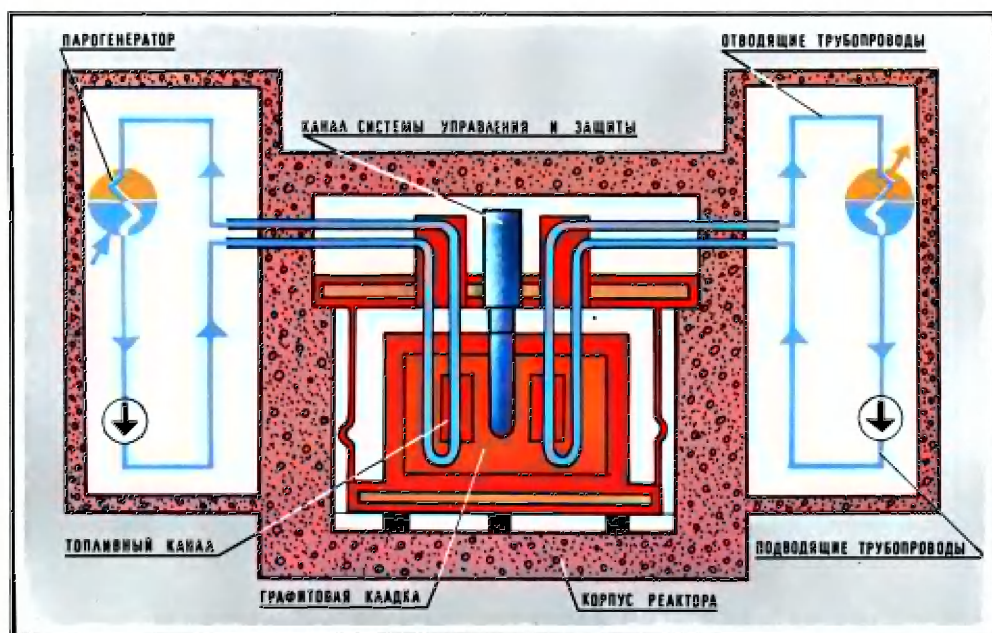
что драгоценный уран-235 и плутоний не будут расходоваться на изготовление разрушительного оружия, а будут использованы лишь в атомных реакторах, движущих мирные корабли и самолеты, на электростанциях, производящих свет и тепло для людей.

Но в то время нужно было как можно быстрее покончить с атомной монополией США. Работы продолжались нарастающими темпами. Вскоре приступили к непосредственной подготовке атомного взрыва. Испытание состоялось 29 августа 1949 года. Задание партии и правительства было выполнено.

Страна получила надежное оружие для отпора любому агрессору.

Даже в самые тяжелые времена холодной войны советские ученые не откладывали решение задачи мирного применения атомной энергии. Еще в 1947 году Курчатовым была организована лаборатория в небольшом поселке Обнинске, расположенном между Мо-

Схема реактора первой атомной электростанции.





*Общий вид Смоленской АЭС.*

сковой и Калугой. На месте нынешнего огромного Физико-энергетического института тогда были дощатые бараки, случайные здания, приспособленные под лаборатории, непролазная грязь под ногами в период долгих осенних дождей. Уже в конце 1949 года приступили к проектированию первой атомной электростанции.

Научное руководство работами осуществляли Институт атомной энергии — бывшая «Лаборатория № 2» — и лично И. В. Курчатов. С 1951 года работы по созданию первенца атомной энергии возглавил Физико-энергетический институт. В конце 1950 года эскизный проект реактора и теплосиловой установки был готов, приступили к строительству и изготовлению оборудования.

Сооружение станции шло очень быстро — всего четыре года понадобилось, чтобы совершенно новая энергетическая установка всту-

пила в строй. На последние недели перед пуском в Обнинск приезжает Курчатов.

Наконец — 27 июня 1954 года — первый оборот турбины, первый ток, зафиксированный приборами управления. Первая в мире атомная электростанция вступила в строй. Интересно, что именно 1954 год называл Герберт Уэллс, когда писал о первых на планете Земля фантастических ядерных электростанциях.

30 июня 1954 года ТАСС сообщил: «В Советском Союзе успешно завершены работы по проектированию и строительству первой промышленной электростанции на атомной энергии полезной мощностью 5000 киловатт».

Всего 5000 киловатт! Многим эта станция казалась просто дорогостоящей игрушкой физиков. Однако самые прозорливые увидели в этой малютке контуры будущих исполинов атомной энергетики! Реше-





*Общий вид Ленинградской АЭС.*

ния, заложенные в конструкцию первой АЭС, оказались настолько удачными, что она и сейчас используется для проведения научных экспериментов.

Невиданными темпами развивается сегодня атомная энергетика. За тридцать лет общая мощность ядерных энергоблоков выросла с 5 тысяч до 23 миллионов киловатт! Некоторые ученые высказывают мнение, что к XXI веку около половины всей электроэнергии в мире будет вырабатываться на атомных электростанциях.

В принципе энергетический ядерный реактор устроен довольно просто — в нем, так же как и в обычном котле, вода превращается в пар. Для этого используют энергию, выделяющуюся при цепной реакции распада атомов урана или другого ядерного топлива. На атом-

ной электростанции нет громадного парового котла, состоящего из тысяч километров стальных трубок, по которым при огромном давлении циркулирует вода, превращаясь в пар. Эту махину заменил относительно небольшой ядерный реактор.

Самый распространенный в настоящее время тип реактора водографитовый. В герметичном реакторном корпусе выкладывают блок из графитовых кирпичей, равномерно пронизанных вертикальными каналами. В крышке реакторного корпуса как раз над этими каналами проделаны отверстия, через которые в реактор опускаются тепловыделяющие элементы — твэлы. Это длинные и довольно тонкие металлические трубки, заполненные ураном-235. Группа из нескольких твэлов образует топлив-

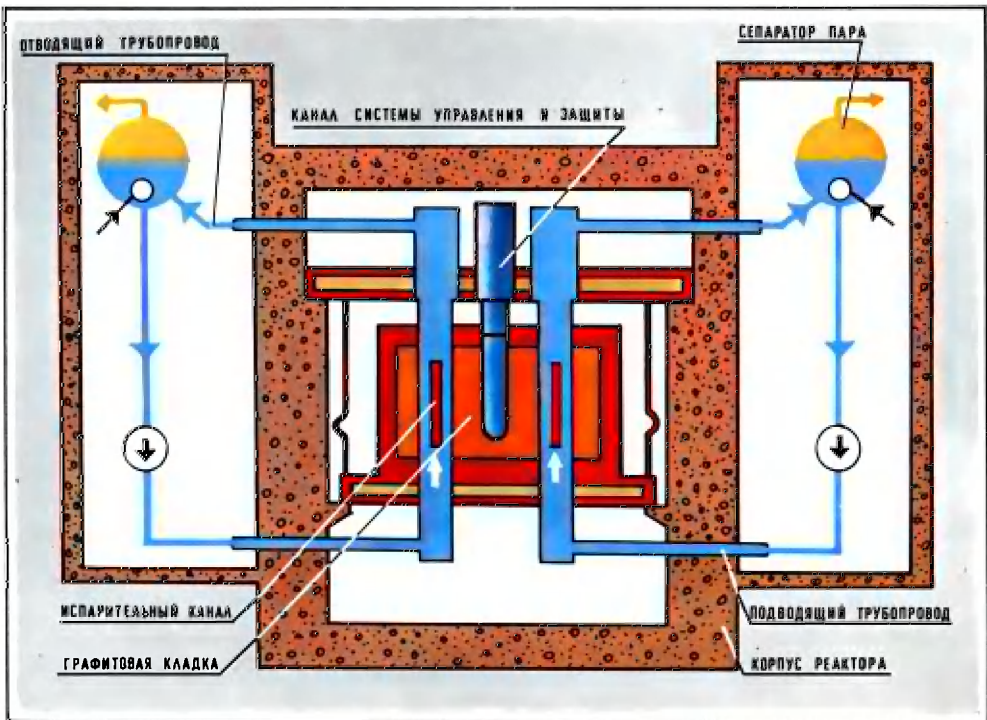
ный канал, в который после начала цепной реакции подается вода. Она отбирает тепло от твэлов, не дает им перегреваться, а сама превращается в пар. А дальше — как на обычной тепловой электростанции: пар вращает турбину, та в свою очередь генератор, вырабатывающий электроэнергию. Так был устроен реактор Обнинской атомной станции, примерно так же устроены и современные ядерные реакторы, хотя за тридцать лет мощность их выросла в 200 раз: серийные реакторы такой конструкции мощностью миллион киловатт в одном блоке установлены на Ленинградской и Чернобыльской атомной электростанциях. А в конце 1983 года на Игналинской атомной вступил в строй крупнейший в мире блок мощностью полтора миллиона киловатт. В одном таком атомном исполнине сконцентрирована мощность всех электро-

станций, сооруженных по плану ГОЭЛРО. А по габаритам полутора-миллионный блок не превосходит «миллионника» — конструкторы нашли возможность увеличить интенсивность теплообмена в топливных каналах в полтора раза.

Еще одна распространенная конструкция реакторов — так называемые водо-водяные. В них вода не только отбирает тепло от твэлов, но и служит замедлителем нейтронов вместо графита. Конструкторы довели мощность таких реакторов до миллиона киловатт. Могучие энергетические агрегаты установлены на Запорожской, Балаковской и других атомных электростанциях. Вскоре реакторы такой конструкции, видимо, догонят по мощности и рекордсмена — полутора-миллионник с Игналинской АЭС.

Но все-таки будущее ядерной энергетики, по-видимому, останется за третьим типом реакторов, прин-

Схема водо-графитового реактора.



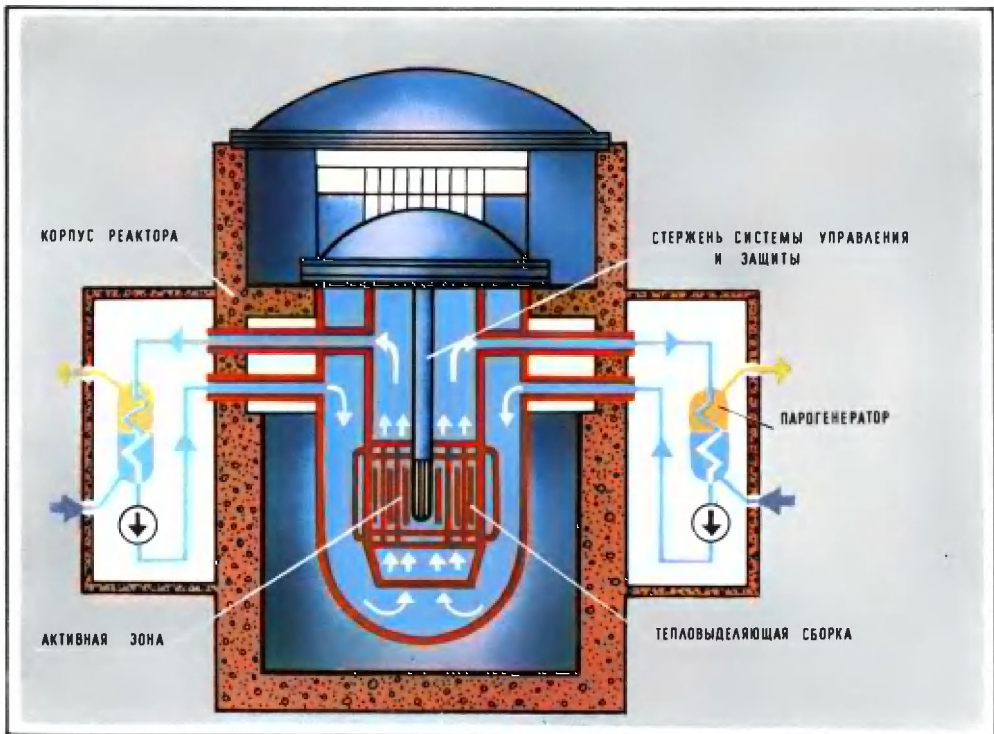
цип работы и конструкция которых предложены советскими учеными,—реакторами на быстрых нейтронах. Их называют еще реакторами-размножителями. Обычные реакторы используют замедленные нейтроны, которые вызывают цепную реакцию в довольно редком изотопе — уране-235, которого в природном уране всего около одного процента. Именно поэтому приходится строить огромные заводы, на которых буквально просеивают атомы урана, выбирая из них атомы лишь одного сорта — урана-235. Остальной уран в обычных реакторах использоваться не может. Возникает вопрос: а хватит ли этого редкого изотопа урана на сколько-нибудь продолжительное время или же человечество вновь столкнется с проблемой нехватки энергетических ресурсов?

Более тридцати лет назад эта

проблема была поставлена перед коллективом лаборатории Физико-энергетического института. Она была решена. Руководителем лаборатории Александром Ильичом Лейпунским была предложена конструкция реактора на быстрых нейтронах. В 1955 году была построена первая такая установка.

Преимущества реакторов на быстрых нейтронах очевидны. В них для получения энергии можно использовать все запасы природных урана и тория, а они огромны — только в Мировом океане растворено более четырех миллиардов тонн урана! Мало того, в реакторах на быстрых нейтронах идет уникальный процесс, ни в одной отрасли энергетики более не известный,— при работе такого реактора производится больше ядерного горючего, чем сгорает! Дело в том, что когда атом урана-235 захваты-

Схема водо-водяного реактора.





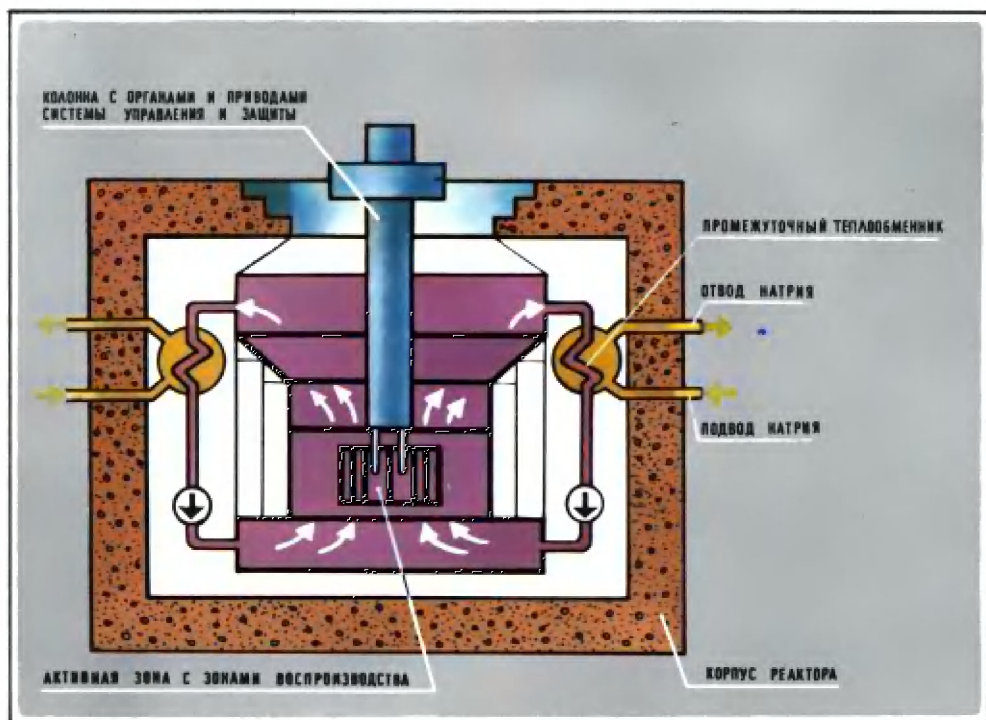
вает нейтрон, он превращается в плутоний-239, который тоже является прекрасным топливом для ядерных реакторов. Совсем как в сказке братьев Гримм о волшебном горшке.

Но конечно, конструкция реакторов на быстрых нейтронах гораздо сложнее, чем у реакторов на нейтронах замедленных. Ведь в них вода, замедляющая нейтроны, не может использоваться в качестве теплоносителя. Здесь уже приходится иметь дело с такими экзотическими теплоносителями, как жидкие металлы. Обнинские ученые предложили охлаждать активную зону реактора жидким натрием. Решение казалось слишком рискованным — ведь натрий сильно окисляется на воздухе и столь активно взаимодействует с водой, что реакция происходит взрывоподобно (вспомним микро-

взрывы кусочков натрия, брошенных в воду на уроках химии). И тем не менее преимущества натрия как тепловыводящего агента оказались столь велики, что ученые пошли на существенное усложнение конструкции реактора, но не отказались от его использования.

В 1973 году вблизи города Шевченко на засушливом прикаспийском полуострове Мангышлак заработал первый промышленный реактор на быстрых нейтронах. В этой зоне, очень богатой полезными ископаемыми, практически отсутствует пресная вода и какие-либо источники энергии. Теперь жителей молодого города электроэнергией и пресной водой обеспечивает установка БН-350 — реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем электрической мощностью 350 тысяч киловатт. Из этих 350 тысяч киловатт не-

Схема реактора на быстрых нейтронах.



посредственно используется в качестве электроэнергии 150 тысяч, а остальная мощность расходуется на получение 120 тысяч тонн пресной воды в сутки. Кроме электроэнергии и пресной воды, установка производит еще и плутоний — превосходное ядерное горючее.

Еще один реактор на быстрых нейтронах электрической мощностью 600 тысяч киловатт работает на третьем блоке Белоярской АЭС. Сейчас разрабатываются реакторы-размножители мощностью 800 и 1600 тысяч киловатт.

Преимущества ядерной энергетики неоспоримы. Уран в два с половиной миллиона раз более энергоемок, чем уголь. Не нужно думать о доставке на станцию громадных количеств топлива (на тепловую станцию мощностью всего лишь в один миллион киловатт ежегодно прибывает 2000 эшелонов угля или 27 тысяч цистерн мазута!), не нужно придумывать, куда девать миллионы тонн золы, как очищать воздушный океан от продуктов сгорания органического топлива, среди которых есть очень вредные. Ядерного горючего на земле хватит на многие сотни лет, а если использовать реакторы-размножители, то проблема топлива вообще снимается с повестки дня. Именно по этим причинам Энергетическая программа нашей страны предусматривает ускоренное развитие атомной энергетики, именно поэтому строятся заводы, выпускающие атомное оборудование, один за другим входят в строй блоки на атомных электростанциях.

Но атомная энергетика принесла с собой и проблемы, которых не знала энергетика традиционная.

Одна из этих проблем — чисто энергетическая. Мы уже говорили о том, что потребление энергии сильно меняется в зависимости и от времени года, и от времени суток. А атомная станция очень плохо

приспособлена к перемене нагрузки. На гидроэлектростанции можно при необходимости несколько сократить подачу воды на турбины (тогда воды в водохранилище останется больше и энергия не пропадет), на тепловой станции — поменьше расходовать топлива. Но приостановить радиоактивный распад нельзя, и изменить мощность атомной электростанции очень трудно. Во всем мире есть только одна станция — Белоярская, которая работает в переменном режиме, дважды в сутки снижая и повышая производство энергии. Необходимость в таком режиме работы привела к существенному усложнению конструкции станции. Поэтому энергетики ищут пути более простого решения этой проблемы, особенно остро вставшей сейчас, когда в европейской части СССР, расположенной практически в одном часовом поясе, строится множество мощных атомных электростанций.

Довольно простое и остроумное решение предложили ученые Энергетического института имени Г. М. Кржижановского. Они создали аккумулятор для перегретого пара, вырабатываемого АЭС, — огромный «термос», в который ночью, когда нагрузки нет, поступает избыточный пар. Днем пар из этого «термоса» поступает на лопатки турбин или используется для подогрева поступающей в атомный реактор воды, что существенно повышает мощность станции. Это изобретение советских ученых запатентовано во многих странах.

Но главная проблема атомной энергетики — это проблема безопасности.

Атомная электростанция — это, по сути, атомная бомба, процессы в которой, по выражению физиков, замедлены до стационарного состояния. И хотя ни при каких условиях атомная электростанция не может превратиться в атомную бомбу и взорваться, всегда су-

ществует опасность радиоактивного облучения и работников станции, и окружающего населения. Поэтому при проектировании станций, при их строительстве и эксплуатации принимаются экстраординарные меры безопасности. И все же даже этих экстраординарных мер иногда оказывается недостаточно.

Приведем интересное, на наш взгляд, историческое сопоставление. Вторая половина XIX столетия была кульминацией «парового века». Стремительно росло во всем мире количество паровых котлов. По современным понятиям, это были маломощные, примитивные устройства. И тем не менее в 1905 году в Соединенных Штатах произошло 450 взрывов котлов, при которых было убито 383 человека и ранено 585.

Работая над увеличением надежности котлов, инженеры тех лет шли по пути непомерного завышения имеющихся запасов прочности, на утяжеление и удорожание паровых машин. Но и этого оказывалось мало. Американское общество страхования от взрывов котлов (пришлось такое организовать) указывало в своем отчете, что на 1 января 1906 года в 3 595 171 паровом котле, осмотренном агентами Общества, оказалось 2 569 127 неисправностей, из которых 272 033 были признаны особо опасными.

Шли годы, и на смену котлу паровому пришел «атомный котел» — устройство, несопоставимо более сложное и потенциально неизмеримо более опасное, чем его предшественник. «Атомный котел», атомный реактор, являющийся источником силы многих наших электростанций, кораблей и подводных лодок, стал тем не менее необычайно надежным элементом установки в целом. Практически не зарегистрировано ни одной особо опасной аварии именно атомных котлов. Это прямая заслуга развитой в наше время науки о надежности.

Эксперты комиссии по атомной энергии США произвели расчет возможности аварий на 100 атомных электростанциях с реакторами, охлаждаемыми кипящей водой под давлением (такое количество электростанций работало в Соединенных Штатах в 1980 году). Тщательно изучили вероятность аварий вообще и возможные последствия 12 гипотетических аварий. Анализ показал, что другие виды аварий — самолетов, автомобилей и т. п. — происходят значительно чаще, чем даже самые незначительные неполадки на атомных электростанциях. Вероятность тысячи и более смертельных случаев из-за крупных аварий на 100 атомных электростанциях Америки 1980 года была равна приблизительно  $10^{-5}$ . Это означает, что такая авария возможна не чаще, чем один раз в миллион лет. Вероятность смертельных исходов от пожаров в тысячу раз, при авариях самолетов — в 5 тысяч раз, при землетрясениях — в 20 тысяч раз, при ураганах — в 40 тысяч раз выше. Аварии с убытком свыше 100 миллионов долларов могут случиться на всех этих атомных электростанциях не чаще, чем один раз в 500 лет. А обычные пожары наносят убытки такого масштаба каждые два года.

И все-таки: в марте 1975 года произошла авария на электростанции «Браунс Ферри» в Калифорнии. Примерно через год было опубликовано официальное заключение комиссии, назначенной для расследования обстоятельств аварии. Оказалось, что авария произошла от пожара: загорелись кабели под помещением, в котором находится пульт управления. Причина пожара была весьма тривиальной — рабочий, определявший место утечки газа, забыл в помещении зажженную свечку. На это наложились многочисленные казусы. Сначала выяснилось, что система пожаротушения неработоспособна, потом перепутали номер телефона по-





*Восстановительные работы на территории Чернобыльской АЭС.*

жарной команды. Когда пожарная команда все-таки приехала, выяснилось, что никто не знает, как надо тушить пожары на атомной электростанции. Только через 6 часов после начала пожара решили тушить его обыкновенной водой, что оказалось вполне достаточным. Крупная авария была предотвращена, несчастья не случилось.

Неисправность в системе управления привела к аварии на атомной электростанции «Кристал ривер» в штате Флорида. По крайней мере, 240 тысяч литров радиоактивной воды вылилось из системы охлаждения реакторов, но было задержано в специальном защитном коллекторе. Радиация в помещении коллектора, в котором, к счастью, не было людей, в 10 раз превысила смертельный для человека уровень.

Серьезная атомная авария произошла в 1979 году на атомной электростанции, расположенной на острове Тримайл неподалеку

от города Гаррисберга в Пенсильвании.

В 4 часа 36 минут утра 28 марта отказали насосы вторичного контура системы подачи, и парогенератор прекратил работу. Реактор мощностью 900 тысяч киловатт тем не менее продолжал вырабатывать тепло. Давление и температура в первичном контуре системы подачи воды достигли критических уровней. Через 8 секунд после аварии реактор автоматически отключился.

Случившееся представляло собой серьезное, но совсем не исключительное происшествие. Тем не менее на станции прозвучали сигналы тревоги. За несколько минут раздалось более ста сигналов, и операторы растерялись. Им было очень сложно разобраться в том, что происходит, проанализировать ситуацию и принять нужное решение. Один из операторов заметил, что насосы, подающие охлажденную воду в теплообменники, за-



*Чернобыльская АЭС. Колонна машин с жидкостью для дезактивации.*

работали, но никто не обратил внимания, что вода не достигала теплообменников — предохранительные клапаны оставались закрытыми. Целых 8 минут реактор продолжал нагреваться, а охлаждающая вода к нему не поступала. Только через несколько минут оператор догадался открыть оба предохранительных клапана.

Затем ошибки операторов последовали одна за другой. Заметили, что повысился уровень воды в компенсаторе давления, но интерпретировали этот факт неправильно. На станции произошел разрыв предохранительного диска первичного контура, вода из которого постепенно выливалась, а операторы предположили, что слишком интенсивно подается охлаждающая вода. Поэтому они запустили аварийные насосы на недостаточную мощность.

Через два часа после аварии ситуация все еще не прояснилась. По телефону связались с конструп-

тором реактора, но он тоже не смог предложить ничего существенного.

Через три часа после аварии начала увеличиваться радиоактивность в помещении станции. Была объявлена общая тревога. Вскоре персонал был вынужден надеть защитные маски — радиоактивность постепенно возрастала.

Реактор оставался таким горячим, что давление воды в первичном контуре продолжало нарастать. Радиоактивная вода вылилась на пол корпуса, в котором был расположен реактор. В самом реакторе образовался газовый пузырь, который препятствовал поступлению охлаждающей воды и не давал снизить температуру реактора.

Через 9 часов 50 минут после начала аварии в комнате, где размещался пульт управления станцией, был услышан глухой звук. Операторы решили, что это хлопнул предохранитель вентилятора. На самом деле это был звук от

взрыва небольшого количества углеводорода, вышедшего из разрыва в первичном контуре и соединившегося с кислородом внутри корпуса реактора. Ко всем неприятностям прибавилась опасность взрыва газового пузыря, образовавшегося в реакторе. (Правда, впоследствии выяснилось, что вероятность взрыва была равна нулю: чтобы могла образоваться взрывоопасная смесь, в герметичном корпусе было слишком мало кислорода.)

Сотрудники станции считали, что опасности взрыва нет, а специалисты Комиссии по ядерной энергии, прибывшие на станцию, придерживались противоположного мнения.

В 8 часов 25 минут радио Гаррисберга информировало о случившемся население города, через час об аварии было сообщено в Белый дом. Мэр города предложил жителям самим принять решение об эвакуации, хотя, по его мнению, необходимости в этом не было.

Утром 29 марта о случившемся уже знала вся Америка — во всех газетах на первых полосах сообщалось об аварии на острове Тримайл.

На следующий день население из-за многочисленных противоречивых деклараций и сообщений, исходящих от губернатора штата, работников станции и экспертов Комиссии по ядерной энергии, продолжало находиться в панике. Разрабатываются планы эвакуации населения из ближайших городов. В радиусе пять миль от станции проживало тогда 25 000 человек, а в радиусе десять миль — 130 000.

В 22 часа 30 марта губернатор штата на пресс-конференции официально сообщил, что, по мнению экспертов, в эвакуации населения нет необходимости. Тем не менее около 200 000 перепуганных жителей прилегающих к станции районов покинули свои дома.

Только после 1 апреля газовая

пробка в корпусе реактора стала постепенно рассасываться. Но еще долго продолжались безостановочные работы по ликвидации последствий аварии. Еще долго продолжались выбросы радиоактивных веществ в атмосферу; в течение почти всего апреля в зданиях станции находилось около трех с половиной миллионов литров радиоактивной воды. По оценкам экспертов, только на работы по дезактивации станции потребовалось около 200 миллионов долларов. Общие затраты на восстановительные работы составили около двух миллиардов долларов.

Серьезные аварии на атомных реакторах происходят и из-за элементарной халатности и безответственности. В дирекции атомной электростанции в американском городе Индиан-Пойнт, неподалеку от Нью-Йорка, хранится, возможно, самая дорогостоящая монета в мире, хотя это всего лишь обычная монета достоинством в четверть доллара. Она была найдена в 360-тонном реакторе и вывела его из строя на целых семь месяцев. Повторный ввод установки в действие обошелся в восемь миллионов долларов. Как эта монета попала в реактор, так и не было установлено.

После аварии на станции «Тримайл айлендс» широкая общественность всерьез заинтересовалась проблемами безопасности атомных реакторов. Эта проблема перестала быть «внутренним делом» специалистов по атомной энергетике, и один за другим вскрываются факты большого числа сбоя и неполадок на атомных электростанциях.

С начала 80-х годов на различных ядерных установках в США произошел целый ряд аварий различной степени серьезности. В одном из официальных документов, подготовленных для конгресса, указывается на множество «плохо управляемых» реакторов. Среди ос-



новых факторов, ставящих АЭС на грань серьезных аварий с непредсказуемыми последствиями, называются халатность, недостаточное внимание к исправлению повреждений, плохое руководство и техническое обслуживание. В 1983 году произошел двукратный отказ системы безопасности на реакторе в Салеме, штат Нью-Джерси. В 1985 году едва не отказала система охлаждения реактора АЭС «Дэвид-Бесс» в штате Огайо, что привело бы к серьезнейшему инциденту; на ядерном реакторе в Ранчо-Секо в штате Калифорния на 26 минут прекратилась подача электроэнергии в систему контроля энергоблока. Из 16 названных в докладе атомных станций 13 пришлось временно закрыть. А совсем недавно, в начале 1987 года, министерство энергетики США закрыло по соображениям безопасности и «из-за административных упущений» четыре научно-исследовательских реактора атомного комплекса в Ок-Ридже, штат Теннесси (еще один был закрыт ранее, в ноябре 1986 года). Этот список можно продолжить. В связи с проблемами безопасности закрыт ядерный реактор в Хантфорде, штат Вашингтон, наполовину снижена мощность трех реакторов (и закрыт четвертый) на АЭС в Саванна-Ривер, штат Южная Каролина. На АЭС в Бивер-Вэлли близ Питтсбурга в результате выхода из строя уплотнителей не сработала система охлаждения реактора в чрезвычайных обстоятельствах.

Подобные же проблемы существуют и в других странах, где действуют АЭС. В Японии, например, власти префектуры Сага на острове Кюсю отдали распоряжение остановить на неопределенное время главный реактор расположенной там атомной электростанции «Гэнкай», где обнаружены опасные неполадки. Совершенно случайно стало известно, что в большинстве трубопроводов на АЭС имеются

многочисленные трещины. По мнению специалистов, это чревато опасностью радиоактивного заражения грунтовых вод и расположенных поблизости водоемов. Серьезную тревогу местных жителей вызвали данные о том, что трещины в трубопроводах были обнаружены еще в 1981 году. Все это время администрация АЭС «Гэнкай» фактически не принимала мер для их устранения, поскольку ремонт привел бы к простоям реактора и потере прибылей хозяев АЭС. И это не единственный случай неполадок на японских атомных электростанциях. По данным печати, только в 1986 году было зарегистрировано по меньшей мере 10 серьезных аварий, вызвавших остановки реакторов.

Многочисленные аварии произошли на атомном заводе в Селлафилде в Великобритании, единственном в этой стране предприятии по воспроизведению ядерного горючего. Все они были связаны с утечкой радиоактивных веществ, которая многократно происходила на заводе. Например, 5 февраля 1986 года на территории завода была объявлена тревога после утечки нитрата плутония во время ремонта насоса в корпусе «В 205». 15 человек были облучены. Специалисты полагают, что в насосе произошли одновременно три поломки, вышла из строя воздушная компрессорная система. Радиоактивные отходы на этом заводе без всякой предварительной обработки выбрасывались в Ирландское море — и это приводило к радиоактивному заражению не только окрестного побережья, но и Скандинавии, Исландии и даже Гренландии. Серьезная авария произошла на АЭС «Хинкли-Пойнт» в графстве Сомерсет в ноябре 1985 года. В атмосферу было выброшено около восьми тонн радиоактивных газов, и люди подверглись радиоактивному облучению.

На АЭС в Крейс-Мельвилле во Франции недавно зафиксирована утечка радиоактивного натрия.

Словом, ясно, что ни одна страна в мире, которая пользуется атомными электростанциями, не застрахована от аварий. Столь низкая вероятность аварий, о которой мы говорили, не учитывает халатности, безответственности, которые абсолютно недопустимы при работе с такой потенциально опасной техникой. К сожалению, не миновала беда и нашу страну.

В 1978 году строители Чернобыльской АЭС сдали в эксплуатацию первый энергоблок мощностью 1000 мегаватт. Началась нормальная эксплуатация станции, и вместе с тем строительство продолжалось — проектная мощность АЭС составляла 6000 мегаватт. Вошли в строй второй, третий и четвертый блоки. Для работников АЭС был построен небольшой городок Припять, весь в зелени, спокойный, уютный.

Весна 1986 года была ранней, и в конце апреля уже в полную силу цвели сады. Город готовился к традиционной Первомайской демонстрации — синоптики обещали на этот день прекрасную погоду.

Но демонстрация не состоялась. В ночь с 25 на 26 апреля жителей Припяти разбудил грохот, донесшийся со станции. Выскочившие на улицу люди увидели зарево над четвертым блоком и поняли: пришла страшная беда. Часы показывали 1 час 23 минуты ночи.

Первыми в борьбу вступили пожарные. Уже через пять минут караул военно-пожарной части, дежурившей на Чернобыльской АЭС, был на крыше машинного зала станции, где бушевало пламя.

Из докладной записки майора Леонида Телятникова, возглавившего работу пожарных: «Горение было во многих местах и на различных отметках от 12,5 до 17,5 метра... Мы осмотрели 4-й блок... Пожара там не было. Из центрального зала хорошо было видно не то зарево, не то свечение. Но в центральном зале, кроме пятака

реактора, ничего нет, гореть нечему. Решили, что свечение исходит от реактора. Позвонил, доложил обстановку для передачи в Киев...»

Вот такой как будто будничным рапорт. А на самом деле все пожарные знали, на что они идут — ведь они давно работали в Чернобыле, и представляли себе грозную опасность, исходящую от реактора. Сапоги пожарных вязли в расплавленном от страшного жара битуме, кругом валялись куски раскаленного добела графита. Но страшнее огня была невидимая и неосязаемая радиация. Шансы выжить были у пожарных минимальными, но не дрогнули ни один. Пока были силы, они героически вели борьбу с беспощадным врагом. Никто не ушел с крыши, пока не пришла подмога — из соседних районов, из Киева примчались пожарные машины.

Вскоре открытый огонь был потушен. Но внутри реактора пожар продолжался, угрожая вспыхнуть «ярче тысячи солнц».

Немедленно приступили к эвакуации населения. Всю зону станции оцепили. Полностью закрыли доступ тем, кто не был связан с ликвидацией аварии, в тридцатикилометровую зону вокруг Чернобыля. Здесь уровень радиации оказался повышенным. А из Киева в сторону Чернобыля уже через несколько часов двинулась громадная колонна из 1216 больших автобусов и 300 грузовиков, со своими средствами связи, дозиметрическими службами, ремонтной мастерской. К полудню следующего дня машины прибыли в зону аварии. Всего несколько часов потребовалось, чтобы вывезти тысячи людей подальше от четвертого энергоблока, в реакторе которого продолжался пожар.

Погасить пожар в реакторе необычайно сложно. Для этого не годились ни вода, ни какие-либо химические вещества — ведь из-за высокой температуры они немедленно бы испарились. А источник радиации необходимо было как

можно скорее закрыть. Мировая практика не знала еще подобных ситуаций. Но решение нашлось — на помощь пришла авиация, чтобы с воздуха «запломбировать» поврежденный реактор.

За несколько суток воины-вертолетчики справились с необычным и нелегким заданием. Представьте себе: к кратеру весьма ограниченного размера нужно было сначала подлететь кратчайшим путем, потом очень быстро сбросить двухсоткилограммовый мешок с песком точно в цель. Все это происходило рядом с высокой трубой атомной станции, а это еще больше осложняло обстановку.

Летчики показали высший класс в этом мирном бомбометании. В первый же день 93 мешка легли точно в цель, во второй — уже 186. И ни одного промаха! На цель наводил вертолетчиков руководитель полетов. По его команде груз направлялся точно на поврежденный реактор.

Уже к 7 мая на крышу поврежденного реактора были сброшены четыре тысячи тонн песка, глины, бора, доломита, известняка, свинца. Радиоактивный выброс резко сократился. Это был огромный успех в борьбе с атомным исполином.

Но опасность еще сохранялась. Сердце реактора — его активная зона — оставалась раскаленной, она как бы висела, опираясь на перекрытия, которые могли быть повреждены во время взрыва. Под реактором в специальном бассейне могла остаться вода. Требовалось решать сложнейшие научные и технические задачи, причем решать мгновенно и безошибочно — дорога каждая минута.

Все участники невиданной операции по спасению станции — от председателя Государственной комиссии, академиков, министров доводителей, монтеров и строителей — проявили мужество и героизм. Мы говорили о подвигах пожарных, в самые критические мо-

менты аварии остановивших огонь. А сколько мужества проявили электрики станции, моментально восстановившие поврежденное при взрыве энергоснабжение, без которого невозможно было вести аварийные работы! Когда понадобилось выпустить остатки воды из бассейна под поврежденным реактором, в кромешной темноте найти и открыть задвижки, участников этой сложной операции долго искать не пришлось. Быстро и точно работали все, кому пришлось вести борьбу с опасностью.

Вскоре удалось наладить охлаждение активной зоны реактора, закрепить пространство под поврежденным энергоблоком. К 13 мая стало ясно, что основная опасность миновала. Предстояла огромная работа по захоронению поврежденного реактора, дезактивация станции и прилегающих районов, обеспечению ввода в действие исправных, но законсервированных остальных энергоблоков станции.

На помощь Чернобылю пришла вся страна. Тысячи добровольцев просили направить их для восстановления станции. Любые, даже самые сложные заказы на оборудование и приспособления для работ на станции выполнялись мгновенно. Шахтеры и метростроевцы со всей страны прокладывали наклонные тоннели под четвертый энергоблок, по которому пойдет бетон для окончательного захоронения реактора.

Началось строительство «могильника». Вблизи реактора, где уровень радиации оставался еще высоким, строительные работы велись с помощью радиоуправляемых механизмов, а там, где медики и дозиметристы дали разрешение на работу людям, трудились специалисты самых разных профессий. Ведь строящийся «могильник» — не просто бетонный шатер, это сложное сооружение, позволяющее не только захоронить поврежденный реактор, но и вести постоянный



контроль за его состоянием, прежде всего за температурным режимом активной зоны.

Сооружение саркофага над четвертым энергоблоком было завершено в конце 1986 года. Громадное сооружение из бетона на высоте 60 метров венчает металлическая кровля. Завершение этого этапа работ сразу же изменило обстановку на АЭС — там, где раньше можно было находиться всего несколько секунд, теперь стало возможным спокойно работать, соблюдая, конечно, строгие правила безопасности.

Приводится в порядок город Припять. Воины-химики методично «оживляют» дом за домом, улицу за улицей. По всей территории города снят слой грунта. Чтобы представить себе объем проводимых работ, назовем такую цифру: только с балконов жилых домов вывезено около двух с половиной тысяч машин различного мусора.

Не меньше объем работ, проведенных с целью обезопасить водный бассейн от попадания радиации. В верхней части Киевского водохранилища построена подводная запруда длиной 450 метров. Перед ней сделана выемка шириной в 100, глубиной до 16 метров. Это — подводная ловушка, цель которой — задерживать могущие попасть сюда из притоков реки Припяти радиоактивные частицы.

Такие же иловые ловушки сделаны перед плотиной Киевской ГЭС, севернее устья Припяти. Возведены водоохранные сооружения на реках Сахан, Илья, Вересня и других, впадающих в Припять. В грунте у основания четвертого блока сооружена 30-метровая бетонная стена, которая, как шлаббаум, перекрыла сток грунтовых вод к реке. Всего построено 137 водоохранных сооружений общей длиной более 29 километров. Принятые меры дали отличный результат — пробы, которые регулярно берутся в разных районах Киевского водохранилища,

из Днепра, показывают, что никаких отклонений по части радиации в воде нет.

Но все же: почему произошла авария на четвертом блоке, унесшая жизни 31 человека, потребовавшая невиданного напряжения сил всего народа для ликвидации последствий? Правительственная комиссия, тщательнейшим образом проанализировавшая причины аварии, составила доклад — два объемистых тома. Этот доклад был представлен совещанию экспертов стран — членов Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). И как это ни горько, причина обычная — халатность, безответственность обслуживающего персонала.

Авария 26 апреля произошла в ходе проведения эксперимента на турбоагрегате четвертого блока. Люди, допустившие преступную безответственность и создавшие на АЭС катастрофическую ситуацию, заботились, оказывается, о... безопасности станции. Эксперимент проводился с тем, чтобы проверить возможность использования механической энергии ротора турбогенератора для поддержания работы энергоблока в случае аварийного обесточивания. Эксперимент, конечно, полезный, но проводился он с грубейшими ошибками, с нарушением всех принятых требований. Эксперимент был неправильно продуман и организован, не согласован ни с представителями главного конструктора реактора, ни с научным руководством по ядерной безопасности. Опыт проводили на работающем реакторе и отключенных системах аварийной защиты, в частности аварийного охлаждения. Быстрый рост мощности реактора в результате ошибок операторов привел к интенсивному парообразованию в каналах реактора, а затем и к паровому взрыву, разрушившему часть конструкций реактора и разгерметизировавшему шахту.

Итак, случившееся в Чернобы-

ле — не что иное, как цепь роковых ошибок человеческого мышления. Персоналом АЭС их было допущено шесть. В результате были отключены системы аварийной защиты реактора. Трагедии могло бы не произойти или масштабы ее были бы несравненно меньше, если бы хотя одна из защит не была отключена. Но, как ни парадоксально это звучит, к преступной самоуспокоенности привела длительная надежная работа системы, обладающей большой потенциальной опасностью. И это приводит к выводу, что безусловно необходимое наращивание систем безопасности не может окончательно решить проблему надежности АЭС. Нужна принципиально новая концепция, на основе которой будет создан ядерный реактор с внутренне присущим ему свойством «сверхвысокой надежности». В самой конструкции реактора должна быть заложена способность обезопасить себя при любых сбоях или ошибочных действиях людей.

Ученые ряда стран уже предложили несколько вариантов конструкций таких реакторов. Главное в этих конструкциях то, чтобы при любой неисправности быстро охладить активную зону реактора, причем это должно произойти вне зависимости от действий оператора. Подобную конструкцию под названием ПИУС предложили шведские ученые. Перспективен переход от энергоблоков большой единичной мощности к так называемым модульным конструкциям, в которых мощность каждого агрегата невелика, и даже в случае аварии ущерб будет невелик. Академик А. Д. Сахаров предложил располагать реакторы глубоко под землей. Но все-таки абсолютная безопасность, по мнению некоторых ученых, может быть обеспечена лишь для устройств, лишенных запаса энергии. Что же касается столь концентрированной энергии, как в ядерном горючем, то даже более безопасные системы

все равно будут требовать четкого соблюдения всех необходимых процедур. Такие аварии, как на «Три-майл айлендс» и в Чернобыле, со всей остротой поставили вопрос о необходимости создания международного режима безопасности развития ядерной энергетики. По инициативе СССР МАГАТЭ подготовило и приняло на специальной сессии Генеральной конференции МАГАТЭ две конвенции: «По обязательному оповещению о ядерных авариях, где бы они ни произошли» и «Об оказании помощи странам в случае аварий на АЭС». Они не только подписаны десятками государств, но и уже работают, внося определенный стабилизирующий фактор в сложную область международных отношений. Именно в рамках этих конвенций была дана оперативная информация о пожаре на советской атомной подводной лодке — ведь эти конвенции относятся не только к инцидентам на промышленных атомных объектах, но и на военных ядерных установках.

Но все четыреста атомных электростанций, работающих сейчас на планете, не могут создать угрозу, хотя бы сравнимую с угрозой, исходящей от пятидесяти тысяч боеголовок. Авария на Чернобыле еще раз подчеркнула необходимость нового мышления, адекватного существующей ситуации, когда человечество может быть поставлено милитаристскими силами на грань полного уничтожения. Пример такого мышления демонстрирует Советский Союз, неустанно добивающийся освобождения земли от ядерного оружия.

Еще одна проблема, о которой постоянно говорят противники атомной энергетики, например партия зеленых в ФРГ (один из ее лозунгов: «Атомная энергия? Спасибо, не требуется»), — проблема радиационной безопасности. Оппоненты атомной энергетики утверждают, что постройка атомных электро-

станций даже при безаварийной работе окончательно заразит окружающую среду, подвергнет население близлежащих пунктов многочисленным заболеваниям, связанным с радиоактивным облучением. Действительно, радиоактивное излучение вызывает в организме человека необратимые изменения, приводящие к серьезным заболеваниям и даже к смерти. Многие пионеры исследования радиоактивности стали жертвами излучения, они не знали еще о их вредоносном характере и не соблюдали никаких правил безопасности. Достаточно сказать, что находящийся в музее листок из записной книжки Марии Кюри до сих пор радиоактивен!

Именно поэтому при проектировании и строительстве атомных электростанций особое внимание уделяется проблемам радиационной безопасности. На пути вредоносного излучения воздвигнуты многочисленные барьеры. Расчеты показывают, что уровень радиации в радиусе 80 километров от атомной электростанции по меньшей мере в 6000 раз меньше дозы облучения от естественного радиоактивного фона, возникающего при радиоактивном распаде естественных радиоактивных веществ, присутствующих в почве, горных породах и строительных материалах, от космических лучей, которые бомбардируют землю с момента ее образования.

Анализ аргументов противников атомной энергетики в некоторых случаях показывает, что в их число входят отнюдь не только ревнители чистоты полей, лесов и водоемов. Против атомных станций борются, например, представители военно-промышленного комплекса США, не желающие расставаться с ураном и плутонием. Их не устраивает, что эти редкие элементы будут использоваться в атомных реакторах станций, а не в атомных боеголовках. Против атомных электростанций выступают также могущественные в

капиталистическом мире владельцы гигантских нефтяных и угольных компаний, чьи барыши окажутся под угрозой при широком развитии атомной энергетики.

Не только технические проблемы возникают в связи с использованием атомной энергии. Как, например, совместить развитие атомной энергетики и неизбежное накопление плутония — прекрасного материала для изготовления атомных бомб — с идеей нераспространения атомного оружия? Не следует ли изымать накапливающийся плутоний, оставив лишь урановую атомную энергетику? Эти законные опасения и естественные предложения выходят за сферу техники и вторгаются в область политики, в ту область, где наша страна уже давно зарекомендовала себя последовательным борцом за ядерное разоружение.

Есть и еще одна неожиданная опасность. Некоторые ученые высказывают сомнения: не может ли слабый контроль за хранением образующегося плутония на некоторых электростанциях (а число их уже измеряется тысячами) привести к тому, что какие-нибудь злоумышленники, или политические шантажисты, или просто преступники похитят этот редкий элемент и сами изготовят примитивное атомное оружие? Это — сфера не техническая, скорее уголовно-полицейская. И все же она неразрывно связана с развитием атомной энергетики.

Наконец, действительно насущной остается проблема хранения или уничтожения радиоактивных отходов, образующихся при работе атомных электростанций. В первое время серьезность этого вопроса была явно недооценена. Так, США и Англия радиоактивные отходы своих плутониевых заводов сбрасывали прямо в моря и океаны. Во Франции эту проблему решали еще проще — радиоактивные отходы попросту сливали в Сену. Теперь подход к этой проблеме куда серьез-



нее; некоторые считают даже, что она неразрешима.

Советские ученые смотрят на перспективу решения задачи захоронения радиоактивных отходов оптимистично. Прежде всего, отходов этих крайне мало — всего одна тонна на 10 миллиардов киловатт-часов выработанной энергии, стоящей десятки миллионов рублей. Естественно, что какие бы меры ни предпринимались для захоронения столь малого количества отходов, на стоимости электроэнергии это почти не отразится. С физической точки зрения, отходы — это «невыгоревший» уран и плутоний, активность которых невелика, и так называемые осколки деления, в которых радиоактивных продуктов достаточно много. Среди них есть короткоживущие изотопы, с периодом полураспада месяцы или годы, и долгоживущие, у которых этот период — сотни и тысячи лет. Наиболее активны именно короткоживущие элементы. Этот факт и определил сложившуюся технологию переработки и захоронения радиоактивных отходов.

Отработанные тепловыделяющие элементы удаляются из реактора. Они помещаются на несколько лет в специальные хранилища, сооруженные прямо на атомной электростанции. За это время большинство короткоживущих элемен-

тов распадается, радиоактивность отходов снижается в тысячи раз. Теперь их можно вполне безопасно транспортировать в постоянные хранилища. Сейчас подыскивают такие геологические формации на суше и на море, герметичность которых обеспечена самой природой. Примером таких формаций могут служить соляные купола. Ведь если такой купол в течение сотен миллионов лет оставался заполненным солью, значит, все это время туда не проникала вода, которая могла бы нарушить герметичность хранилища и вынести оттуда радиоактивные продукты наружу. Такие хранилища, как правило, оснащаются чувствительными датчиками, сигнализирующими даже о самом незначительном нарушении герметичности. Если такое все же произойдет, всегда можно перенести контейнеры с отходами в другое надежное хранилище.

Нет сомнений в том, что атомная энергетика заняла прочное место в энергетическом балансе человечества. Она безусловно будет развиваться и впредь, безотказно поставляя столь необходимую людям энергию. Однако понадобятся дополнительные меры по обеспечению надежности атомных электростанций, их безаварийной работы, а ученые и инженеры сумеют найти необходимые решения.



*Солнце на Земле — термоядерный реактор.*

---

## Глава 7

### СОЛНЦЕ НА ЗЕМЛЕ

На пресс-конференции в Буэнос-Айресе, которую президент Аргентины Хуан Перон назначил на 26 марта 1951 года, собрался цвет мировой прессы. Журналистов заранее предупредили, что их ожидает грандиозная сенсация, оставалось только гадать какая. Но то, о чем объявил президент, оказалось настолько невероятным, что даже ко всему привычные журналисты опрометью бросились к телефонам и телетайпам, чтобы в ближайшие выпуски газет попало не просто сенсационное, а сверхсенсационное сообщение: несколько недель назад в Аргентине осуществлена управляемая термоядерная реакция, обуздана энергия водородной бомбы!

Рядом с Пероном на пресс-конференции сидел автор открытия — некий Рональд Рихтер, в прошлом австрийский, а ныне аргентинский подданный. Именно ему несколько лет назад Перон поручил возглавить ядерные исследования в Аргентине.

И вот теперь Рихтер гордо заявил собравшимся: «Я умею вырабатывать ядерную энергию без урана!» Прямо на пресс-конференции президент прикрепил на грудь физика высшую награду Аргентины — медаль своего имени.

Перон объявил, что на острове Хемуль создан атомный центр, который обошелся государству в сто миллионов долларов.

Атомный центр надежно защищен, полностью засекречен и абсолютно недоступен для посторонних.

Теперь столь большие затраты на создание центра и его физических установок окупятся сторицей — ведь получен практически неисчерпаемый источник энергии!

Как только сообщение об открытии попало в руки ученых, у них сразу же возникли сомнения. Во-первых, хотя Рональд Рихтер действительно был физиком, работавшим во время войны в берлинском институте, особых научных достижений за ним не значилось. Казалось невероятным, чтобы средней руки ученый смог совершить то, что не удавалось сделать крупнейшим физикам современности. Во-вторых, сумма сто миллионов долларов, весьма большая на первый взгляд, для специалистов отнюдь не выглядела столь уж грандиозной — ведь, в отличие от журналистов, они знали, что на реализацию «Манхэттенского проекта», завершившегося созданием атомной бомбы, было затрачено больше двух миллиардов.

Отклики ученых, появившиеся в мировой прессе, сильно отличались от восторженных репортажей журналистов. Они весьма критически отнеслись к сообщению Перона, и это обеспокоило аргентинских политиков.

Была создана специальная комиссия, изучившая состояние дел в атомном центре.

Выводы комиссии оказались неутешительными: единственной правдой из того, о чем говорилось на пресс-конференции, было то, что сто миллионов долларов действительно были истрачены, но они ушли неизвестно куда.

Получение энергии из водородной бомбы оказалось блефом. Диктатор Перон, подобно князьям и герцогам средневековой Европы, содержавшим придворных алхимиков, попался на удочку шарлатана. Рихтер впал в немилость. Да и сам Перон вскоре был свергнут военными и изгнан из страны. Полагают, что не последнюю роль в судьбе Перона сыграла афера его придворного алхимика.

Почему же один из многих способов получения энергии стал предметом столь обостренного внимания журналистов, политиков и ученых?

Дело в том, что, оказавшись заявлением аргентинцев правдой, человечество навсегда избавилось бы от тревог по поводу ограниченности его энергетических источников.

Миллионы лет смотрят на Землю безмолвные звезды. Тысячи лет помогают они людям находить верный путь в далеких странствиях по суше и в море. Но лишь сравнительно недавно люди стали понимать, что такое звезды и почему они светятся. Древним все было ясно: звезды — это огонь, закрепленный всемогущим богом на небесных сферах. Потом, когда небесные сферы из представлений астрономов исчезли, а звезды заняли свои места в глубинах космоса, ученые поняли, что дарящее жизнь Солн-

це — это просто ближайшая к нам звезда, вокруг которой вращаются планеты. Когда физики «взвесили» Солнце и определили его массу, источник, откуда черпает оно свою энергию, стал особенно загадочным.

Ведь если бы Солнце состояло даже из самого лучшего, известного людям топлива, оно уже давно, всего за несколько тысячелетий, сгорело бы без остатка.

Меньше чем сто лет назад, в 1897 году, тогдашний старейшина химии Клеменс Винклер весьма пессимистически высказывался по поводу возможности познать источник энергии звезд: «Мы, обитающие на Земле, приковываем свой взгляд к сверкающим небесным светилам над нашими головами; мы следим за их движением, даже рассчитываем его с поразительной точностью, однако наше горячее желание проникнуть в суть их происхождения, в их сущность и назначение остается неутоленным. По отношению к загадкам Космоса все мы являемся вопрошающими детьми».

А уже через несколько лет молодой Резерфорд закончил свои классические работы по теории радиоактивности. Родилась атомная физика, которая смогла дать ответ и на давно волнующий ученых вопрос: откуда звезды берут энергию, позволяющую им светить постоянно и неизменно миллиарды лет?

Ученые установили, что источник энергии звезд — термоядерный синтез, образование одних элементов из других, более легких. При немыслимых температурах и давлениях в недрах звезд из водорода синтезируется гелий (водород — самый распространенный в природе элемент). С открытием гелия связана довольно любопытная история. Незвестную ранее ярко-желтую линию в спектре солнечной короны обнаружил француз Ж. Жансен 19 августа 1868 года и несколь-



ко позже — англичанин Дж. Локьер. Как было принято, оба направили письма с сообщением о своем открытии в Парижскую Академию наук. Но Жансен работал в Индии, письма оттуда шли куда дольше, чем из соседней Великобритании. Сообщения от обоих ученых пришли в Париж в один и тот же день и были зачитаны на заседании Академии 26 октября с интервалом в несколько минут. Оба ученых утверждали об открытии ими на Солнце нового элемента. Пораженные столь странным совпадением, академики постановили выбить в честь этого события золотую медаль. Новый элемент был назван гелием в честь Гелиоса — Солнца. Лишь спустя много лет «солнечный» газ — гелий был обнаружен на Земле, но прошло еще немало времени, пока этот газ нашел первое практическое применение. В конце прошлого века английский юмористический журнал «Панч» поместил карикатуру, на которой гелий был изображен в виде хитро подмигивающего забавного человечка. Подпись под рисунком гласила: «Наконец-то меня изловили и на Земле! Это заняло немало времени!»

Интересно теперь знать, сколько пройдет времени, пока они придумают, что со мной делать?» И солнечный человечек был прав: люди тогда свободно обходились без всякого гелия.

Но возвратимся к солнцу и до сих пор загадочному процессу превращения в нем водорода в гелий. Конечно, при термоядерном синтезе происходит не просто сборка атома гелия из четырех водородных, процесс этот весьма сложен и включает много этапов, но в результате все-таки образуется атом гелия.

А он оказывается чуть легче, чем четыре атома водорода.

Эта «потерянная» масса в соответствии со знаменитой формулой Эйнштейна («энергия равна массе,

умноженной на квадрат скорости света») в процессе превращения водорода в гелий обратилась в энергию. При образовании одного атома гелия выделяется 26,7 миллиона электрон-вольт. Это, конечно, очень маленькая энергия, но зато атомов — неисчислимое количество. На солнце в энергию ежесекундно превращается четыре миллиона тонн массы.

Такую энергию трудно даже представить — ведь при самом мощном термоядерном взрыве на земле в энергию превратилось всего лишь около килограмма вещества.

А если использовать более привычные сравнения, можно сказать, что в каждом литре воды содержится столько же энергии, как в трехстах литрах бензина.

Интересно, что получить энергию, синтезируя гелий из водорода, казалось ученым значительно более простым и легко осуществимым делом, чем получить энергию при расщеплении атомов. Легче, казалось, соединить несколько атомов, чем расщепить один. Действительно, трудно было себе представить, что атом, само название которого свидетельствует о стабильности и неизменности (слово «атом» древнегречески означает «неделимый»), можно раздробить. Однако нашелся подходящий «снаряд», определилась схема расщепления, и атомная энергетика не только стала реальностью, но и развивается огромными темпами. А вот управляемую термоядерную реакцию с энергетическим выходом, реакцию синтеза, до сих пор осуществить не удалось, хотя управляемая термоядерная реакция, сопровождающаяся выделением немалых количеств энергии, реализована уже много лет назад в зловещих водородных бомбах. В лекции, прочитанной академиком П. Л. Капицей при вручении Нобелевской премии по физике, ученый заявил, что у него «вызывает не-

которое недоумение» то обстоятельство, что до сих пор не удалось осуществить ядерный синтез не взрывного типа.

Теоретически схема высвобождения термоядерной энергии совершенно ясна уже много лет — нужно «всего лишь» разогнать ядра легких элементов до таких скоростей, чтобы при столкновении они не разлетались, а сливались. Кроме того, таких ядер должно быть достаточно много, чтобы столкновения и слияния происходили часто.

Теоретически все ясно, а вот практически...

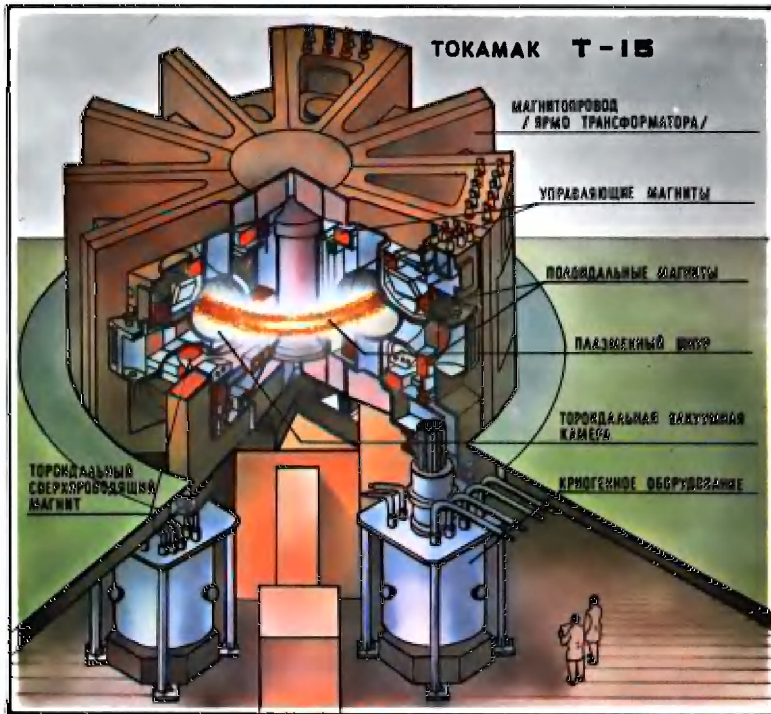
Академик Л. А. Арцимович, в течение многих лет возглавлявший советскую термоядерную программу, вспоминал, что когда приступили к поиску путей овладения энергией термоядерного синтеза, казалось, что проблема сравнительно проста — для ее решения пред-

стоит пройти некоторый путь между двумя точками. Но с углублением в проблему трудности возростали: оказалось, что путь этот надо «не пройти, а проехать на велосипеде; потом — проехать на велосипеде, но по канату; потом — что велосипед одноколенный; потом — что ехать нужно с завязанными глазами; и наконец — задом наперед».

Советские ученые приступили к решению задачи обуздания термоядерной реакции еще в начале 50-х годов.

В Институте атомной энергии по инициативе И. В. Курчатова была создана большая лаборатория, к работе в которой привлекли крупнейших ученых.

В те годы было уже известно, что любое вещество, нагретое до нескольких десятков тысяч градусов, превращается в плазму — особое состояние вещества, в котором эле-





«Токамак-7».

ктроны оторваны от своих атомов. Поскольку электроны стали весьма подвижными, плазма довольно хорошо проводит электрический ток. Этим воспользовались, чтобы разогреть необычное вещество до миллиона градусов. И тут же возникает простой, но убийственный вопрос: где хранить такое экзотическое вещество?

Ни один сосуд, выполненный из обычных земных материалов, не сможет удержать разогретую до миллиона градусов плазму — при соприкосновении с сосудом или плазма тут же остынет, или же сосуд сгорит.

Осенью 1950 года в лаборатории академика И. Е. Тамма родилась простая и изящная идея — изолировать плазму от стенок сосуда, в котором она находится, магнитным полем.

При таком способе удержания плазма как бы помещается в

сеть, сотканную из силовых линий магнитного поля, она «висит» в вакууме и ни с чем не соприкасается. «Магнитные бутылки» позволили перейти к экспериментам с плазмой.

25 апреля 1956 года И. В. Курчатов выступил в английском атомном центре в Харуэлле.

Ученые Великобритании, собравшиеся на лекцию советского академика, были поражены: гость откровенно и открыто рассказывал о работах, которые были строжайше засекречены и в Англии, и в США.

Он говорил о термоядерной реакции в газовом разряде, о термоядерном горючем, о методах удержания раскаленной до звездных температур плазмы, о том, что советским ученым удалось разогреть плазму до миллиона градусов.

Это была настоящая сенсация. Английские ученые и журналисты не знали, как себя вести. В комментарии агентства Рейтер говорилось,

что английские ученые ожидали, что Курчатов будет выкачивать из них информацию, а вместо этого советский ученый рассказал им самим, что и как следует делать.

В августе 1956 года — новая советская инициатива — на симпозиуме по космической электродинамике, происходившем в Швеции, о последних советских достижениях в области термоядерного синтеза рассказали во всеулышание Л. А. Арцимович и И. Н. Головин.

Лишь через год решению СССР о снятии секретности с работ по термоядерному синтезу последовали США и Англия.

И вот что выяснилось: разделенные непреодолимыми, казалось бы, барьерами секретности, физики трех стран — СССР, США и Англии — пришли к одному и тому же выводу: единственная возможность удержать плазму и не дать ей охладиться — это использовать магнитное поле.

Невидимое, неосязаемое, оно прочной сетью силовых линий будет держать плазму вдали от стенок любого сосуда.

Выяснилось также, что физики этих стран не только разработали однотипные установки, но и получили на них примерно одинаковые параметры плазмы. Более того, лабораторные, жаргонные, названия установок тоже оказались одинаковыми!

Многие пути осуществления звездных реакций в земных условиях, найденные учеными, оказались тупиковыми; другие, возможно, приведут к успеху.

Пока наиболее перспективными считаются два основных направления.

Первый путь — это продолжение «старых» работ по управляемому термоядерному синтезу, связанных с магнитным удержанием плазмы.

Еще в 50-х годах в СССР были сконструированы ловушки типа «Токамак» («тороидальная камера с

аксиальным магнитным полем», или «ток, камера, магнитные катушки»).

Эта русская аббревиатура стала таким же общеупотребительным во всем мире словом, как «спутник».

И советские, и зарубежные токамаки устроены примерно одинаково.

В тороидальную камеру, похожую на гигантскую автомобильную шину, закачивают газообразный изотоп водорода — дейтерий или его смесь с другим изотопом — тритием.

Камера надета на магнитопровод и является фактически вторичной обмоткой трансформатора.

Индукционным путем в камере наводится кольцевой ток, который сильно разогревает газ, ионизирует его и создает плазму. Этот ток, хотя и создает собственное магнитное поле, суживающее плазму до тонкого шнура и отрывающее ее от стенок, оказывается, еще не гарантирует долгой, устойчивой жизни плазмы.

Чтобы продолжительность жизни плазмы увеличить, на поверхность камеры надеваются катушки, создающие магнитное поле, напряженность которого во много раз больше, чем напряженность поля, создаваемого током, а силовые линии параллельны току в плазме. Это магнитное поле придает необходимую жесткость плазменному шнуру и удерживает плазму в течение времени, необходимого для ее разогрева до миллионов градусов.

Долго, шаг за шагом улучшались параметры плазмы, повышалась ее температура, увеличивались плотность, время существования. Широкомасштабные эксперименты были проведены на установке «Токамак-7». Теперь в строю «Токамак-10». По мнению академика Е. П. Велихова, возглавляющего исследования по магнитному удержанию плазмы, это — последняя, чисто экспериментальная установка.



В «Токамаке-10» ток в плазме достигает 600 тысяч ампер, а объем самой плазмы — почти четыре кубометра.

Но и в такой огромной установке плазма не хотела вести себя так, как указывали ей теории, разработанные физиками.

Оказалось, что более тяжелая составляющая плазма (ионы) ведет себя вполне благопристойно, передвигаясь только по тем траекториям, которые предписаны теорией.

А вот электроны вели себя своевольно и находили разные пути, чтобы выбраться из магнитной ловушки. Изучение причин столь «недостойного» поведения электронов показало, что в камере токамака могут создаваться такие условия, при которых магнитное поле как бы выворачивается наизнанку — в центр попадает более холодная плазма, а к стенкам устремляется более горячая.

Физики назвали этот процесс перезамыканием силовых линий.

Интересно, что такой же процесс перезамыкания силовых линий в хвосте магнитосферы Земли приводит к полярным сияниям, это же перезамыкание приводит к вспышкам на Солнце — источникам опасного для космонавтов космического излучения.

Много трудностей создала неустойчивость плазмы для ученых, разрабатывающих энергетические термоядерные реакторы. Но, как сказал академик Л. А. Арцимович, природа может расположить на пути исследователей лишь конечное число препятствий, которые рано или поздно будут все же преодолены.

Опыты на «Токамаке-10» многому научили физиков, в том числе и методам борьбы с неустойчивостью плазмы. Научились они и разогревать плазму до 40 миллионов градусов, и сохранять ее в течение заметного времени. Расчеты показывают, что определяющим для термоядерной реакции является не

просто время удержания плазмы, а его произведение на плотность плазмы — ведь чем плотнее плазма, тем больше частиц прореагирует в каждую единицу времени. Для «Токамака-10» этот параметр оказался в 40 раз меньше, чем требуется.

Но этот, казалось бы, неутешительный факт физиков сейчас не очень волнует.

Дело в том, что в опытах было подтверждено одно очень важное предположение: время удержания плазмы в «Токамаке» быстро растет с увеличением размеров плазменного «бублика». Поэтому заветной цели можно достичь, двигаясь просто по пути увеличения установок.

Плазма будет существовать необходимое время, если реактор будет в три-четыре раза больше, чем «Токамак-10».

Этот результат — один из самых важных в цепи достижений физиков.

В нашей стране сейчас создана крупная установка «Токамак-15». В ней используются сверхпроводящие катушки, конструирование и изготовление которых само по себе представляет сложнейшую научно-техническую задачу. На этой установке впервые должна быть получена энергия, превосходящая по количеству ту, которая затрачена на разогрев плазмы, то есть энергетический выход.

В этой установке предполагается получить плазму с теми значениями плотности и температуры, которые требуются для энергетического реактора. В этом случае только объем плазмы будет несколько меньшим.

В самое ближайшее время «Токамак-15», прообраз термоядерных электростанций будущего, даст первые научные результаты.

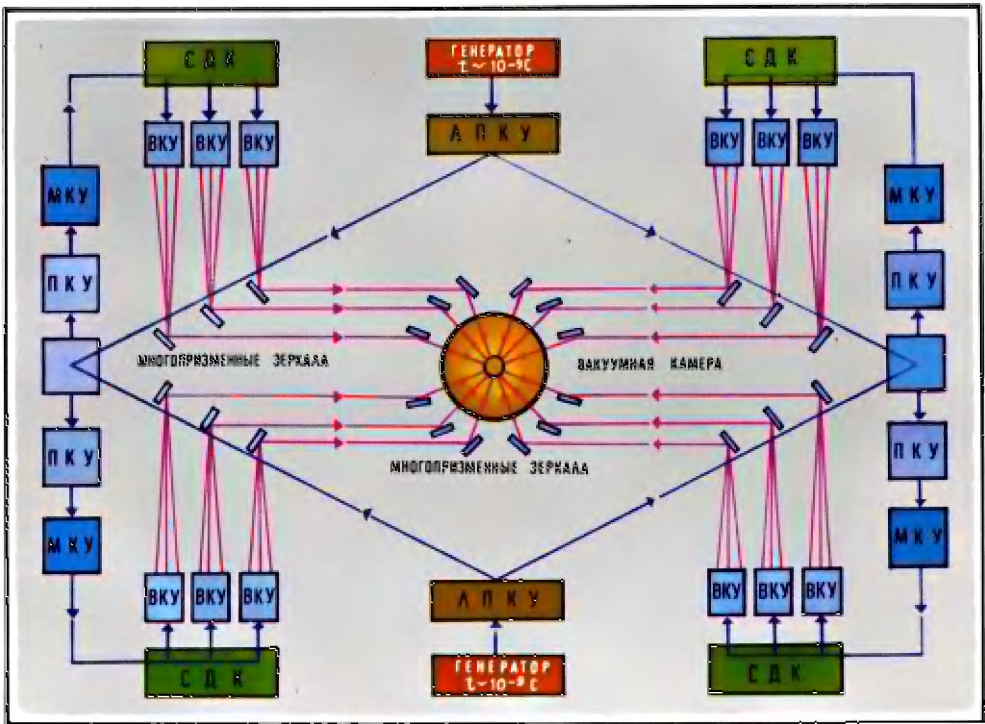
Советский Союз последовательно проводит идею об интернационализации исследований по термоядерному синтезу, объединению

усилий ученых разных стран для решения столь сложной и насущно необходимой человечеству задачи обеспечения энергетического изобилия. На пресс-конференции в Париже Генеральный секретарь ЦК КПСС М. С. Горбачев поддержал идею международного сотрудничества в разработке и реализации проекта термоядерного синтеза. Речь идет о практической постройке международного термоядерного реактора. Эта идея возникла в 1978 году, когда вице-президент Академии наук СССР академик Е. П. Велихов от имени Советского правительства внес предложение в Международное агентство по атомной энергии о создании термоядерного реактора на международной основе. В 1979 году в Вене была создана рабочая группа специалистов стран — членов «Евратома», СССР, США и Японии. Советскую часть проекта возглавляет академик Б. Б. Кадомцев. Группа разработала проект термоядерного реактора «Интор», подобного советским «Токамакам». Это — еще не промышленный реактор, но исследования на нем дали бы возможность опробовать все основные узлы будущих термоядерных электростанций.

По своему замыслу «Интор» соответствует последнему этапу на пути от физических установок к опытно-промышленным электростанциям. Ученые хотят добиться того, чтобы в «Инторе» происходила самоподдерживающаяся термоядерная реакция в импульсном режиме. А именно: в камере создается дейтериево-тритиевая плазма, которая в течение нескольких секунд нагревается до необходимой

температуры. В центре камеры находится источник нейтронов, который поддерживает реакцию. Вокруг камеры расположены каскады усиления, которые усиливают сигнал от источника нейтронов. Выходные каскады усиления соединены с генератором, который вырабатывает электроэнергию.

Схема лазерного термоядерного реактора: ЛПКУ — линейные предварительные каскады усиления; ПКУ — предварительные каскады усиления; МКУ — многоканальные каскады усиления; ВКУ — выходные каскады усиления.



температуры — примерно до 100 миллионов градусов. Потом нагрев прекращается, и в плазме примерно три с половиной минуты идет термоядерная реакция. Через 20—30 секунд после завершения реакции, за которые в реактор впрыснут новую порцию топлива, цикл повторится.

За стенкой реактора будет установлен так называемый бланкет — устройство, которое поглощает потоки нейтронов, выделяющихся в результате реакции, и преобразует их энергию в тепло, которое уже легко использовать в энергетических целях.

Кроме того, в бланкете будет нарабатываться тритий, которого в природе мало.

Его будут получать искусственно из лития.

Второй весьма перспективный путь к управлению термоядерным синтезом — это так называемое инерционное удержание плазмы.

Эта идея возникла даже раньше, чем идея магнитного удержания.

Еще при взрывах первых водородных бомб обнаружили, что нагретая до миллионов градусов плазма даже при давлениях в миллионы атмосфер разлетается не сразу, ее удерживают силы инерции. Именно этот способ, когда плазму фактически ничего не удерживает, кроме ее самой, получил название инерционного.

В первые годы исследований управляемых термоядерных реакций по пути магнитного удержания совсем не потому, что о методе инерционного удержания забыли или признали его мало перспективным. Дело в том, что тогда просто отсутствовала возможность нагреть плазму до термоядерных температур за то короткое время, которое дает инерционное удержание.

Ситуация изменилась, когда появились лазеры. Замечательное свойство лазерного луча — способ-



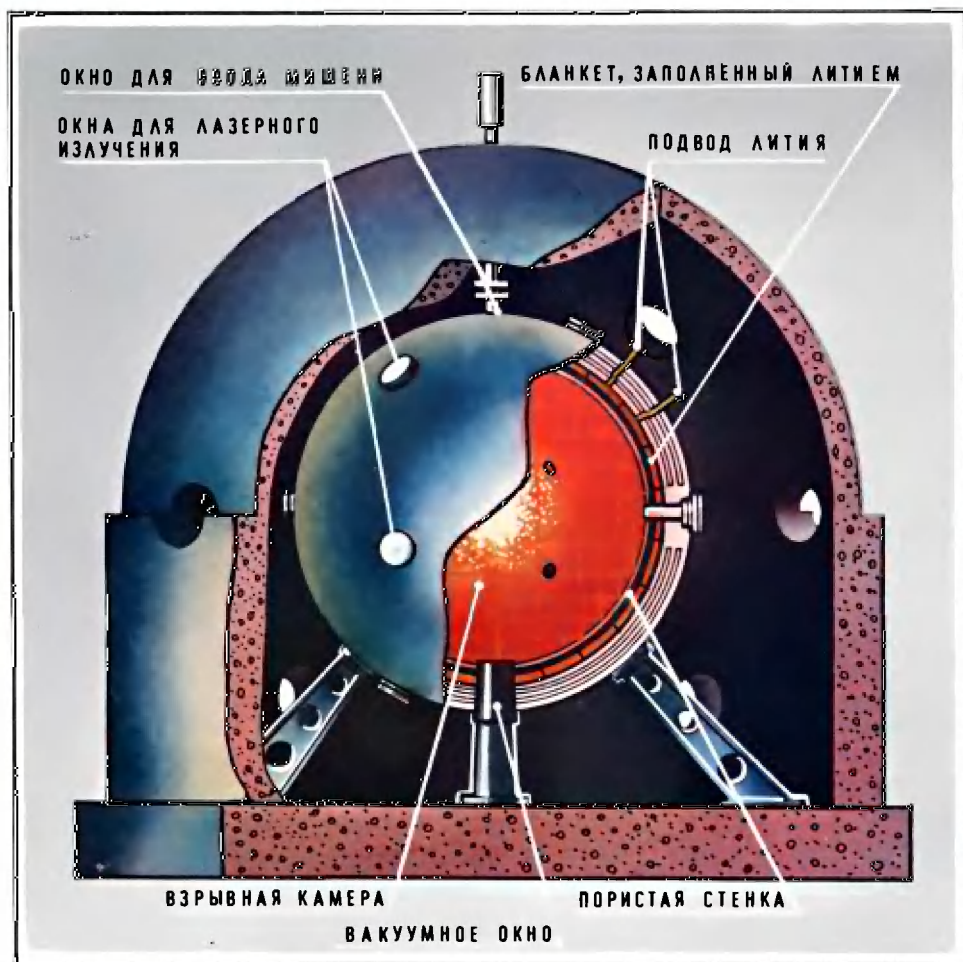
*Термоядерная установка «Огра-4».*

ность концентрировать колоссальную мощность в небольшом объеме — сразу же возбудило интерес исследователей к инерционному удержанию плазмы. Появилась возможность подать на «таблетку» из смеси дейтерия и трития за миллионные доли секунды огромную энергию. В недрах таблетки создаются гигантские температуры и давления, при которых может начаться термоядерная реакция.

При этом, конечно, произойдет взрыв, но если таблетка достаточно мала, то взрыв получится таким, что его энергию можно будет использовать.

Мысль об использовании лазерного луча для мгновенного нагрева небольшого кусочка вещества до термоядерных температур возникла одновременно в разных странах.

До начала 70-х годов исследо-



Лазерный термоядерный реактор (проект).

вания проводились в условиях секретности, как это было когда-то и с идеей магнитного удержания. Но так же, как и тогда, по инициативе советских ученых в 1973 году завеса секретности была снята.

К этому времени в лабораториях Физического института имени П. Н. Лебедева АН СССР под руководством академиков Н. Г. Басова и А. М. Прохорова были разработаны первые экспериментальные установки, на которых удалось получить нейтронный импульс из плазмы, нагреваемой излучением лазера.

Сложность решения задачи заключалась в том, что уже первые расчеты показали, что мощность лазера, способного разжечь термоядерный огонь, должна была быть огромной, намного превосходящей достигнутую к тому времени. Но выход все же нашлся.

Требуемую мощность лазерного излучения можно было уменьшить, очень сильно сжав «таблетку»-мишень. Оказалось, что сам лазер может при этом оказаться хорошим прессом. Ведь вся «таблетка» сразу не прогреется, сначала нагреется и превратится в плазму только ее



поверхностный слой. Возникает реактивный поток газа, направленный от центра «мишени». Если взять несколько лазеров и одновременно направить их лучи на «таблетку» с разных сторон, то реактивное давление сожмет мишень до требуемой степени. Этот процесс очень напоминает ускорение космического корабля или ракеты реактивной силой, которая рассчитывается по формулам, восходящим к знаменитым формулам Циолковского о движении тела с переменной массой.

При таком сжатии термоядерное горючее быстро нагревается; в центре мишени создаются условия для начала термоядерной реакции, происходит микровзрыв, энергия которого существенно превосходит энергию, затраченную лазерами.

Сначала опыты проводились на девятиканальной лазерной установке, названной «Кальмар». Девять лучей строго одновременно били по мишени — шарик диаметром всего две десятых миллиметра, расположенному в вакуумной камере.

Мощность «Кальмара» была еще очень далека от требуемой, но в наиболее удачных опытах удавалось зафиксировать появление нейтронов — предвестников начинающейся термоядерной реакции. Хотя этих нейтронов было немного, само их наличие свидетельствовало о том, что исследователи идут верным путем, вселяло надежду на успех.

Совершенствовались лазеры, возрастала их мощность, усложнялась дейтериевая мишень. Чтобы оценить сложность задачи, приведем небольшой пример. По расчетам теоретиков, оказалось, что реакция будет протекать лучше, если газообразный дейтерий сначала закачать под давлением в 100 атмосфер в стеклянный шарик диаметром 100—200 микрон, причем толщина стенок шарика не должна при



*Магнитное поле «Огры-4» — возбужденные атомы газового разряда расходятся вдоль магнитных силовых линий.*

этом превышать 2—3 микрона. Изготовить хотя бы один такой шарик — задача совсем не простая, а ученые к тому же выдвинули требования, чтобы толщина стенки по всей поверхности шарика была совершенно одинаковой — отклонение не могло превышать 1%! И эту невероятно сложную задачу удалось решить, причем сравнительно быстро.

Сейчас в лабораториях работают лазеры нового поколения, намного более мощные и совершенные.

У советской лазерной установки «Дельфин» 212 лучей, каждый из которых более чем в сто раз превосходит по мощности луч «Кальмара».

Уже в самом начале опытов на первой очереди «Дельфина», содержащего 108 лазеров, температура в центре мишени достигла 100 миллионов градусов, а нейтронов выделялось в десять тысяч раз больше, чем при работе «Кальмара».

Американские ученые создали установку «Шива», названную в честь многорукого индийского бо-

жества. В этой установке лучи 20 сверхмощных лазеров обрушивают на дейтериево-тритиевую «таблетку» мощность, в 25 раз превышающую мощность всех электростанций США!

По мнению ученых, опытный лазерный термоядерный реактор может быть создан в течение ближайших 10—15 лет. До его создания предстоит решить еще множество сложнейших физических и инженерных задач. Необходимо создать лазер, существенно превосходящий по мощности имеющийся в настоящее время, необходимо создать сам реактор.

Сейчас в мире существует около двух десятков таких проектов — от чисто термоядерных до «гибридных», в которых, кроме энергии термоядерного синтеза, будет нарабатываться топливо и для термоядерных, и для обычных атомных реакторов.

Академик Н. Г. Басов считает, что уже в будущем столетии появятся лазерные энергетические комплексы.

В такой комплекс будет входить мощный лазер, который последовательно облучает мишени и производит микровзрывы в нескольких камерах-реакторах. Энергия мировзрыва в камере и стенках реактора (таких же, как у токамаков, бланкетах) преобразуется в тепло, а затем — с помощью турбин или более совершенных магнетогидродинамических устройств — в электричество.

Сообщить мишени огромную энергию, необходимую, чтобы началась термоядерная реакция, можно не только с помощью лазеров. Для этой цели пригодны и движущиеся с колоссальными скоростями, близкими к скорости света, электроны и ионы.

Исследования такого метода осуществления управляемой термоядерной реакции около 20 лет ведутся в Институте атомной энергии имени И. В. Курчатова.

Общая идея здесь примерно та же, что и в лазерном термоядерном реакторе.

Для получения интенсивной реакции дейтериево-тритиевую смесь нужно сжать в тысячу раз и нагреть примерно до 50 миллионов градусов.

Это достигается с помощью так называемой сжимающейся оболочки.

Вещество, испаряющееся с поверхности оболочки, сжимает внутренние слои мишени.

В первых таких установках «Тритон» и «Ангара-1» мишень облучалась электронным пучком мощностью, сравнимой с мощностью всех электростанций СССР.

Вскоре начнутся эксперименты на значительно более мощной установке «Ангара-5», на которой, по расчетам ученых, термоядерный синтез станет энергетически выгодным.

Солнце на земле пока еще остается мечтой ученых. И все же многие достижения последнего времени свидетельствуют о том, что недолго осталось дожидаться, пока эта мечта станет явью.

Видимо, уже в начале будущего столетия человечество получит в свое распоряжение поистине неиссякаемый источник энергии.

Запасы дейтерия в Мировом океане таковы, что их хватит на миллиарды лет даже при многократном увеличении производимой и потребляемой на земле энергии.

Помимо всего прочего, управляемый термоядерный синтез отличается высокой безопасностью и очень малым воздействием на окружающую среду.

При его работе не возникают требующие захоронения радиоактивные отходы, а в конструкции реактора предусмотрены многочисленные барьеры, препятствующие утечке радиоактивного трития в атмосферу.

С мыслями о будущем, о его

проблемах решают энергетики задачи сегодняшнего дня. То, что сегодня лишь намечено в нашей Энергетической программе, в мире 2000 года, в мире III тысячелетия обретет жизнь в новых энергетических

установках, многие из которых трудно сегодня даже вообразить.

Счастливы те, кому доведется работать над проектами III тысячелетия и воплощать их в жизнь!

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

### **Глава 1.**

**В ПОИСКАХ ЭНЕРГИИ. ПОПЫТКА ИСТОРИЧЕСКОЙ ПАНОРАМЫ**

**7**

### **Глава 2.**

**ЛОВЦЫ СОЛНЕЧНЫХ ЛУЧЕЙ**

**29**

### **Глава 3.**

**В УПРЯЖКЕ — ВЕТЕР**

**59**

### **Глава 4. •**

**НЕИЩЕРПАЕМЫЙ ИСТОЧНИК**

**71**

### **Глава 5.**

**ВВЕРХ И ВНИЗ ПО ШКАЛЕ ТЕМПЕРАТУР**

**93**

### **Глава 6.**

**СВЕТ МИРНОГО АТОМА**

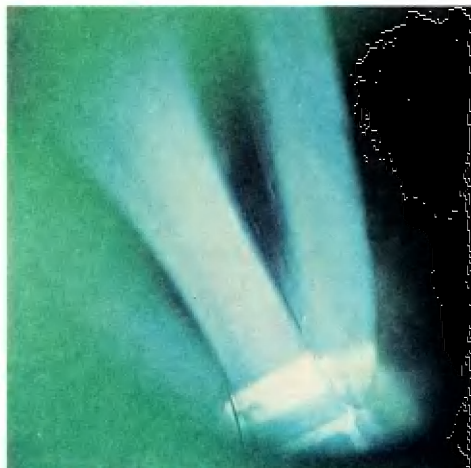
**107**

### **Глава 7. •**

**СОЛНЦЕ НА ЗЕМЛЕ**

**129**





**К ЧИТАТЕЛЯМ**

**ОТЗЫВЫ ОБ ЭТОЙ КНИГЕ  
ПРОСИМ ПРИСЫЛАТЬ  
ПО АДРЕСУ:  
125047, МОСКВА, УЛ. ГОРЬКОГО, 43.  
ДОМ ДЕТСКОЙ КНИГИ.**

**Научно-художественная литература**

**Для старшего школьного возраста**

**Володин Владимир Владимирович  
Хазановский Петр Михайлович**

**ЭНЕРГИЯ, ВЕК ДВАДЦАТЬ ПЕРВЫЙ**

Ответственный редактор Л. А. Румянцева  
Художественный редактор Г. Ф. Ордынский  
Технический редактор Л. П. Костикова  
Корректоры Г. Ю. Жильцова, К. И. Каревская  
ИБ № 9890

Сдано в набор 02.06.88. Подписано к печати 24.02.89.  
А07746 Формат 70×104<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. офс. № 1.  
Шрифт журн.-русл. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 12,15. Усл. кр.-отт. 49,95. Уч.-изд. л. 11,17.  
Тираж 100 000 экз. Заказ № 2223. Цена 1 р. 40 к.

Орден Трудового Красного Знамени  
и Дружбы народов  
издательство «Детская литература»  
Государственного комитета РСФСР  
по делам издательств, полиграфии  
и книжной торговли.  
103720, Москва, Центр, М. Черкасский пер., 1.

Калининский ордена Трудового Красного Знамени  
полиграфкомбинат детской литературы  
им. 50-летия СССР  
Росглавополиграфпрома Госкомиздата РСФСР.  
170040, Калинин, проспект 50-летия Октября, 46.



**Володин В. В., Хазановский П. М.**

**В68** Энергия, век двадцать первый: Научно-художественная лит-ра/Рис. В. Барышева.— М.: Дет. лит., 1989.— 142 с.: ил.— (Горизонты познания).

ISBN 5—08—001341—9

Поиски новых источников энергии — это решение проблемы избежания энергетических кризисов. В книге рассказывается о принципиально новых источниках, о международных совместных проектах, о том, как решают задачи энергетики ученые разных стран.

**В** 4802020000—206 055—88  
М101(03)-89

**ББК 31**



ГОРИЗОНТЫ

ПОЗНАНИЯ





ГОРИЗОНТЫ

ПОЗНАНИЯ



**ГОРИЗОНТЫ**

**ПОЗНАНИЯ**

1 р. 40 к.



*Тем, кому сегодня шестнадцать,  
в 2000 году будет около тридцати.  
Возможно, тогда, на пороге третьего  
тысячелетия,  
кое-что из того, о чем говорится в этой книге,  
покажется наивным и устаревшим.  
Что ж поделаешь! Такова логика развития  
науки и техники —  
развития, ускоряющегося с каждым днем.  
Но если хотя бы несколько девушек или  
юношей, прочтя эту книгу, заинтересуются  
энергетикой и свяжут свои жизненные пути  
с одним из главных направлений  
научно-технического прогресса будущего,  
авторы сочтут свою задачу выполненной.*

**Издательство  
«Детская  
литература»**