

МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВ



машины
энергии

МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВ

машины энергии



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОЕНИЕ
МОСКВА 1967**

М. Васильев — автор широко известных книг «Репортаж из XXI века», «Энергия и человек», «Металлы и человек», «О машинах, которые есть и которые будут», «В мире семи стихий», «Человек идет к звездам». Произведения этого талантливого популяризатора науки и техники переведены на языки многих стран мира.

В новой книге М. Васильев рассказывает о мире машин, вырабатывающих энергию: о паровых и газовых турбинах, о двигателях тепловозов и космических ракет, об атомных и геотермических электростанциях. Интересно и живо ведется рассказ о поисках новых путей превращения энергии, тепловых и полупроводниковых элементах, гелиоэлектростанциях, магнитогидродинамических установках и т. д. Книга хорошо иллюстрирована. Рассчитана на широкий круг читателей.

вступление

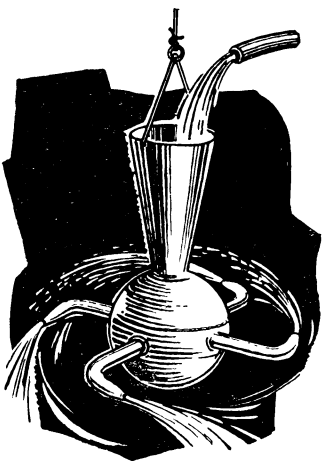
Движение человечества по пути технического прогресса с самых дальних далей, с самых первых шагов связано с борьбой за энергию.

...Первые шаги человечества... Стадо вставших на задние конечности полуобезьян, поселившихся в пещерах, промытых водами ручьев в известняке обрывистого берега реки. На редкость удобные и безопасные жилища приготовила им природа. Сверху нависает скала — спуститься по ней не сможет ни одно животное. По сторонам непроходимые обрывы. И только снизу ведут крутые каменистые тропинки. Но и их научились прочно защищать жители пещер.

На бровке у входов в пещеры всегда лежат огромные камни, поднятые сюда с берега реки. Они такие, что их и не приподнять в одиночку. Но зато ни свирепый медведь, ни кровожадный саблезубый тигр уже не страшны. Едва начнут они взбираться по ведущим к пещере тропинкам, на них обрушится свирепый град камней. И мохнатое чудовище или отступит, или оглушенное метким ударом сорвется вниз, на песок прибрежного пляжа, и будет

царапать там мокрый песок судорожными предсмертными ударами могучих лап...

Да, именно так жили наши отдаленные предки. И это был первый шаг по той лестнице прогресса, ступени которой сегодня уже поднимаются к звездам. Ибо это был



Сегнерово колесо. Эта умная игрушка появилась намного раньше, чем водяная турбина и реактивный двигатель

первый шаг в овладении энергией — помимо той энергии, которой одарила природа их тугие, как узлы пенькового каната, мышцы. Ведь с точки зрения физика совершенное ими — это просто заблаговременное запасание, аккумулятивное энергией, которая затем расходуется для борьбы с атакующим пещеры врагом... Сколько раз потом в истории цивилизации использовался этот же принцип заблаговременного аккумуляирования энергии, которая потом, мгновенно освобождаясь, поражала врага. И патрон в винчестере охотника, и даже атомный заряд в боеголовке межконтинентальной ракеты — применение на новых уровнях знания

все того же извечно известного человечеству принципа.

Много тысячелетий позже люди сделали второй шаг в овладении энергией — научились зажигать и поддерживать горение костра. Огонь весело запылал у входа в пещеру, сделал ее уже абсолютно недоступной для диких зверей. Он и согрел ее своим горячим дыханием, правда, наполнив дымом и покрыв сажей своды... Не прямой ли потомок этого костра тот огонь, что из котельной гонит горячую воду в отопительные батареи вашей квартиры?... Пламя костра сделало более вкусными твердые злаки растений и жесткое мясо животных. Этим было положено начало технологическому использованию тепловой энергии. Несравненно позже открыли люди и другие многочисленные ее применения. Главное из них было связано с открытием путей превращения тепловой

энергии в механическую. Впервые такое превращение было осуществлено в красивой игрушке Герона Александрийского — сегнеровом колесе, — в которой струи пара вращали небольшой ротор...

* * *

Каждый человек ежедневно и ежечасно имеет дело с разнообразнейшими формами энергии. И так было всегда. Наши отдаленные предки, запасавшие камни у входа в пещеру, использовали их потенциальную энергию. Когда они садились вокруг костра, алое крутящееся пламя согревало их лучистой энергией. Поедая мясо мамонта, они потребляли химическую энергию. А выпустив из тугого лука звенящую стрелу, они наделяли ее механической энергией. Правда, с атомной и электрической формами энергии они, пожалуй, непосредственно не имели дела.

Что же такое энергия?

— Это способность производить работу, — ответит физик.

Тепловоз, везущий тяжелогруженный состав, совершает работу. Мальчик, катящий обруч, совершает работу.

Энергия, можно сказать, это тоже работа, но еще не совершенная. Следовательно, чем большим количеством энергии мы располагаем, тем больше разных работ можем выполнить.

Однако не надо понимать возможность совершить работу только в виде примитивного перемещения тяжестей. Мы говорили: существует много форм энергии. И согреть вашу комнату в зимние холода — значит затратить энергию и совершить работу, и осветить ваш письменный стол, и выплавить из руды металл, и вырастить урожай пшеницы — значит затратить энергию и совершить работу.

Есть много различных единиц для измерения энергии и работы. Но мы будем пользоваться всего двумя или тремя.

Возьмем гирию весом в один килограмм и поднимем с пола на стол, высота которого равна одному метру. Вы знаете, мы совершим при этом работу в один килограммометр.

Но этой характеристики еще недостаточно. Сразу очевидно, что совсем не одно и то же, совершенно ли это действие за секунду, за час или за сто лет. Поэтому физики и энергетики пользуются еще другим понятием — мощность. Мощность — это работа, совершенная за единицу времени. Так появляется килограммометр в секунду: работа в один килограммометр, совершенная за одну секунду.

Длительное время в технике использовалась другая единица мощности — лошадиная сила. Она возникла еще во времена изобретателя паровой машины Уатта. Рассказывают, что однажды Уатт взялся выполнить заказ какого-то шахтовладельца — построить машину, равную мощностью десяти лошадям. Шахтовладелец расхваливал своих лошадей и определил их мощность в 75 килограммометров в секунду. Уатт понимал, что длительное время никакая лошадь не может развивать такую мощность, но согласился, ибо верил в возможности своей машины. С тех пор и нашла широкое употребление единица мощности в одну лошадиную силу, равная 75 килограммометрам в секунду.

Однако чаще всего мы будем оперировать в этой книге другими единицами мощности и энергии — электрическими единицами: киловаттом и киловатт-часом. Киловатт — это единица мощности, равная 102 килограммометрам в секунду. Киловатт-час — это работа (или энергия), совершаемая мощностью в один киловатт за час.

Киловатт-час — это очень значительное количество энергии. Одного киловатт-часа достаточно,

чтобы поднять тонну груза на высоту 367 метров,
чтобы добыть и поднять на-гора 75 килограммов угля,
чтобы выплавить 50 килограммов стали,
чтобы прокатать 50 килограммов металлоизделий,
сварить и расфасовать 42 килограмма сахара,
чтобы изготовить 2 пары обуви или 10 метров хлопчатобумажной ткани.

Приведем несколько цифр, характеризующих мощность наших электрических приборов.

Потребляемая лампочкой карманного электрического фонаря мощность составляет 0,001—0,002 киловатта.

Мощность освещающих вашу квартиру лампочек — сотые, реже десятые доли киловатта.

Мощность двигателя токарного или фрезерного станка — несколько киловатт, а иногда и десятки киловатт.

Один из крупнейших электродвигателей, применяемых в промышленности (его устанавливают на шагающих экскаваторах), развивает мощность в 1870 киловатт!

Ну а о мощности различных двигателей и электростанций мы еще будем говорить. Осталось упомянуть еще только об одной единице энергии — о килокалории.

Этой единицей обычно измеряют тепловую энергию. И происхождение у нее тепловое. Это количество энергии, необходимое, чтобы нагреть один килограмм воды при нормальном давлении от температуры 19,5 до 20,5 градуса.

Одна килокалория эквивалентна 427 килограммометрам, или $\frac{1}{860}$ киловатт-часа.

А теперь вернемся к нашей сверхкраткой истории овладения человеком энергией.

* * *

Еще задолго до появления игрушки Герона Александрийского человек научился использовать физическую силу прирученных им животных. Животные позволили человеку одержать первую победу над пространством, значительно ускорив его движение по земле. Лошади, слоны, ослы служили и для перевозок грузов на дальние расстояния и для погони за добычей во время охоты. Животные привели в движение и первые нехитрые механизмы — жернова мельниц, мехи кузнечных горнов. А потом человек поставил на службу себе и стихии — воду и ветер. Он подставил под упругую струю воздушного потока белое крыло паруса — и судно стремительно понеслось по бесконечным волнам океана. Парусные суда обогнули Африку с запада на восток, управляющие ими люди открыли Америку, обошли земной шар. Это была вторая победа человека над пространством, позволившая ему открыть целиком родную планету.

Человек изобрел крыло ветряной мельницы — и ветер стал заправским мукомолом.

Но ветер не всегда был надежен и постоянен. По временам он переставал дуть совсем, и тогда бессильно повисали паруса на реях, застывали неподвижно крылья вет-

ряков. А иногда он вдруг начинал буйствовать, словно бахвалясь своей силой. Он рвал в клочья паруса и опрокидывал мельницы. Трудно было с таким работником!

Вода отличалась несравненно большим постоянством. Не такими уж частыми были сокрушительные наводнения, когда половодье рвало и смывало самые прочные плотины. К тому же половодья обычно можно было предвидеть: они часто совпадали с определенными временами года... И во многих случаях человек предпочитал иметь своим могучим помощником именно воду. Поэтому жались к руслам рек многие промышленные предприятия средневековья. Именно поэтому встали на берегах рек и речек в XVIII веке знаменитые уральские металлургические заводы.

Эту зависимость от реки смогло преодолеть только изобретение паровой машины. Произошло это более двухсот лет назад. Она заменила белые крылья парусов и неповоротливые водяные колеса, двинула в стремительный бег по сверкающим нитям рельсов могучие локомотивы. Ее железные поршни и шатуны впервые придали техническому прогрессу осязаемое ускорение. И девятнадцатый век назвали веком пара.

* *

Двадцатый век, унаследовавший все достижения своего предшественника, называют веком электричества и двигателей внутреннего сгорания. Нет, ни электричество, ни двигатели, работающие на жидком и газообразном топливе, не принадлежат целиком веку двадцатому. Они возникли и развивались еще в прошлом веке, но расцвет их совпал с нашим временем. Электричество стало универсальным, самым удобным и самым применяемым, широко используемым в народном хозяйстве видом энергии. В него превращают и энергию водяных потоков и ветра, и большую часть энергии ископаемого топлива. Оно освещает и отопливает наши жилища, движет поезда и троллейбусы, приводит в движение станки заводов и плавит металл. Да просто невозможно перечислить все работы, которые выполняет сегодня электричество, как невозможно перечислить все применения двигателя внутреннего сгорания — от мотоциклетного до двигателя космической ракеты.

В значительной мере именно внедрение электричества, резкое увеличение количества энергии, которым распоряжается человечество, изменило и быт и труд людей. Изобилие энергии позволило «уменьшить» земной шар и облететь его за полтора часа. Применение электричества позволило осуществлять телефонную и телеграфную связь между обитателями противоположных материков так же хорошо, как если бы собеседники находились в соседних комнатах. Электричество осветило улицы городов. Взрывоподобное освобождение больших количеств энергии бросает к звездам наши космические корабли и искусственные спутники. Энергия, спрессованная в луче лазера до плотности вещества, прожигает алмаз и сверхтвердые сплавы.

Энергия служит современному человеку ежедневно и ежеминутно. Оглянитесь вокруг. Проследите свой обычный день, и вы легко убедитесь в этом.

В последние десятилетия особенно быстро росло количество вырабатываемой человечеством энергии. И резко изменялись источники, из которых ее стали получать.

Вот для сравнения некоторые цифры и факты.

Всего сто лет назад, в шестидесятые годы прошлого века, 15 процентов всей использовавшейся человеком энергии давали мускульные усилия людей, 73 процента — физическая сила животных и только 6 процентов вырабатывали водяные колеса, ветряные мельницы и паровые машины.

А в сегодняшнем энергетическом балансе человечества на долю людей и животных приходится менее одного процента. А более 99 процентов составляет энергия, вырабатываемая механическими двигателями.

Сто лет назад был широко распространен по существу всего один тип механического теплового двигателя — паровая машина. Сегодня она почти повсеместно заменена паровой турбиной — более совершенным и экономичным агрегатом. А в семействе тепловых двигателей соседствуют ракета и газовая турбина, дизель и турбореактивный двигатель.

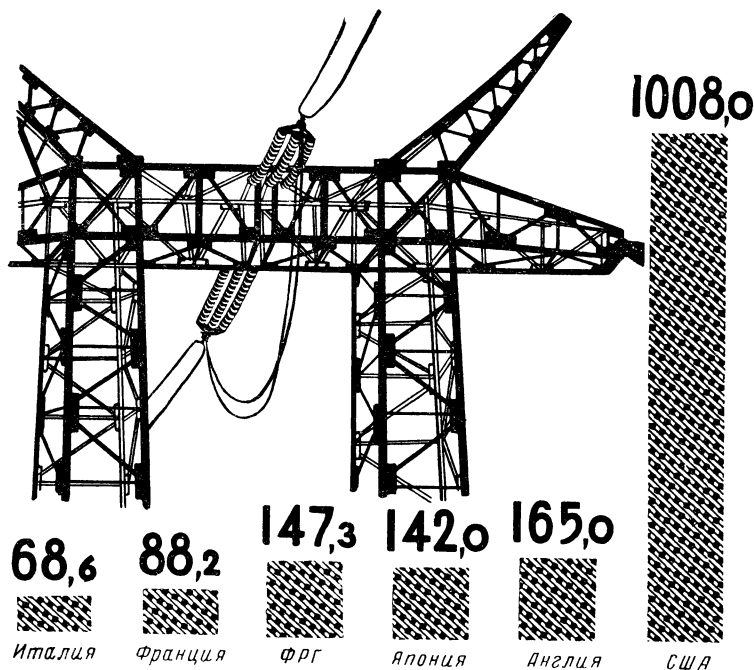
Сто лет назад лишь в незначительной мере использовались ископаемые топлива. А сегодня для энергетических нужд идет большая часть угля и сланца, нефти и газа. Кроме того, на службу человеку приходят новые

источники энергии — всемогущая энергия ядерного распада и синтеза, энергии солнечных лучей, энергия приливов и отливов, энергия морских волн и т. д.

Таков потрясающий итог всего только одного столетия!

* * *

Но не только рост количества энергии характеризует век XX. Изменились вкусы и пристрастия человека.



Вот сколько электроэнергии (в миллиардах киловатт-часов) было выработано в 1963 году в наиболее развитых капиталистических странах

Если в средние века главным видом производимой человеком энергии была тепловая — для отопления жилищ, если в XIX веке инженеры думали главным образом о получении механической энергии, то теперь на первое место вышла энергия электрическая. Строитель-

ство электростанций идет во всех странах мира. Линии высоковольтных передач оплели все материки. Количество вырабатываемой электроэнергии измеряется мощью государств.

Почему это произошло? Почему электрическая энергия, с которой человек и познакомился-то совсем недавно, заняла первое место среди других ее форм?

Гениальные вожди пролетариата Карл Маркс и Фридрих Энгельс на самой ранней заре развития электротехники предугадали ее грядущее торжество. По меткому выражению Маркса, царствование его величества пара, перевернувшего мир в прошлом столетии, кончилось; на его место становится неизмеримо более революционная сила — электрическая искра.

Технические качества, обеспечивающие электричество его триумф, Владимир Ильич Ленин определил еще в 1901 году. «Электрическая энергия, — писал он, — дешевле паровой силы, она отличается большей делимостью, ее гораздо легче передавать на очень большие расстояния...»

Да, электрическая энергия отличается большой делимостью. От гигантского потока ее, льющегося от электростанции, можно отделить и реку для приведения в действие машин целого завода, и крохотный ручеек для вашей электробритвы. Ее можно накапливать и молниеносно обрушивать или сливать от отдельных генераторов в один мощный поток. Да, электроэнергию легче, чем любые другие формы энергии, кроме, может быть, лучистой, передавать на большие расстояния. В Москве зажигает электрические солнца на улицах и приводит в движение станки заводов электроэнергия, выработанная на гидроэлектростанциях близ Куйбышева и Волгограда. Это сегодня. А завтра по Директивам XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1965—1970 годы будут проведены «необходимые подготовительные работы для передачи большого количества электроэнергии из восточных районов страны в центральные районы». На расстояния в несколько тысяч километров! И эта задача, безусловно, будет решена.

Есть у электроэнергии и еще одно великолепное достоинство: она легко при помощи сравнительно несложных устройств и с высоким коэффициентом полезного

действия превращается в другие формы энергии. Да и другие формы энергии хорошо превращаются в электрический ток.

Всем известны способы этих превращений.

В механическую энергию ее превращает обычный электрический мотор. Коэффициент полезного действия его нередко превосходит 96 процентов.

В вашем электрическом чайнике, плитке, утюге происходит превращение электричества в тепло. Коэффициент полезного действия этого превращения достигает почти ста процентов.

В лучистую энергию электрический ток превращает любая электрическая лампочка.

Перечисление это можно было бы продолжить, потому что электричество с каждым годом и с каждым месяцем находит все новые применения. И очень многие из них связаны с открытием новых превращений электрической энергии. И во многих случаях никаким другим способом совершить ту или иную работу просто невозможно.

Вспомним: это электричество сделало общедоступным крылатый металл сегодняшнего дня — алюминий.

Это электричество сделало возможным радио со всеми его бесчисленными применениями — от передачи движущихся изображений (телевидение) до радиолокации далеких планет и кибернетических «думающих» машин.

Электричество лечит больных и выплавляет сверхчистые металлы, сушит древесину и сваривает стальные листы. Оно высушивает цыплят в инкубаторах и очищает дымовые газы. Трудно перечислить все, что делает электричество!

И ко всему этому надо убежденно добавить: электричество отнюдь не сказало своего последнего слова.

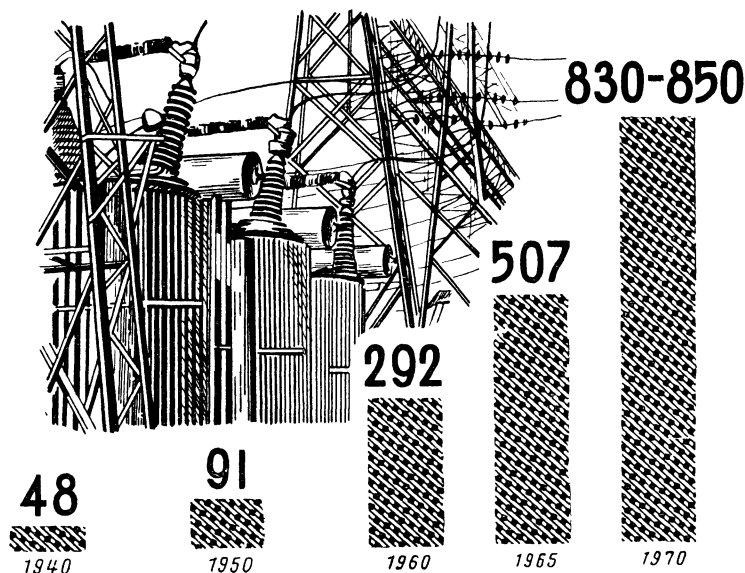
Вот почему электрическая энергия стала главной формой энергии нашего XX века.

* * *

Особенно стремителен рост энергетики в нашей стране.

В СССР в 1965 году добыто около одного миллиарда тонн условного топлива, выработано более 500 мил-

лиардов киловатт-часов электрической и более 1100 миллионов мегакалорий тепловой энергии. Для сравнения напомним, что в 1913 году в дореволюционной России было выработано всего около 2 миллиардов киловатт-часов электроэнергии. Каждый год наша энергетика вырастает примерно на 11 процентов.



Стремительно растет в нашей стране производство электроэнергии. Цифры на рисунке обозначают количество электроэнергии в миллиардах киловатт-часов.

Партия планирует опережающие темпы производства электроэнергии.

Это и понятно! Вспомните цех любого завода или фабрики, в котором вам приходилось бывать. Напряженно гудят станки — текстильные ли, металлообрабатывающие ли. Льют «дневной» свет люминесцентные лампы. Ровно движется лента конвейера, деловито снуют электрокары... Представьте теперь, что прекратилась подача электроэнергии цеху. Сможет ли он работать?! Конечно, нет! Остановятся станки, застынет конвейер, погаснут лампы... Цех умрет. Умные, умелые, могучие

машины станут мертвыми металлическими скелетами... Ибо это электрический ток, электроэнергия, заставляет их жить, двигаться, работать. Электрическая энергия — это горячая кровь современного производства.

Чтобы станки и машины вновь сооружаемых заводов и фабрик не оказались мертвыми с рождения, чтобы они ожили, их надо с самого начала обеспечить электроэнергией. Да и современное строительство невозможно без электроэнергии. Она нужна и моторам подъемных кранов, и сварщикам, монтирующим стальные каркасы, и электровозам, связывающим воедино отдельные участки строительства. Значит, прежде чем строить завод или фабрику, надо построить электростанцию, подвести высоковольтные электрические линии, обеспечить стройку и предприятия энергией. Значит, электрификация должна развиваться опережающими темпами.

* * *

Энергетический океан стран складывается из бесчисленных рек и ручейков, льющихся в провода высоковольтных линий из электрогенераторов электростанций. А приводят в движение роторы этих генераторов машины особого рода — двигатели. Они преобразуют тот или другой вид энергии в механическую работу. Совершенно очевидно, что в зависимости от того, с каким природным энергетическим источником мы имеем дело, двигатели имеют принципиально разное строение. И действительно, гидравлическая турбина мало чем напоминает дизель, а паровая машина практически ничем не похожа на ракету.

Об этих машинах — двигателях — и пойдет рассказ в нашей книге.



покорение первой стихии

Четыре пятых электрической энергии, текущей в медных жилах высоковольтных линий нашей страны, вырабатывается на тепловых электростанциях. Там работают мощные паровые котлы, превращающие в раскаленный пар целые реки воды, могучие паровые турбины и электрогенераторы. Современная тепловая электростанция — гигантское предприятие, ничем не уступающее большому заводу. В ней множество цехов — больших и малых, основных и вспомогательных. Но сердце тепловой электростанции — турбинный цех. В нем работают паровые турбины — прямые потомки паровых машин. Прежде чем отправиться в прогулку по тепловой электростанции, оглянемся назад, в прошлое, хотя бы бегло обозрим путь, который привел от первых идей Герона Александрийского и Дени Папена к современной паровой турбине, вырабатывающей столько энергии, что ее хватает для того, чтобы снабдить большой промышленный город.

Ранние догадки

О могучей силе пара люди догадывались еще в глубокой древности. Предание приписывает гениальному механику Архимеду, жившему в III веке до нашей эры, изобретение пушки, ядра которой метал расширяющийся пар.

Живший четырьмя веками позже Герон Александрийский построил модель простейшей паровой турбины, представлявшей собой полый шар, наполненный паром и снабженный двумя согнутыми трубками. Вырывающиеся сквозь эти трубки струйки пара и вращали шар. Гениальная идея александрийского ученого не была развита и не нашла практического применения. В течение многих столетий о ней вообще накрепко забыли. Изобретатели паровой машины, творившие в XVII веке, вынуждены были начинать все сначала.

Одним из первых ученых, поставивших перед собой задачу овладеть силой пара, был Дени Папен.

Он родился в 1646 году — более чем за пятьдесят лет до пуска первой пароатмосферной машины и свыше чем за двести лет до того, как начал работать первый двигатель внутреннего сгорания. Однако это он впервые выдвинул идею и паровой машины и двигателя внутреннего сгорания.

По образованию Папен был врачом, по призванию — физиком. Судьба послала ему хороших учителей. Знаменитый голландский ученый Христиан Гюйгенс — создатель волновой теории света, изобретатель маятниковых часов, первооткрыватель кольца Сатурна — был его первым научным наставником. Под его руководством Папен начал работу над пороховым двигателем.

Это был вертикально поставленный цилиндр с отъемным нижним днищем,двигающимся поршнем и отверстием в верхней части боковой стенки. Поршень через блок был связан тягой с грузом. Отодвинув нижнее днище, на него клали пороховой заряд и закрывали накрепко. Заряд поджигали — образующиеся газы горения поднимали поршень до отверстия в боковой стенке, сквозь которое уходили газы. Оставшиеся в цилиндре газы охлаждались. Атмосферное давление опускало поршень, вдавливая его внутрь цилиндра, и поднимало груз, подвешенный на канате, переброшенном через блок.

Но судьба не очень заботилась о том, чтобы Папен закончил свою работу. Религиозные войны разъедали в те годы Францию. Подвергнувшийся религиозным преследованиям ученый, не завершив работы, вынужден был уехать в Англию.

Там его учителем и товарищем стал Роберт Бойль, имя которого по названию одного из основных законов состояния газов известно и ныне каждому школьнику. Но и в Англии Папен не остается надолго. Он оказывается в Венеции, затем снова в Англии и, наконец, в немецком городе Гессене при дворе одного из многочисленных немецких князьков. Член Парижской Академии наук, Лондонского королевского общества, Венецианской Академии становится профессором Марбургского университета.

И он снова, конечно, за работой над механическим двигателем. Здесь его друг и советчик — немецкий ученый, философ и математик Готфрид Лейбниц. Папен уверен, что принцип действия его машины правилен, надо только брать более подходящее чем порох горючее. Пороховой взрыв, как показали первые опыты, проведенные еще во Франции, далеко не безопасен. Значительно более подходит для этой цели... вода. Он рассуждает в своей книге «Новое искусство»:

«Так как получаемый при посредстве огня водяной пар обладает свойством точно так же, как воздух, производить давление, но далее при охлаждении он опять может сгущаться в воду, так что не остается никакого давления, то я полагаю, что не трудно было бы сконструировать машины, в которых силы водяного пара при посредстве огня с небольшими издержками могли бы развивать полезную работу».

Папен сооружает первую в мире паровую машину, работающую по этому принципу. Она еще очень несовершенна, почти не отличается конструктивно от его пороховой машины. Только вместо пороха он помещает в цилиндр воду «...Я опускаю поршень почти до самой поверхности оной..., — пишет Папен, — вода, содержащаяся в цилиндре, под действием огня начинает кипеть и обращается в пар, который производит давление на поршень и поднимает его до верха цилиндра, преодолевая давление атмосферы... После того отнимается огонь, и пар, сгущаясь благодаря охлаждению, производит в

цилиндре пустоту. Теперь машина в состоянии произвести механическое действие, ибо поршень опускается с силой, равной давлению атмосферы, и может поднимать необходимый груз при помощи веревки и блоков...»

Далее Папен приводит вычисления, с помощью которых показывает, что работающая по этому принципу машина с цилиндром высотой в 4 фута и диаметром в 2 фута сможет производить работу одной лошади...

Но машина получилась чересчур тихоходной. Она делала всего один ход в минуту. Слишком много времени занимало охлаждение цилиндра и его новый разогрев.

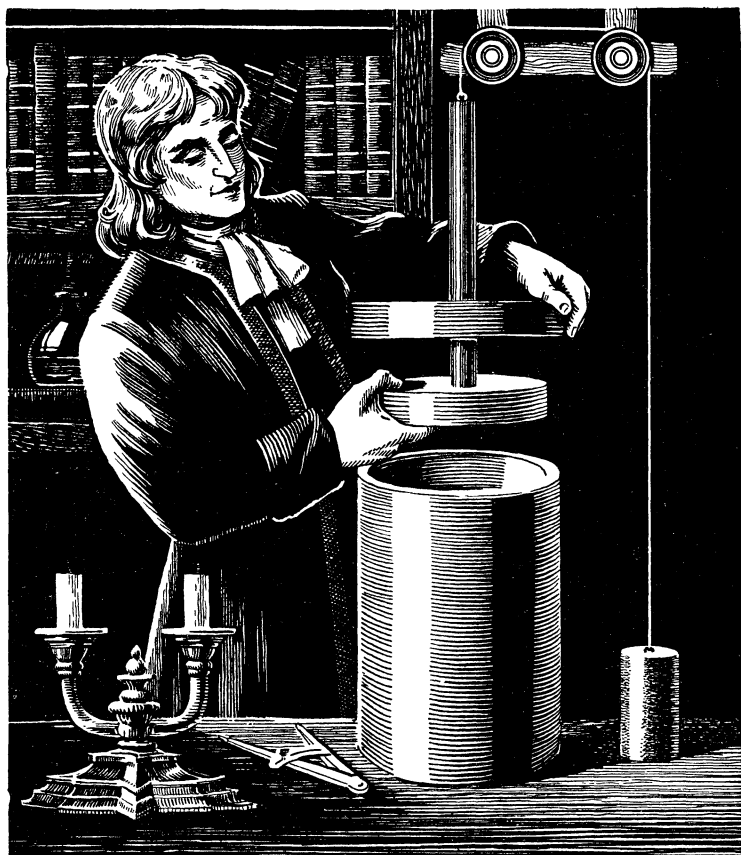
Папен нашел решение и этой задачи — надо было отделить цилиндр от котла. Началось конструирование и этой машины. В ней был применен пар высокого давления, прямолинейное движение поршня превращалось во вращательное с помощью кривошипа. Это была уже настоящая паровая машина.

Но судьба продолжала преследовать изобретателя. Ему приходится оставить немецкий город. Рассказывают, что он покинул его на судне, приводимом в движение сконструированной им паровой машиной, разрушенной в пути испугавшимися конкуренции судовладельцами. Во всяком случае он совершенно ясно писал о своем судне Лейбницу: «Сила течения настолько ничтожна по сравнению с силой моей машины, что с трудом можно заметить более быстрый ход судна вниз по течению, нежели вверх... В ней (в паровой машине) заложено все нужное мореплаванию, чтобы не зависеть от течений и ветра».

Дени Папен умер в 1714 году в Англии в беспросветной нищете. Как это не раз бывало в истории, не признанный современниками, он был оценен потомками. Я видел памятник ему, воздвигнутый в его родном городе. Каменный Папен стоял, опершись на созданный им цилиндр. Поднятый высоко над не очень шумной улицей провинциального французского городка он словно бы прислушивался к рокоту автомобильных моторов внизу под ним и самолетов в небе над ним. Моторов, жизнь которых он первым провидел в будущем, ставшем для нас настоящим...

В музее немецкого города Касселя в течение более

двух столетий хранится бронзовый цилиндр одной из недостроенных Папеном машин — самый старый паровой цилиндр в мире.



От этого прибора Дени Папена берут начало и паровая машина и двигатель внутреннего сгорания

Да, он изобрел поршень, цилиндр, сжигал в последнем топливо с целью получить полезную работу. Это была первая в мире конструкция двигателя внутреннего сгорания.

Он сконструировал паровую машину с отделенным от цилиндра паровым котлом и автоматическим предохранительным клапаном, построил первый пароход.

Папен искал двигатель, который мог бы работать и на судах, и в мастерских, и на шахтах. В его работах берут начало сразу два различных вида двигателей, каждый из которых сделал эпоху в истории всемирной техники и промышленности.

Атмосфера работает

Построить первые практически работающие пароатмосферные машины выпало не Папену, а английскому кузнецу Томасу Ньюкомену. К сожалению, об этом человеке, оставившем значительный след в истории техники, почти ничего не известно.

Но ни Папен, ни Ньюкомен не ставили перед собой цели использовать могучую силу пара. Еще не были известны возможности этой силы, еще были они вообще сомнительны. Но уже была известна другая сила, поражавшая воображение, — сила давления воздуха. Она казалась грандиозной — целый килограмм на каждый квадратный сантиметр поверхности! К тому же эта сила была вездесущей.

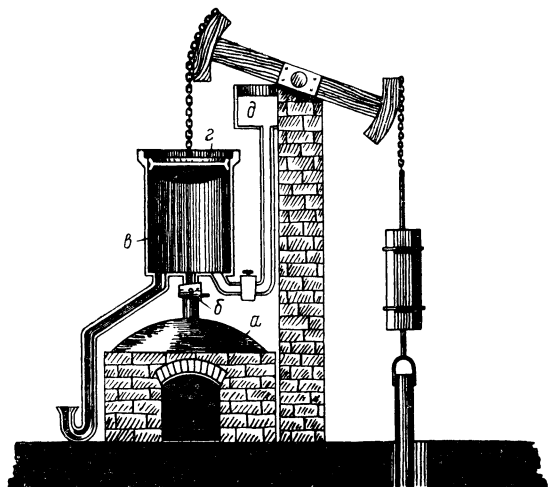
Первая пароатмосферная машина Ньюкомена начала работать в 1711 году на каменноугольных шахтах в Варвикшире. Вот ее устройство и принцип действия.

Пар из парового котла поступает в цилиндр и поднимает поршень. Когда тот достигает своего высшего положения, в цилиндр впрыскивается вода и пар конденсируется. Атмосферное давление — возвращает поршень в нижнюю часть цилиндра. Затем снова в цилиндр впускают пар и поднимают его упругой силой поршень.

Машина Ньюкомена, повторявшая идеи Папена, еще не была паровой машиной — тем новым двигателем, которому суждено было произвести революцию в промышленности. Она могла работать только в качестве привода насоса на угольных шахтах. Так на нее смотрел и ее создатель, так это было в действительности. Конструктивно тихходная и громоздкая, она могла приводить в движение только насос, совершая неспешные, разделенные длительными промежутками рабочие ходы. Прерывистость отдачи энергии делала ее практически неприменимой для любой другой цели.

Было у нее и другое свойство, приковывавшее ее к стволу угольной шахты, — необычайная прожорливость. К машине Ньюкомена, например, установленной возле Ковентри в 1722 году, топливо едва успевали подвозить 50 лошадей. Совершенно очевидно, что в каком-либо значительном удалении от шахты «прокормить» такое чудовище было бы вообще невозможно.

И все же машина Ньюкомена нашла широкое применение. Многие изобретатели пытались ее усовершенствовать.



Вот она — паровая машина Ньюкомена. Из парового котла (а) пар через вентиль (б) поступает в цилиндр (в) и поднимает поршень (г). Затем в цилиндр подается вода из бачка (д). Пар конденсируется, и атмосферное давление с силой отпускает поршень, совершая работу. Снова открывается вентиль (б) и все начинается сначала

Говорят, что одним из них был бойкий мальчик Гемфри Поттер, приставленный к машине с очень скучной обязанностью: поворачивать краны впуска пара и воды в цилиндр. Присмотревшись к ее работе, он соединил тягой рукояти кранов с коромыслом и машина впервые в истории человечества начала сама регулировать свою работу. А Гемфри Поттер убежал играть со сверстниками.

Значительно более совершенную пароатмосферную

машину построил в 1765—1766 годах на другом конце материка барнаульский шахтмейстер Иван Ползунов. Русский изобретатель был дальновиднее своих предшественников. Его машина была не только механическим насосом, а и универсальным тепловым двигателем.

Ползунов родился в 1728 году, учился в первой русской горнозаводской школе в Екатеринбурге (ныне Свердловск), а с 1742 года начал работать на уральских заводах в качестве «механического ученика».

Ползунов получил хорошее по тому времени образование, которое пополнил чтением технической литературы из библиотеки Барнаульского завода. Он был знаком с современной ему теплотехникой, с работами Ломоносова, Ньюкомена, Севери. Попав на три месяца в Петербург, он посещает Академию Наук и Берг-коллегию. Солдатский сын становится одним из самых технически образованных людей своего времени. Конечно, только стоя на вершине знаний того времени, он мог поставить и решить эту колоссальной важности задачу — создать первый в мире универсальный тепловой двигатель.

В апреле 1763 года Ползунов закончил детальный его проект и расчеты. Двигатель отличался от всех существовавших до него непрерывностью действия. Он состоял из двух цилиндров с поршнями, работавшими на один вал. Когда в одном из цилиндров создавался вакуум и происходил рабочий ход поршня, в другом осуществлялся впуск пара и холостой ход. Поршни поочередно совершали работу, передавая ее на один рабочий вал и машина отдавала работу непрерывно. Принцип суммирования рабочих усилий нескольких цилиндров на один вал широко применяется и сегодня в бесчисленных поршневых двигателях — не только паровых, но и внутреннего сгорания.

Проект, составленный Ползуновым, рассмотрел президент Берг-коллегии И. А. Шлаттер. Он отметил оригинальность конструкции, которую «за новое изобретение почесть должно». Ползунов был произведен в механики с чином и жалованием инженерного капитана-поручика. Однако внесенные Шлаттером в проект поправки показали, что он далеко не разобрался в идеях алтайского изобретателя, они ухудшали, а не улучшали конструкцию.

Не согласившись с поправками Шлаттера, Ползунов составил новый проект своей машины, уже конкретно предназначенной для привода мехов, подающих дутье к рудоплавильным печам Барнаульского завода.

В январе 1764 года началась постройка этой машины «большого корпуса». Руководил постройкой сам изобретатель.

Построить двигатель оказалось не легче, чем изобрести. Не было станков для обточки гигантских цилиндров и они получились неровными, не было опыта изготовления котлов, способных выдерживать повышенное давление пара. По существу не было того, что мы зовем сейчас машиностроением.

И все-таки к весне 1766 года постройка была закончена. Но изобретатель к этому времени уже был безнадежно болен. Чрезмерное напряжение подорвало его силы. Он умер, не дожив всего одной недели до пуска своей машины.

В мае того же года были проведены первые испытания, а в августе первый в мире тепловой универсальный двигатель начал приводить в движение воздухоудные меха трех рудоплавильных печей Барнаульского завода.

Из «дневниковой записи», которую вели во время испытаний машины ученики Ползунова, видно, что в течение первого месяца работы двигатель останавливался всего два раза по 2,5 часа для замены набивки поршней. Однако в ноябре 1766 года машину пришлось остановить из-за течи в котле. Сам Ползунов не считал этот котел пригодным для длительной работы и предполагал заменить его после испытаний. Но после смерти изобретателя установка была заброшена, а в 1780 году разрушена. Ее эксплуатация даже в течение очень короткого срока принесла прибыль в 12413 рублей.

О благородных целях, которые в течение всей своей жизни преследовал гениальный изобретатель, которые вдохновляли его на творческий подвиг, лучше всего сказал он сам.

Это — «славы Отечеству достигнуть».

Это — «познания об употреблении вещей, поныне не весьма знакомых, в обычай ввести».

Это — «облегчить труд по нас грядущим».

Мы не очень много знаем о жизни и взглядах Ползунова: нет у нас ни подробных воспоминаний современ-

ников, ни его личных мемуаров. В крепостнической России в то время не очень беспокоились об увековечении памяти гениальных выходцев из народа. Не осталось даже портрета Ползунова. Но уже и эти короткие,



И. И. Ползунов первым увидел в пароатмосферной машине универсальный тепловой двигатель

дошедшие до нас высказывания его, говорят о том, что солдатский сын Иван Ползунов был не только гениальным изобретателем, но и великим гражданином и гуманистом.

Усовершенствованием пароатмосферных машин занимались многие: Бейтон и Смиттон в Англии, Прони во Франции, Леопольд в Германии и другие, однако никто из них не мог понять ее органических недостатков.

Рождение паровой машины

А ведь для того чтобы превратить пароатмосферную машину в паровую, оставалось сделать так мало: отделить от цилиндра не только котел, что по преданию сделал еще Папен, но и конденсатор. Это сделал знаменитый английский механик и изобретатель Джемс Уатт.

Он родился в 1736 году в шотландском городке Гренуке, в тридцати километрах от Глазго.

С ранних лет любимыми занятиями Уатта было мастерить хитроумные игрушки, изучать механику и математику. Шестнадцати лет он поступил учеником в механическую мастерскую в родном городе, а через четыре года для совершенствования в мастерстве переехал в Лондон в такую же мастерскую.

Переезд из Глазго в Лондон занял двенадцать дней. И, конечно, Уатт и не подозревал, что именно ему предстоит создать двигатель, который позволит преодолевать этот путь меньше, чем за 12 часов.

Через год Уатт возвращается на родину и становится университетским механиком, обязанным ремонтировать старые и изготавливать новые приборы по заказам профессоров.

Скромный «мастер математических инструментов», как официально называлась должность Уатта, был не только умелым и точным исполнителем заказов ученых, но и сам был разносторонне образованным человеком. Он старался вникнуть в суть вещей, постичь первопричины того или иного явления. Это и предопределило его творческий успех.

Зимой 1764 года в руки Уатта попала действующая модель пароатмосферной машины. Ее починка не заняла много времени, но Уатт не спешил вернуть модель на кафедру университета. Им овладела мысль снизить затраты топлива на приведение в действие этой машины. И прежде всего выяснить, почему его так много требуется.

Уатт начинает серию опытов по изучению свойств пара. Он узнает, что незначительное количество пара за счет скрытой теплоты парообразования может нагреть до температуры кипения значительное количество воды.

И, наконец, ему становится ясным основной порок пароатмосферной машины.

«...Я пришел к твердому заключению, — вспоминал он позже, — что для того, чтобы сделать совершенную паровую машину, необходимо, чтобы цилиндр был всегда так же горяч, как и входящий в него пар; но, с другой стороны, конденсация пара для образования вакуума должна была происходить при температуре не выше 30°».

Значит, цилиндр должен быть одновременно и холодным и горячим. Как это сделать? Единственный выход — разделить цилиндры на два. В одном — горячем — осуществлять выпуск пара и рабочий ход, в другом — холодном — конденсацию пара.

«Это было около Глазго, — рассказывал позже Уатт, — я вышел на прогулку около полудня. Был прекрасный день. Я проходил мимо старой прачечной, думая о машине... Мне пришла в голову мысль, что пар — упругое тело и легко устремляется в пустоту. Если установить связь между цилиндром и сосудом с разреженным воздухом, то он устремится туда и цилиндр не будет нуждаться в охлаждении. Я не дошел еще до Голфгауса, когда все дело было уже закончено в моем мозгу...»

Так, паровая машина приобрела конденсатор. Это сразу значительно повысило ее экономичность. Работая над моделью своей первой машины, Уатт внес в нее целый ряд и других усовершенствований. Он окружил цилиндр второй стенкой, а между ними пустил пар, чтобы уменьшить охлаждение цилиндра; закрыл цилиндр и сверху, и рабочий ход стал осуществлять давлением пара — пароатмосферная машина превратилась в паровую.

Вся дальнейшая жизнь Уатта полна трагического противоречия. Гениальному изобретателю были чужды меркантильные интересы жизни, «деловые взаимоотношения» в понимании этого выражения буржуазной верхушкой капиталистического общества. Он старается делить со своими компаньонами обязанности таким обра-

зом, чтобы его не касалась финансовая сторона дела. Себе он оставляет «только» изобретательство, усовершенствование, изготовление и установку машин. Но



Великий механик Джеймс Уатт превратил пароатмосферную машину в паровую

условия капиталистического общества непрерывно втягивают его в судебные процессы с покупателями машин, с дельцами, старающимися обойти его патенты, а нередко и талантливыми изобретателями, усовершенствующими его машину. Он в течение ряда лет сознательно

мешает другим изобретателям совершенствовать машину, дорабатывая ее самостоятельно.

Вот главные усовершенствования, внесенные Уаттом в паровую машину.

В 1776 году им построена опытная машина, в которой движение поршня осуществляется в значительной мере за счет расширения пара в цилиндре. Во всех предыдущих машинах впуск пара продолжался все время рабочего хода поршня.

В 1785 — получен патент на пять способов превращения возвратно-поступательного движения во вращательное. Дело в том, что самым удобным для этого является применение кривошипа, но оно было запатентовано другим изобретателем. Для того чтобы обойти это запрещение, Уатт потратил два года. Один из созданных им в это время механизмов, носящий и поныне имя изобретателя — параллелограмм Уатта, — является классическим в механике. Одного этого изобретения достаточно, чтобы навеки вписать имя изобретателя в историю техники.

В 1784 году создана первая паровая машина двойного действия, в которой пар попеременно поступает в обе полости цилиндра, разделенные поршнем. В прежних его машинах давление пара двигало поршень только в одну сторону, а обратный ход осуществлялся за счет противовесов. Хотя в цилиндрах пар и находился по обоим сторонам поршня, но это делалось только для того, чтобы уменьшить охлаждение цилиндра.

В конструкцию этой машины был впервые введен, изобретенный Уаттом же, центробежный регулятор.

Такие машины, на современный взгляд очень громоздкие и не очень экономичные — их коэффициент полезного действия составляет 2—2,5 процента, — и поставлялись Уаттом и его компаньонами для продажи. Мощность их обычно составляла около 20 лошадиных сил, но иногда достигала и 50 лошадиных сил.

В 1805 году Уатт пишет своему компаньону:

— «Я нахожу, что сейчас пора уже прекратить опыты новых изобретений и, в особенности, не следует ничего пробовать, что сопряжено с опасностью неудачи или может причинить нам затруднения при исполнении. Будем в дальнейшем изготавливать те вещи, которые мы

умеем делать и предоставим остальное молодым людям, которым не грозит потеря ни денег, ни имени».

Уатт-делец оказался много мельче Уатта — механика и изобретателя.

Он педантично берет патенты на все новые идеи, которые продолжает рождать его блестящий инженерный талант. Он задумывается над вопросом применения пара высокого давления, устройством машин двойного расширения, в которых пар, отработав в одном цилиндре, поступал бы во второй и т. д. Но не для использования берет он новые патенты, а для того, чтобы не позволять применять эти идеи другим...

Уаттом сконструирован первый в мире паровой мотор, впервые применено паровое отопление, созданы счетная машина, копировальный пресс, приспособления для текстильного производства.

Уатту выпало редкое счастье видеть повсеместное триумфальное распространение своего главного изобретения. Конец жизни он провел в идиллической обстановке, окруженный всеобщим вниманием и уважением.

Он умер в 1819 году. На его памятнике в Вестминстерском аббатстве начертаны слова:

«Увеличил силы человека»

* * *

Судьба двигателя, созданного коллективным трудом ученых многих народов, работавших в течение целого столетия, была блистательной. Паровая машина подняла на своих плечах весь великий XIX век — век строителей и механиков. В этот период мощность паровой машины выросла с 20 до 20 000 лошадиных сил. Экономичность поднялась с 2 до 20 процентов. Давление и температура пара достигли 120 атмосфер и 400 градусов, число оборотов превысило 1000 в минуту.

Паровая машина стала символом могущества человека. Она проникла во все отрасли производства, на сухопутный, морской и речной транспорт, стала двигателем первого самолета, произвела настоящую революцию в промышленности и технике, границы и масштабы которой трудно охарактеризовать в нескольких словах. Ей, вытесняемой сегодня более совершенными типами двигателей, мы, однако, не можем не быть благодарны за ее великую почти двухвековую службу человеку.

И поэтому мы с таким волнением оглядываемся сегодня на первые шаги в ее жизни и работе, с таким волнением называем имена ее изобретателей.

Почему турбина?

И все же паровая машина уступила в XX веке свое первое место паровой турбине. Почему? Ведь была разработана теория ее расчета, созданы хорошо продуманные и целесообразные конструкции, оправдавшие себя в эксплуатации, выпущены бесчисленные модификации разных мощностей, предназначенные для различных целей, от могучих судовых установок до крохотных машин, способных работать на вашем письменном столе.

А паровая турбина была в конце века лишь новорожденным «гадким утенком», у которого никак не удавалось снизить число оборотов, для того, чтобы иметь возможность соединить ее вал какой-либо трансмиссией с исполнительной машиной. И всего за пару десятков лет этот «гадкий утенок» превратился сначала в могучего соперника, а потом в бесспорного победителя паровой машины.

Главная причина — в разнице между характером работы того и другого двигателя. В паровую машину пар из котла поступает в так называемую золотниковую коробку, в которой находится золотник, похожий на опрокинутое корытце. Перемещаясь внутри золотниковой коробки, он поочередно открывает окна, соединяющие золотниковую коробку с цилиндром. Одно из этих окон ведет в переднюю, другое — в заднюю полости цилиндра.

Пар, поступив в одну из этих полостей, давит на поршень и сдвигает его в другую сторону. Золотник в это время занимает такое положение, при котором полость, в направлении которой движется поршень, соединяется с внутренней полостью золотника, а оттуда пар уходит в атмосферу или в конденсатор. Когда поршень доходит до противоположной стенки, золотник передвигается так, что теперь внутренняя его полость оказывается соединенной с той частью цилиндра, в которой только что «работал» пар, а освободившаяся от пара часть соединяется с золотниковой коробкой и в

нее устремляется свежий пар. Он давит на поршень и заставляет его двигаться в обратном направлении.

Не правда ли, очень просто? Да, просто. И простота, и безотказность — основные достоинства паровой машины. Однако в современной быстроходной паровой машине поршень совершает за одну минуту тысячу таких двойных ходов?! Эти непрерывные ускорения, торможения и остановки поршня вызывают сильные толчки, бие-ния, вибрации во всех частях и деталях машины. Для смягчения их, для уравнивания хода машины снабжают большим маховым колесом. И все-таки это не спасает. Именно большие динамические нагрузки, возникающие в подшипниках и других деталях паровой машины, стали своеобразным «динамическим барьером» на пути дальнейшего роста ее мощности и развиваемого ею числа оборотов.

Техника нашего века — техника больших скоростей. А большие скорости не приемлемы при возвратно-поступательном движении. Потому-то и встала задача создать паровой двигатель, в котором не было бы возвратно-поступательно движущихся частей, в котором было бы одно вращательное движение.

Надо помнить и другое. Надо помнить, что и техника, и промышленность нуждались предпочтительно во вращательном движении. Оно удобнее и для привода ротора электрогенератора, и для большинства станков, и в тех случаях, когда надо вращать колеса или винт парохода, пропеллер самолета, ведущие колеса паровоза.

Промышленность и техника требовали роторного парового двигателя и в конце XIX века он появился.

Это была паровая турбина.

Только вращение

Так же как и другие крупные изобретения, паровая турбина создана творчеством многих людей. Но если не начинать ее летопись с пресловутого золипила Герона Александрийского, вся история ее рождения и совершенствования укладывается в жизнь одного поколения.

В 1863 году Карл Патрик Густав Лаваль кончил школу, в 1866 — Технический институт в Стокгольме, а в 1872 году — математический факультет университета.

Во все времена встречались люди, стремившиеся получить побольше свидетельств об окончании тех или иных учебных заведений, стремившиеся блеском образования прикрыть свое творческое бессилие. Лаваль не принадлежал к их числу. Для него приобретенные знания были трамплином, оттолкнувшись от которого он мог совершить прыжок вперед. До самой своей смерти (в возрасте 67 лет в 1913 году) он непрестанно предлагал новые идеи, прожекты, планы, изобретения в самых отдаленных казалось бы друг от друга областях техники.

Новые способы обработки цинковых руд и производство бутылок во вращающихся изложницах, невиданная конструкция конвертора для рафинирования металла и центробежные сепараторы, доильные машины и котлы высокого давления, обезвоживание торфа и паровая турбина — разве перечислить все, чем занимался Лаваль! А ведь каждая из этих технических проблем влекла за собой почти неминуемо создание коммерческого предприятия, постройку заводов, выпуск акций, колоссальную организационную работу. Жизнь Лавала — это стремительный вихрь творчества, коммерческих неудач и изобретательских успехов. Она до предела наполнена трудом, большая часть которого не принесла изобретателю ни славы, ни богатства.

Главное, что им создано — это сепаратор и паровая турбина. И хотя впервые паровая турбина возникла лишь как одна из деталей сепаратора — его простой и удобный привод, изобретатель сам понял значение и отделил одно от другого два своих детища.

Сепаратор потребовал невиданных в то время оборотов — нескольких тысяч в минуту. Эта легко решаемая сегодня студентами третьих курсов технических вузов задача тогда казалась почти непреодолимой.

А именно такую скорость должен был иметь диск турбины с насаженными на него лопатками, в которые ударяет струя пара, разогнавшаяся в расширяющихся соплах (их так и называли потом — «сопла Лавала»). Диск равного сопротивления — тонкий у края и утолщающийся к центру, гибкий вал, сам занимающий центральное положение при высоких числах оборотов, лопатки с ласточкиным хвостом, запрессованным в паз диска, «сопла Лавала» — все эти элементы сегодняшних

турбин были впервые предложены Лавалем. У него почти не было предшественников и груз их ошибок и штампы установившихся конструкций не связывали изобретателя.

На Всемирной выставке в Чикаго в 1893 году демонстрировалась турбина Лавалья мощностью в 5 лошадиных сил, делавшая 30 тысяч оборотов в минуту. А в 1900 году в Париже шведский изобретатель демонстрировал турбину мощностью уже в 350 лошадиных сил.

Это уже было близко к пределу. Правда, позже удалось увеличить мощность до 500 лошадиных сил, но это была слишком уж дорогая машина! Причем самым дорогим и громоздким оказывалась не сама турбина, а понижающая число оборотов зубчатая передача. По сравнению с ней турбина казалась небольшим вспомогательным механизмом.

Борьба за скорость была лозунгом жизни Лавалья. Почти все его изобретения связаны с применением высоких скоростей. Однако окончательный успех паровой турбине могли принести только изобретения, позволяющие кардинально уменьшить ее число оборотов. Без этого изобретения паровая турбина осталась бы двигателем воздуходувок и сепараторов.

Изобретение способа уменьшить число оборотов выпала честь сделать английскому ученому Чарльзу Алджернону Парсонсу. Правда, это было сделано еще в 1884 году до работ Лавалья и независимо от него. Логика истории не совпала в данном случае с логикой повествования.

Спокойный, чуть суховатый, происходивший из аристократической английской семьи Чарльз Парсонс был прямой противоположностью стремительному, увлекающемуся, хватающемуся сразу за сотню дел Лавалю, в жилах которого текла горячая французская кровь.

Но было и нечто общее у обоих изобретателей. Парсонс, как и Лаваль, пришел в технику, имея блистательное инженерное образование. И, как у Лавалья, в жизни Парсонса были тесно переплетены коммерческая и изобретательская деятельность. Как и Лаваль, Парсонс был главой многих предприятий и обществ.

В 1884 году тридцатилетний Парсонс взял патент на новую конструкцию паровой турбины. Энергия пара превращалась в ней в энергию движения не в одном

сопле и не в одном вращающемся диске с лопатками, как это происходит в турбине Лавалья. Турбина Парсонса состояла из нескольких рядов вращающихся лопаток, укрепленных на роторе, между которыми находились неподвижные ряды лопаток, укрепленных в корпусе турбины. Проходные сечения между лопатками были сделаны расширяющимися так, что пар, проходя по ним, расширялся, изменял направление и увеличивал скорость движения. При этом на движущихся лопатках возникала реактивная сила, вращавшая ротор. Расширение пара происходило на неподвижных лопатках. Таким образом тепловая энергия пара превращалась в энергию движения постепенно.

Такая турбина могла иметь значительно меньшее число оборотов, чем турбина Лавалья. Совершенствованию и распространению своей турбины Парсонс посвятил всю жизнь. И в современных паровых двигателях можно найти немало узлов и деталей, почти не изменившихся с того времени, когда их впервые применил Парсонс.

Соединение лопаток в пакеты и лабиринтное уплотнение, двухцилиндровая конструкция турбины и регуляторы числа оборотов — именно тщательность инженерной проработки деталей конструкции в значительной степени предопределила совершенство и стремительный триумф паровой турбины.

С именем Парсонса связано и применение ее на морских и речных судах.

Изобретатель умер в возрасте 77 лет. К тому времени паровые турбины достигли мощности в несколько десятков тысяч киловатт в одном агрегате и были установлены на судах всех флотов мира.

Лаваль, Парсонс — разве только они создали сегодняшнее совершенство паровой турбины? А как не упомянуть в этом списке блистательного французского математика Огюста Рато, создавшего стройный математический курс расчета этих машин! Как забыть братьев Юнгстрем — создателей турбин совершенно нового — радиального — типа, отличающихся легкостью и компактностью! А швейцарского инженера Генриха Целли, усовершенствовавшего турбину Рато, а американца Чарльза Кёртиса, впервые применившего «ступени скорости». Все они и многие другие инженеры и ученые

вложили свой гений, свой труд в совершенствование паровой турбины.

И заняло это, начиная с первого патента Парсонса, взятого им в 1884 году на применение в турбине расширяющегося сопла и кончая нашим временем, когда мощность паровой турбины в одном агрегате достигла полумиллиона киловатт, всего 80 лет.

Паровые турбины и служат сегодня главными двигателями на тепловых электрических станциях.

Прогулка по ТЭЦ

Случалось ли вам бывать на крупных тепловых электростанциях? Если не случалось — обязательно сходите!

Осмотр лучше всего начните со склада угля, чтобы затем шаг за шагом проследить весь путь превращения черного горючего камня в электрический ток.

Если сравнить теплоэлектростанцию с любым другим промышленным предприятием, то уголь для нее будет являться тем, чем является для любой фабрики или завода сырье. Топливо на складе ТЭЦ — это то же самое, что свекла для сахарного завода, бронзовые и стальные прутки для машиностроительного завода, хлопок для текстильного производства.

Итак, уголь — концентрат энергии — прибыл на склад! Отсюда он должен попасть в топку. Если вы прежде не были на ТЭЦ, то представляете себе котельную совсем не такой, какой она есть в действительности. Это представление родилось в вашем воображении под влиянием картин и описаний в книгах. Вспомните хотя бы картину русского художника Н. А. Ярошенко «Кочегар». На ней изображен озаренный сильным пламенем топки человек с обожженным лицом, узловатыми жилистыми руками, привыкшими орудовать тяжелым ломом. На одну минуту всего остановился он, похожий на гнома в черной темноте своей котельной. А через мгновение снова начнет он кидать уголь лопатой, шуровать ломом.

Да, так было раньше. Уголь сжигали прямо кусками. Голый до пояса кочегар, обливаясь потом, забрасывал в прожорливую, пышущую пламенем и едким дымом пасть топки тяжелые совки угля. Снизу в топку поступал

воздух. Углерод, водород и некоторые другие элементы, входящие в состав угля, в жарком вихре химических реакций жадно соединялись с кислородом воздуха, происходил процесс горения, выделялась тепловая энергия. Отдельные раскаленные куски угля спекались в монолит, тяжелый слой, прикрывающий доступ кислорода к сердцевине, еще способной гореть.

Кочегар брал лом и, всей тяжестью тела налегая на его конец, начинал разламывать эту толстую броню.

Потом он выгружал раскаленные куски шлака и снова загружал уголь. Производительность паровых котлов, обслуживаемых вручную, была невелика. Всего 6—8 тонн воды в час превращались в пар в таком котле. Это, конечно, не может идти ни в какое сравнение с современными паровыми котлами, в стальных трубопроводах которых ежедневно превращаются в пар несколько сотен тонн воды!

Зайдем же в котельную современной ТЭЦ. Скажем сразу: вы не увидите здесь целой армии кочегаров, швыряющих в ненасытные пасти печей полные лопаты угля. Вообще, ни кусочка угля вы не увидите здесь. Сквозь высокие окна льется солнечный свет. Ослепительная, сверкающая чистота. У пульта управления, занимающего целую стену, прохаживается человек в белом халате. Он изредка поглядывает на поблескивающие бронзой, никелем и стеклом многочисленные приборы, наклоняется над лимбами и циферблатами. Иногда нажимает кнопки или поворачивает рычажки переключателей. Вот это и есть обычная крупная котельная, а человек у пульта управления — современный кочегар.

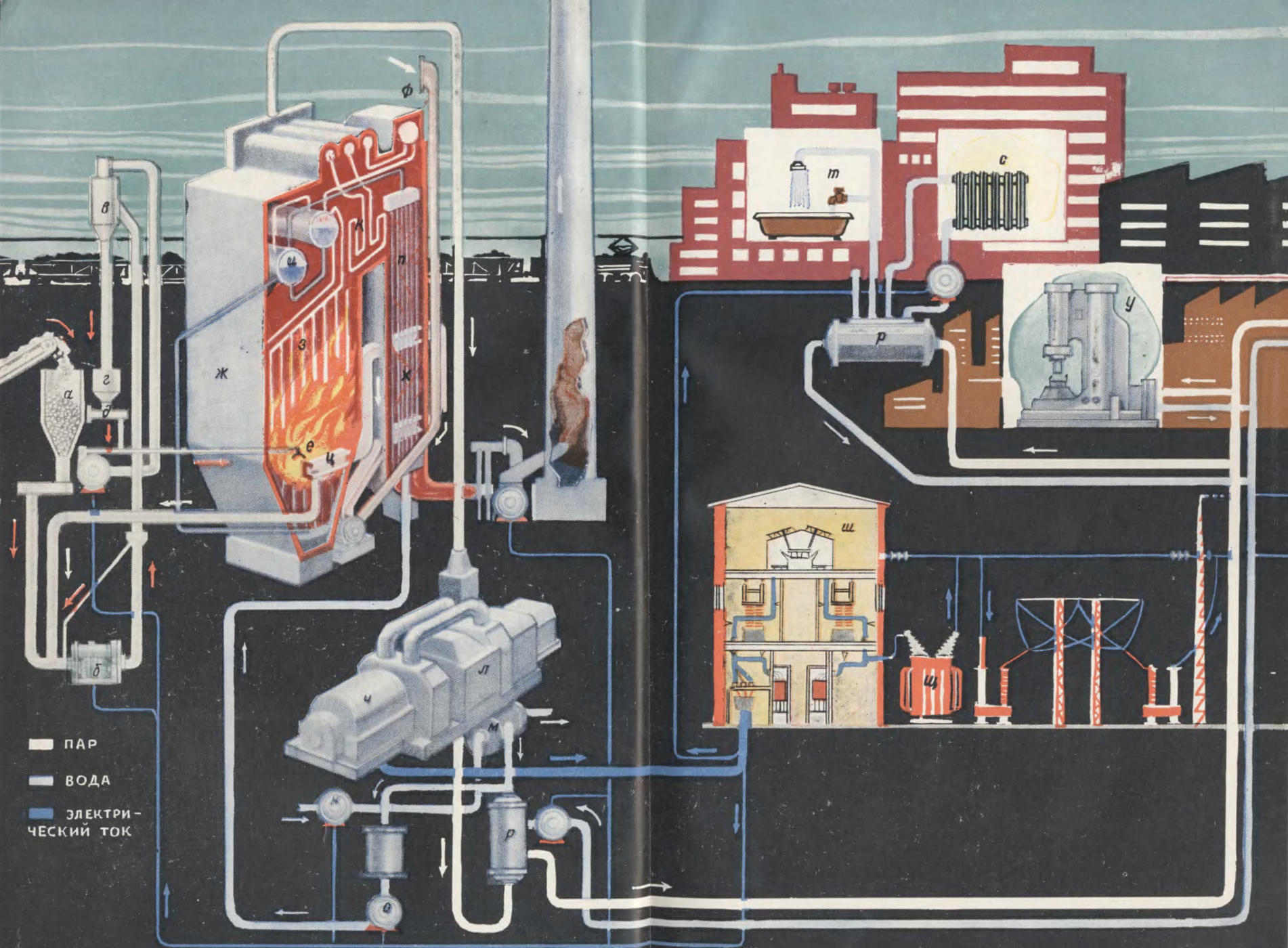
Но как же попадает уголь в топку? И почему он там так стремительно сгорает?

Вообще, как работает современная топка?

Инженеры давно уже решили, что удобнее и выгоднее всего сжигать в топках паровых котлов газ. Струя горючего газа подается в топку вместе со струей воздуха, богатого кислородом, и стремительно сгорает без остатка. Каждый может составить себе представление о таком пламени, в тысячу раз увеличив пламя газовой плиты. Кстати, именно так на горючем природном газе работают сейчас многие электростанции нашей страны.

Пламя паяльной лампы — тоже газовое пламя. Только горит здесь не газ, а пары керосина, тонкая струйка

На обороте этой страницы принципиальная, очень упрощенная схема ТЭЦ. Вот как она работает. В бункер (а) поступает топливо, шаровая мельница (б) осуществляет его размол. Циклон (в) отделяет угольную пыль от несущего ее воздуха. Из бункера угольной пыли (г) питателем (д) угольная пыль подается в горелки (е) топки (ж). Вдоль всех стен топки выстроились трубы (з), в которых находится пароводяная смесь. Лучи пламени нагревают трубы, и пар поступает в коллекторы (и), затем в пароперегреватель (к) и в турбину (л). Отработавший пар конденсируется в конденсаторе (м), который охлаждается проточной водой, подаваемой насосом (н). Конденсат подается насосом (о) в водоподогреватели (п) и дальше в трубы (з). Потом часть пара отбирается из турбины и через теплообменники (р) используется для парового отопления (с), подачи горячей воды (т) и технологических и иных нужд (у). Воздух поступает по трубе (ф), проходит в воздухоподогреватели (х) и поступает в короба (ц), связанные с пылеугольными горелками (е). Вырабатываемый электрогенератором (ч) электрический ток поступает на распределительный щит (ш), трансформирующую подстанцию (щ) и дальше — в сеть высокого напряжения: на заводы и фабрики, в дома и для освещения улиц



которого проходит через спиральную трубку и в ней испаряется. Однако жидкое топливо — бензин, керосин, мазут — можно сжигать и не превращая его в пар. В крупных топках, проходя через специальную горелку, струя жидкого топлива разбивается потоком воздуха или пара на мельчайшую пыль, которая и сгорает на лету. По сравнению со слоевым сжиганием твердого топлива — угля или торфа — все эти способы значительно удобнее.

И задумались инженеры, нельзя ли и твердое топливо — уголь — сжигать так же, как газообразное и жидкое, взвешенным в воздухе, жарким полыхающим факелом? И после ряда экспериментов, расчетов, проб ответили: «Можно!».

... В самом нижнем этаже ТЭЦ с грохотом вращаются гигантские — в три человеческих роста диаметром — металлические барабаны. С торца к ним подходят толстые трубы. Это шаровые мельницы для размола угля.

Уголь определенными порциями подается по одной из труб внутрь мельницы, наполненной перекачивающимися при ее вращении чугунными шарами. Удары этих шаров и разбивают уголь. Тонкая угольная пыль подхватывается потоком воздуха и через другую трубу выносится из мельницы. Пыльный поток проносится по трубам и попадает в специальное устройство, называемое циклоном, где его закручивают в спиральных ходах.

Центробежная сила отбрасывает при этом твердые частицы угольной пыли к внешним стенкам, и они стекают через специальный клапан в огромный бункер — склад.

Частицы, поступающие в этот бункер, имеют в поперечнике всего несколько микрон. Размол так тонок, что угольная пыль ведет себя, как жидкость. Подобно воде, она просачивается сквозь пальцы, если ее взять в горсть; в ней можно утонуть, как в воде.

Эту угольную «жидкость» тоненькой струйкой специальный механизм — дозатор — вливает в воздушный поток, направляемый в топку. Там она и сгорает, совсем как газообразное распыленное жидкое топливо, — клокочущим, взвешенным в середине топки ровным языком пламени.

Мы привыкли под словом «котел» понимать огромный круглый металлический цилиндр, в котором помещается превращаемая в пар вода. Топка находится или под котлом, или внутри его. В современной котельной установке такого стального цилиндра нет. Вместо него вдоль всех стенок топки протянулись снизу вверх стальные трубы — целый частокотел труб, впадающих в более толстые горизонтальные трубы — коллекторы. Окруженный этим частокотлом, мгновенно поглощающим больше 50 процентов всей освобождаемой при горении тепловой энергии, и бушует жаркий факел пламени.

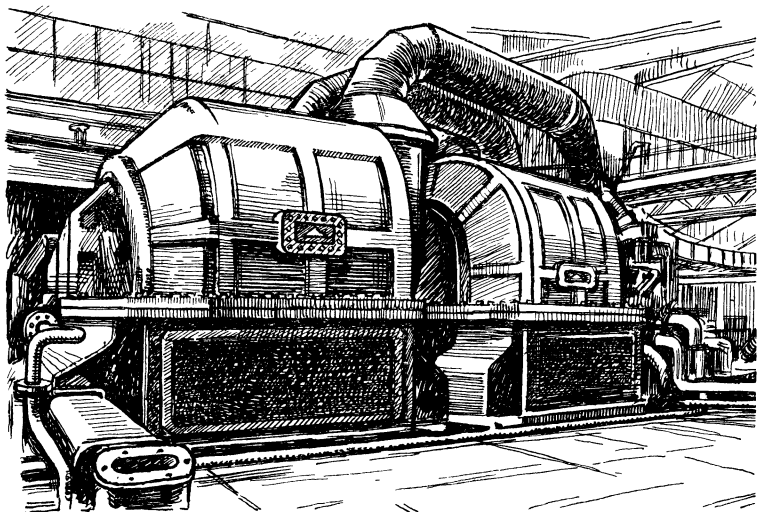
Газы горения, имеющие температуру свыше 1000 градусов, устремляются вверх по шахте топки, но на пути их встают частые решетки труб. Омывая их и отдавая им часть своего тепла, газы устремляются дальше, проходят водоподогреватель, воздухоподогреватель, очистительные устройства и мощными дымососами выбрасываются в дымовую трубу. Температура их при этом не превосходит 100 градусов. Они с пользой отдали в различных частях котельной установки почти все полученное ими при сгорании топлива тепло.

В трубах, обступивших топку и решетками вставших на пути горячих газов, движется вода. Вначале она только подогревается, далее превращается в пар, который «прокаливается» в трубах, обдуваемых еще более горячим потоком газов — в пароперегревателях. В результате образуется пар, имеющий давление в 100 атмосфер и температуру свыше 500 градусов. Горячее дыхание такого пара обугливает дерево, если тонкая его струйка просачивается сквозь фланцы соединенных трубопроводов, она «царапает» полированную поверхность стали, как острое резца или грань алмаза. И вот этот раскаленный вихрь, это огненно-жаркое дыхание перегретого пара устремляется сквозь сопла на лопатки паровой турбины.

Сопла ее устроены так, что каждое их последующее сечение больше предыдущего, попросту они расширяются. Пар, проходя через такие сопла, все ускоряет свое движение и вылетает из них со скоростью свыше 200 метров в секунду. Упругая струя пара ударяет вставшие на его пути лопатки дисков. В столкновениях и поворотах пар расширяется, охлаждается, теряет свою скорость. Пройдя последнюю ступень турбины, пар, отдавший всю

заклученную в нем энергию ротору, попадает в конденсатор. Здесь он конденсируется, превращается в воду, которую насосы снова возвращают в котел.

Турбина — самый ответственный этап в технологическом процессе превращения химической энергии угля в электрическую. Паровая турбина — машина очень высокой точности: ротор ее делает 1,5—3 тысячи обо-



Так выглядит он снаружи — турбогенератор мощностью
в 100 000 киловатт

ротов в минуту, а у специальных машин такого типа — до 30 тысяч. При таких скоростях центробежные силы достигают огромных величин. Сделать лопатку ротора турбины из стали недостаточно высокого качества — и эти силы вырвут ее из диска и швырнут, как пулю, в стальную броню корпуса. Допустить при изготовлении малейшую неуровненность вала — и жесткие бие-ния разболтают подшипники. Стоит плохо рассчитать механизм регулирования — и машина пойдет «в раз-нос», будет набирать число оборотов, пока не разлетит-ся вдребезги.

Паровая турбина — машина высоких параметров. Некоторые ее детали работают при температурах выше

четырехсот градусов, выдерживая чудовищные давления. Это также налагает повышенные требования как на конструкторов, так и на технологов.

Ротор турбины обычно непосредственно соединяют с ротором электрогенератора, стремительный бег которого происходит в водородной среде, обеспечивающей его быстрое охлаждение и не оказывающей ему большого сопротивления. В переплетении электромагнитных полей в их могучем упругом взаимодействии и рождается в обмотке статора электрический ток.

Так завершается чудесное превращение сверкающего пучка лучей, выброшенного некогда пылающей поверхностью Солнца, миллионы лет пролежавшего в недрах Земли и по воле человека претерпевшего несколько дивных метаморфоз: превращавшегося то в лучистую энергию пламени, то в тепловую энергию раскаленного пара, то в механическую вращения тяжелого ротора турбины и, наконец, в универсальную незримую энергию электрического тока, бегущего по медным проводам высоковольтных линий.

Борьба за параметры пара

Сегодня тепловые электростанции дают четыре пятых всей вырабатываемой у нас в стране электроэнергии. И через двадцать лет их доля в энергетическом балансе не снизится. Но изменятся ли тепловые электростанции за этот период времени?

Трудно ответить на этот вопрос. Легче ответить на другой: «Надо ли пытаться изменить тепловые электростанции?»

На этот вопрос может быть только один ответ: «Да, надо!» И вот почему.

Вспомним, какие сложные и многочисленные превращения должна претерпеть энергия топлива, чтобы превратиться в электрический ток. А ведь было бы куда удобнее, если бы химическая энергия сразу превращалась в электрический ток в одном каком-нибудь устройстве. Насколько бы удешевилось тогда строительство электростанций!

Но не это, пожалуй, главное. Со сложностью и многоступенчатостью процесса превращения энергии еще

можно бы было примириться, если бы он протекал экономично. Но в том-то и дело, что в электрический ток на тепловой электростанции превращается меньше половины заключенной в топливе энергии. А большая часть пропадает без пользы для человека.

Каковы же пути повышения экономичности?

Каждый сразу скажет: «Борьба с потерями». Это, конечно, верно.

И теплотехники яростно стремятся снизить все виды потерь. Они снижают температуру выбрасываемых в трубу газов, бьются над усилением тепловой изоляции, сокращают до миллиметров расстояния между елочками уплотнений, сквозь которые просачивается из турбины некоторое количество пара. Они заставляют ускользающее тепло возвращаться в топку и в котел с подогретым дутьем и водой. И им удается достигнуть сравнительно высокого КПД, достигающего у лучших паровых котлов 90 процентов.

Но в общем КПД даже лучшей котлопаротурбинной установки очень редко превосходит 40—42 процента.

Куда же девается остальная энергия?

Чтобы разобраться в этом, посмотрим тепловой баланс электростанций.

Итак, поступающую в котел воду за счет энергии топлива испаряют, нагревают пар, затем пар заставляют срабатывать в паровой турбине и превращают обратно в жидкость в конденсаторе.

Тепло, которое было затрачено на испарение воды, так называемую скрытую теплоту парообразования, пар отдает охлаждающей воде конденсатора, а та уносит его в близтекущую реку.

Если реки вблизи от тепловой электростанции нет, нагревшуюся в конденсаторе воду направляют в брызгальный бассейн. Это очень красивое устройство — брызгальный бассейн, конкурирующее количеством фонтанирующей воды с фонтанами ВДНХ. И хотя он действительно похож на фонтан и под рокот его струй отдыхают рабочие, в обеденный перерыв, строят его не для красоты, а по необходимости. Разбрызгиваемая тоненькими струйками, мириадами капель вода испаряется в воздухе и при этом охлаждается.

Пройдя брызгальный бассейн, она снова может быть

направлена в конденсатор и принять там новую порцию тепла.

Но какая разница, куда сбрасывать из конденсатора охлаждающую воду: в воду ли, в воздух ли. Важно уменьшить количество этого выбрасываемого тепла.

Для этого есть несколько путей. Первый — охладить пар до самой низкой температуры. Чем ниже будет температура, с которой он уйдет из турбины, тем меньше он унесет с собой в конденсатор тепла. Но пар при низкой температуре может существовать только при очень низком давлении. И теплотехники ставят инжекторные насосы, которые непрерывно откачивают из конденсатора воздух. Эти насосы обеспечивают необходимый вакуум. При давлении всего в 0,035 атмосферы происходит в современных конденсаторах конденсация пара. При этом температура его равна примерно 30—35 градусам.

Недаром пар, выходящий из турбины, называют мятым!

Конечно, по сравнению с турбинами начала века, выбрасывавшими отработанный пар прямо в атмосферу, конденсаторная турбина несравненно экономичнее. Но в эту сторону, в сторону еще большего снижения температуры и давления отработанного пара, идти в настоящее время уже практически некуда. Снижение давления в конденсаторе на сотые и тысячные доли не принесет значительного повышения экономичности. Этот путь уже пройден до конца.

Но есть другой путь — повышение начальных параметров пара: его температуры и давления. Переходя на более высокие параметры, мы как бы повышаем долю тепла, забираемого паром в котле сверх скрытой теплоты парообразования. А ведь это тепло почти полностью можно превратить в механическую энергию вращения ротора турбины.

Вся история развития мирового паротурбостроения есть история борьбы за повышение начальных параметров пара.

До 1945 года все вновь строящиеся электростанции работали на паре давлением в 29 атмосфер и температур 410 градусов. А уже в 1950 году почти не было новых станций, которые бы не были рассчитаны на пар с давлением 90 атмосфер и температуру 480—500 граду-

сов. Такие станции потребляют при одинаковой мощности на 15 процентов меньше топлива, чем работающие на прежних параметрах пара.

В 1953 году была пущена первая электростанция на сверхвысоких параметрах пара с давлением в 170 атмосфер и температурой 550 градусов. Кроме того, на ней применен промежуточный подогрев пара — пар, расширившийся в турбине до давления 35 атмосфер и остывший до температуры 340 градусов, снова направляется в котельную, где он подогревается до температуры 525 градусов и опять подается в турбину. Это позволило еще на 10 процентов снизить расход топлива на каждый киловатт-час выработанной энергии.

Но и это еще не предел.

В конце 1965 года Харьковские турбостроители изготовили удивительную машину. Еще десять-пятнадцать лет назад сама мысль о возможности существования ее показалась бы почти фантастичной. Я помню, как мои учителя — известные ученые-турбостроители — с профессорских кафедр старейшего в стране вуза — Московского высшего технического училища имени Баумана — утверждали в конце сороковых годов этого века, что предельно возможная мощность одновальной турбины, делающей 3000 оборотов в минуту, колеблется где-то около 250 тысяч киловатт. Ограничение вызывает невозможность увеличить количество пропускаемого через турбину пара. Ведь для этого надо было увеличить длину лопаток ротора. А они работали на пределе прочности: их стремятся оторвать неистовые центробежные силы, их изгибают удары пара, сотрясают вибрации...

И вот харьковские ученые и инженеры сконструировали турбину мощностью в 500 000 киловатт! Это лишь немногим меньше мощности всего Днепрогэса, когда он впервые вступил в строй!

Работает эта турбина на сверх-сверхвысоких параметрах пара: давлении — 240 атмосфер, температуре — 580 градусов!

Будет ли это последним шагом?

Нет, не будет. Ибо те же ученые работают уже над турбиной мощностью в 800 000 киловатт.

Но учителя мои не ошибались: действительно, всего двадцать лет назад указанная ими мощность была предельно возможной. И в мире не было примеров, которые

бы свидетельствовали об их неправоте. Но с тех пор наука и техника сделали значительные успехи. И если предел мощности паровой турбины практически вырос вдвое, то теоретические расчеты позволяли увеличить эту мощность более чем в три раза. Иначе не взялись бы за конструирование одновальной турбины мощностью в 800 000 киловатт инженеры Харьковского турбостроительного завода.

Но вернемся к параметрам пара, на которых работают современные паровые турбины.

Барьеры на пути вверх

Вы, наверное, заметили, что, хотя для теплотехников и очень выгодно повышение температуры и давления пара, строители котлов и турбин все-таки очень осторожно повышают эти параметры. А, казалось бы, раз это так выгодно, почему бы не изготовить сразу котел, который бы производил пар давлением, скажем, в 1000 атмосфер при температуре 1000 градусов, почему бы не построить турбину, которая бы работала на паре с такими параметрами?

К сожалению, сейчас это еще невозможно. И предел здесь ставят не теплотехники, а металлурги.

В начале двадцатых годов начался переход паротурбостроения на пар сравнительно высоких параметров. Но первые же котлы, предназначенные для производства такого пара, начали один за другим выходить из строя. Рассчитанные по всем правилам науки о сопротивлении материалов паропроводы, наполненные паром высокого давления, начали один за другим раздуваться и разрушаться. Диаметр трубопровода, порабоавшего некоторое время при высоких температурах и давлении, оказывался значительно больше, чем был вначале.

Тогда открыли паровые турбины и измерили длины лопаток первых ступеней, работающих на паре особенно высоких параметров. И оказалась, что лопатки «подросли» — стали длиннее, чем были вначале. Этот прирост «съел» почти весь зазор между верхним краем лопатки и корпусом турбины.

И тогда металлурги впервые произнесли это слово: крипп — ползучесть металла.

Этим словом называли новое явление — невосстановимое удлинение металла под нагрузкой при высоких температурах.

Металлурги довольно быстро научились справляться с этим явлением, пока речь шла о не слишком высоких температурах и давлениях. Они создали специальные сорта легированных сталей, величина ползучести которых до поры до времени устраивала теплотехников. Но когда встал вопрос о переходе на еще более высокие параметры, металлурги запротестовали. Изготавливаемые ими криппоустойчивые стали оказываются слишком дорогими и труднодоступными.

У паровых котлов, рассчитанных на 240 атмосфер при температуре пара 580 градусов, выходная часть пароперегревателя сделана из совершенно не похожего внешне на сталь матового металла. Он скорее напоминает олово или свинец. Но это сходство только внешнее: матовый металл не только не плавится при температурах плавления олова и свинца, но свободно выдерживает, будучи нагрет до красного каления, огромные давления наполняющего его пара. Этот удивительный сплав больше чем на 30 процентов состоит из хрома, никеля и других металлов.

Правда, сплав этот еще очень дорог. Изготовленные из него части, составляющие всего несколько процентов от веса котла, стоят столько же, сколько весь остальной агрегат.

* *

*

Но, конечно, трудности перехода на высокие параметры сводились не только к недостаточно высоким свойствам металла.

Потребовалось решение многих других технических задач. Одной из них оказалась борьба с уносами паром солей, растворенных в воде, питающей котел.

Оказывается обыкновенную воду из московского водопровода, прошедшую фильтры и очистители, которую человек может пить, совершенно не опасаясь за свое здоровье, котел «пить» не может. Для него годна вода, только совершенно свободная от солей. Иначе он заболит: слои накипи покроют внутренние стенки его труб и барабанов, теплопроводность их снизится, экономичность работы уменьшится.

Поэтому стараются использовать воду, полученную в конденсаторе из уже отработавшего пара — так называемый конденсат. Однако часть этой циркулирующей по кругу котел — турбина — конденсатор воды при каждом цикле теряется и это требует постоянной добавки новой воды.

Борьбу за очистку питающей котел воды ведут уже давно.

На крупных котельных действуют специальные цехи «водоподготовки», в которых с помощью тончайших ухищрений вода освобождается от большей части растворенных в ней солей. Из барабанов котла, где собирается особенно насыщенная солями вода, ее систематически отбирают, производят так называемую продувку котла. Всех этих мер было достаточно, пока параметры пара были не очень высокими. Но при сверхвысоких параметрах задача становится значительно сложнее.

Во-первых, пар высоких параметров захватывает с собой в турбину значительно больше кремниевых и других солей, чем пар низких параметров.

Во-вторых, когда мы готовим пар из воды с давлением выше критического — оно соответствует 225 атмосферам, — объем пара, образующегося при повышении температуры, остается тем же самым, каким был объем воды. Вода, так сказать, незаметно переходит в пар, четкой границы между водой и паром нет. Осуществить при этих условиях продувку, вывести из котла насыщенную солями воду не представляется возможным. Особенно страдают прямоточные котлы, в которых поступающая вода, проходя систему трубопроводов, целиком превращается в пар и уносит с собой в турбину практически все растворенные в ней соли.

А попадающие в турбину с паром соли чрезвычайно вредны для нее. Отлагаясь на лопатках, они уменьшают пространство между ними, пропуск пара снижается и мощность турбоагрегата падает. Но и небольшое отложение солей снижает мощность турбины — оно искажает расчетную форму лопаток, увеличивает внутренние потери.

Изучение того, как именно и в каких количествах увлекаются с паром соли, при каких температурах и давлении этот процесс протекает наиболее интенсивно, при каких снижается, было чрезвычайно сложно. Ведь

речь идет о ничтожных примесях, уловить и измерить которые не так-то просто. На помощь пришли меченые атомы. В состав солей, растворенных в воде, ввели радиоактивные изотопы. А обнаружить их и определить количество солей значительно проще.

...Мы кратко коснулись только двух проблем, которые надо решить, прежде чем начать борьбу за повышение экономичности паровых котлотурбоустановок путем повышения параметров пара. А их значительно больше. И советские ученые, инженеры котло- и турбостроители успешно решают эти проблемы.

Растут и мощности

С борьбой за повышение параметров пара связана и борьба за повышение мощностей отдельных котлотурбогенераторных установок.

Было время и притом сравнительно недавно, всего 30 лет назад, когда турбины в 25—50 тысяч киловатт поражали своей мощностью. Теперь уже не редкость турбины мощностью в 100, 200 и 300 тысяч киловатт. Но ведь на одной станции общей мощностью в 1 000 000 киловатт, каких немало строится в настоящее время в нашей стране, пришлось бы установить сорок машин по 25 тысяч киловатт каждая. Даже турбин по 100 тысяч киловатт понадобилось бы 10 штук. А не проще ли установить 5 машин мощностью по 200 тысяч киловатт? Ведь изготовление одной турбины мощностью в 200 тысяч киловатт и по стоимости и по трудовым затратам обходится всего на 15—20 процентов дороже турбины вдвое меньшей мощности.

Более мощная турбина имеет, как правило, более высокие экономические показатели, у нее относительно меньше потери.

Мы уже упоминали харьковскую турбину мощностью в 500 тысяч киловатт. Так вот, себестоимость каждого киловатта мощности этого гиганта на 10 процентов меньше, чем при сооружении турбины в 300 тысяч киловатт. Выпуск каждого такого агрегата означает экономию капитальных затрат в 260 тысяч рублей.

Но, кроме того, большая мощность означает и более высокую экономичность машины. И действительно, толь-

ко за счет снижения расхода топлива эта турбина обеспечивает экономию в 75 тысяч рублей ежегодно.

По всем этим причинам Директивы XXIII съезда КПСС по новому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР предусматривают на вновь строящихся тепловых электростанциях установку преимущественно энергетических блоков единичной мощностью 300 тысяч киловатт.

* *
*

Повышение мощности паровых котлов, турбогенераторов не может быть достигнуто простым увеличением соответствующих размеров. Оно, так же как и повышение параметров пара, требует принципиально новых технических решений. Надо, в частности, менять конструкцию электрогенератора как только его мощность начинает превосходить 200 тысяч киловатт.

Дело в том, что повышение мощности электрогенератора ограничивается сильным нагревом обмоток. Тепло, выделяющееся в медных проводах генератора, надо отводить, а это очень затрудняется их электрической изоляцией. Для лучшего отвода тепла и уменьшения так называемых вентиляционных потерь — потерь энергии на сопротивление воздуха быстро вращающемуся ротору — роторы генераторов крупных машин помещают в водородную атмосферу. Являясь хорошим проводником тепла, водород быстро охлаждает верхние поверхности обмоток ротора. Но и при этих предосторожностях нагрев проводов обмоток очень значителен.

Выходов может быть два: нужно либо увеличить диаметр ротора, а значит, и охлаждающиеся поверхности его обмоток, либо найти принципиально новый способ охлаждения проводов.

Первый путь отпадает. Ведь ротор делает 3000 оборотов в минуту. Если увеличить его диаметр, центробежные силы могут разнести его вдребезги.

Второй путь очень сложный. Задача состоит в том, чтобы обеспечить непосредственное соприкосновение водорода с внутренними частями ротора. И это удастся сделать. Можно применить и водяное охлаждение — струи воды, протекая в каналах ротора, охлаждают его...

Так или иначе, но и эта и все другие технические трудности, которые встают при создании турбоагрегатов большой мощности успешно преодолены. Ибо еще в 1961 году были созданы электрогенераторы мощностью 300 тысяч киловатт, а в 1964 году мощностью в 500 тысяч киловатт. А иначе как бы мог работать харьковский гигант?

И котлы-гиганты...

Знаете ли вы, сколько пара требуется для турбины мощностью в 100 000 киловатт? Свыше 400 тонн в час! Четыреста тонн воды надо приготовить, испарить, нагреть до высокой температуры и подать в турбину!

Но, конечно, еще труднее приготовить пар для турбины мощностью 300, а тем более 500 тысяч киловатт. Первой требуется 950 тонн пара в час, второй — 1600 тонн! Они не уступают по аппетиту знаменитому Гаргантюа, эти гигантские турбины! А как тщательно должна быть для них приготовлена пища, мы уже говорили.

Между тем, всего лет 10—15 назад, у нас не изготовлялось котлов производительностью большей чем 230 тонн в час. Следовательно, на каждую паровую турбину мощностью в 100 тысяч киловатт должны были работать минимум два таких котла.

А на станции мощностью в 1 000 000 киловатт таких котлов потребовалось бы не менее 20.

Как это неудобно — иметь большие мощности турбин и недостаточные мощности котлов! К тому же наши тепловые электростанции нередко имели чрезвычайно запутанные системы передачи пара от котлов к турбинам. Нередко все котлы и все турбины подсоединялись к одному общему магистральному трубопроводу. Делалось это для надежности работы: выйдет-де из строя один из пяти котлов, питающих две турбины, остальные примут на себя их питание.

Раньше, когда неожиданный выход из строя каждой турбины означал значительное сокращение общей выработки электрического тока, это было оправдано. Но в настоящее время, когда мы располагаем мощными электростанциями, объединенными к тому же в энергосистемы, выход из строя одного агрегата уже не представляет опасности. Наиболее целесообразно теперь со-

здание жестких блоков: котел — турбина. Это означает: каждый котел обслуживает только свою турбину.

В этом случае тепловая электростанция мощностью 1 000 000 киловатт, снабженная турбинами в 200 000 киловатт, имеет пять жестких отдельных блоков, состоящих из высокопроизводительных котлов, способных обеспечить эти турбины паром.

Такая схема значительно удешевляет и упрощает строительство. Самые дорогие трубопроводы — для подачи пара от котла к турбине — получаются очень короткими. Удобно в этом случае осуществлять и промежуточный перегрев пара, о котором мы уже говорили.

Надо ли говорить, что в нашей стране уже освоено производство котлов любых мощностей, какие только потребуются турбостроителям.

Электростанция — комбинат

Есть русская сказка «Вершки и корешки». Возникла она, видимо, в те времена, когда медведи досаждали людям своими разбойничьими налетами на пасеки и на хлева. В ней так объяснялась вражда между могучим лесным богатырем и человеком.

Решили, якобы, медведь с мужиком вместе землю обрабатывать, сеять и собирать урожай. Но еще прежде чем за дело приняться, поделили будущий урожай: мужику — вершки, медведю — корешки. И засеяли поле рожью.

Пришло время собирать урожай. Работали дружно. Поделили — мужик на мельницу зерно повез, а медведь лапу сосать в берлогу полез. Обиделся. Но виду не подал. «Ну, — думает, — в следующий раз я таким дураком не окажусь».

Весной снова за работу принялись. Медведь себе заранее вершки выговорил, с тем чтобы крестьянину корешки достались, и засеяли они поле картошкой.

Разумеется, и на этот раз обманул мужик медведя. С тех пор и пошла смертельная вражда между ними.

А ведь если бы на месте медведя было какое-нибудь другое животное, этого бы не произошло. Корову, например, отличцо устроили бы «вершки» — сочная и вкусная, с ее точки зрения, картофельная ботва. Можно бы-

ло бы найти потребителя и на «корешки» — ржаную солому. И конфликта бы не получилось.

Именно такова «бесконфликтная» дружба энергетиков и химиков. «Бесконфликтность», наделавшая столько вреда в нашем искусстве и в литературе, в данном случае может принести колоссальную пользу.

Русский ученый Д. И. Менделеев, как-то протестуя против небрежного отношения к топливу, бросил в пылу спора: «Топить можно и ассигнациями». Действительно, сжигая в топках уголь, сланцы, нефть, торф, мы, образно говоря, предаем на суровую расправу огню нейлоновые плащи и капроновые чулки, пластмассовые статуэтки и целительные лекарства, резиновые галоши и драгоценные для художников тюбики разноцветных красок — бесчисленное разнообразие предметов, прародителями которых являются эти топлива. А не целесообразнее ли сначала извлечь из них самые ценные для химической промышленности вещества и только после этого сжигать остатки?

...В 1954 году, в городе Рокдейле, в США, вступила в строй новая электростанция мощностью в 240 тысяч киловатт. Она использует один из самых низкосортных углей — так называемый лигнит. Работа на этом топливе считается в США — стране чрезвычайно богатой самым первоклассным углем и другими высококачественными топливами — невыгодной.

И, однако, компания, построившая и эксплуатирующая станцию, объявила, что вырабатываемая ею электроэнергия — самая дешевая из вырабатываемых на тепловых станциях и отпускаться будет по самой дешевой цене.

Дело в том, что на этой электростанции лигнит сжигается не в сыром виде, как он добывается из-под земли, а в виде полукокса, пройдя непродолжительный прогрев при температуре около 480 градусов. Во время этого прогрева из него выделяются летучие вещества — газы и смолы, — которые улавливаются, очищаются от пыли и конденсируются. Десятки цистерн, груженных этими смолами, используемыми в химической промышленности, ежедневно отправляются этой странной электростанцией на химические заводы.

Стоимость смолы, получаемой из лигнита, в значительной степени окупает топливо, сжигаемое в топках

электростанции. А ведь в стоимости вырабатываемой электростанцией электроэнергии очень большую часть составляет стоимость потребляемого ею топлива. Поэтому и оказался вырабатываемый рокдельской электростанцией ток таким дешевым.

Можно было бы, конечно, из lignита получить только летучие смолы — «вершки» — и выбрасывать в отбросы все остатки. Можно было бы только сжигать lignит, использовать, так сказать, его «корешки».

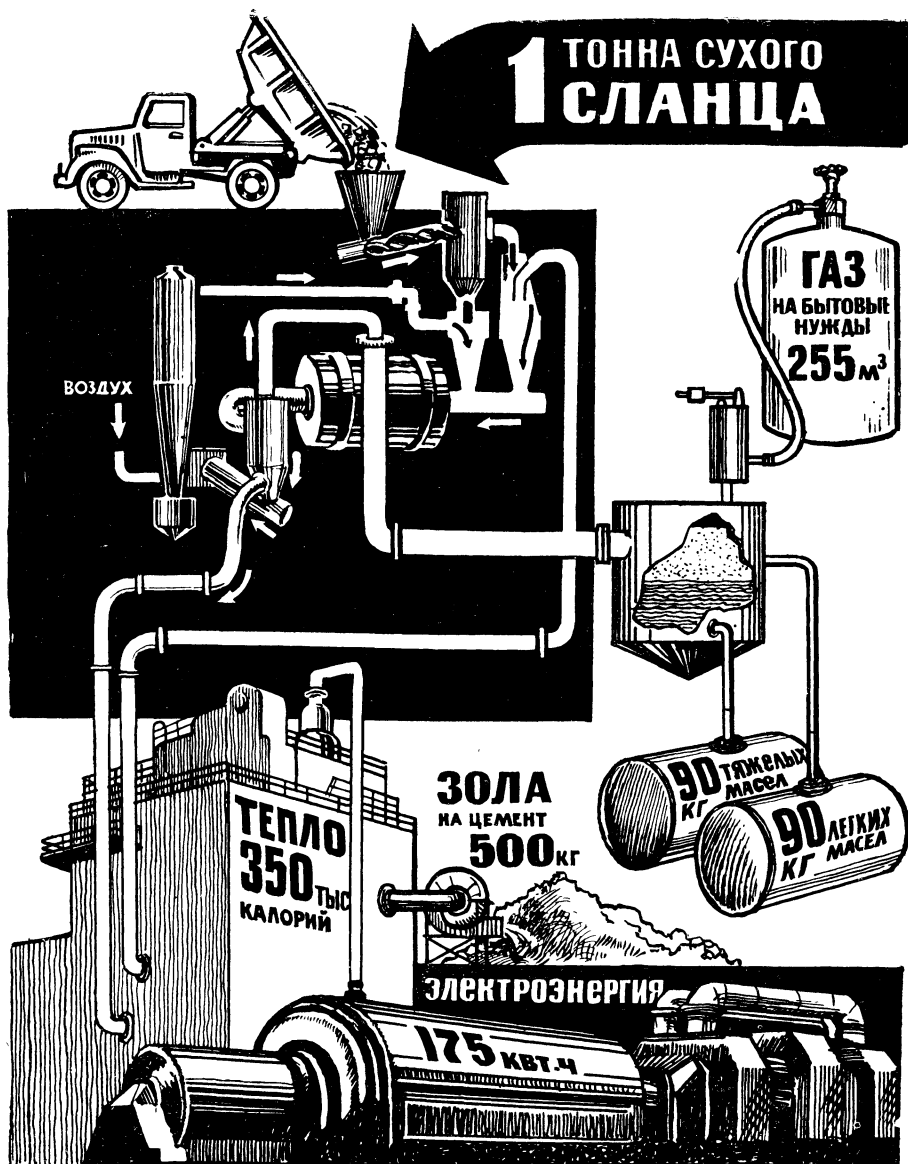
А можно подружиться крепкой взаимовыгодной дружбой химикам и энергетикам, наладить комплексное использование топлива.

Особенно перспективен таков метод использования топлива, в первую очередь низкосортного, в СССР — стране планового хозяйства. У нас скоро войдут в строй настоящие энерготехнологические комбинаты, которые нельзя назвать ни заводом, ни электростанцией. Энтузиастом их создания стал член-корреспондент АН СССР З. Ф. Чуханов.

Действительно, что это за электростанция, со складов которой ежедневно отправляют, как с нефтеперегонного завода, высокооктановый бензин и минеральные удобрения, бочки со смазочными маслами и крупнопанельные строительные блоки? И что это за завод, который непрерывно вырабатывает электроэнергию и отдает ее в общую энергосеть страны, как заправская ТЭЦ, отправляет по трубам огромное количество горячей воды для обогрева зданий и технологических нужд предприятий.

Только энерготехнологическим комбинатом и можно назвать такой странный на первый взгляд, но чрезвычайно перспективный, промышленный комплекс, состоящий из нескольких заводов и теплоэлектроцентрали.

Первые такие комбинаты в нашей стране будут работать на горючих сланцах. Это одно из самых низкосортных топлив, после сжигания которого остается свыше 50 процентов золы. Конечно, перевозить такое топливо на дальние расстояния невыгодно. Зато сланец весьма эффективен для комплексной переработки. Ведь с одной его тонны можно получить на энерготехнологическом комбинате: 90 килограммов высококачественного топлива — бензина, 90 килограммов смазочных масел, 255 кубических метров высококачественного горючего газа,



Энерготехнологическая переработка сланца и ее результаты

500 килограммов сланцевой золы, из которой вырабатывают первоклассный цемент. Это все «вершки», получаемые химиками.

А вот «корешки» той же тонны «низкокачественного» топлива — горючих сланцев:

175 киловатт-часов электроэнергии,

350 тысяч калорий тепла для теплофикации.

— Но, может быть, — возразят скептики, — такая электротехнологическая переработка чрезвычайно сложна, требует громоздкого дорогого оборудования, огромных производственных площадей, колоссальных денежных вложений при строительстве комбината.

Ничего подобного!

Подготовительные цехи, в которых идет вся обработка топлива перед сжиганием в топках, рассчитанные на сжигание 1500 тонн сланца в сутки по старому обычному способу, имеют 400 тысяч кубических метров. Такой же мощности цехи энерготехнологического комбината размещаются в здании объемом всего в 40 тысяч кубических метров. В десять раз меньше!

Строительство же всего комбината обходится значительно дешевле, чем электростанции, работающей на этом же топливе, но по старому методу.

Из металла, сэкономленного таким путем, можно построить еще два таких завода.

Технологическая схема работы электротехнологического комбината также не сложна. Сланцевая мелочь поступает с ленты конвейера в сушилку, работающую по принципу «кипящего слоя». Подсушку производят дымовые газы, пропускаемые через отверстия в нижней стенке сушилки. Частицы сланца, нагретого до 200 градусов, «выливаются» через выпускное отверстие в циклон, где отделяются от газов. Газы идут теперь к горелкам котла электростанции, а твердые частицы сланца поступают в смеситель. Сюда же подается раскаленная до 900 градусов зола.

Смесь золы и сланца подается в бункер—реактор, где она некоторое время и выдерживается при температуре около 480 градусов.

Выходящие отсюда твердые частицы называются полукоксом. Мелкий полукокс направляется в обычную топку, крупный сгорает в так называемой аэрофонтанной технологической топке. Именно отсюда и поступает

раскаленная зола в смеситель. А газы идут в сушилку, чтобы подсушивать сланцевую мелочь.

Самые ценные продукты переработки — сланцевые масла — улетают в виде газа из смесителя по трубам в холодильники. Здесь они разделяются по фракциям. Неконденсирующийся горючий газ используется для газификации городов.

Всмотритесь внимательно в эту схему, здесь не механическое соединение двух предприятий — химического завода и тепловой электростанции, работающей на его отходах, — а тесное переплетение обеих линий, настоящее содружество химии и энергетики. И сколь блистательны результаты этого содружества!

Горючие сланцы отнюдь не единственный вид топлива, которое можно подвергать такой комплексной переработке. Ей, но, конечно, по несколько измененной схеме, могут быть подвергнуты и другие виды топлива — бурый уголь, торф, отходы древесины или нефтепереработки и т. д. Бензин, фенолы, керосин, цемент, редкие элементы может дать уголь; уксусную и карболовую кислоты, метиловый спирт, канифольные масла — древесина; моторное топливо, фенолы, керосин, удобрения — торф. И это не считая горючих газов, электроэнергии, тепла...

На наших электростанциях мы ежегодно сжигаем значительно больше 100 миллионов тонн угля, торфа, сланцев. Если это топливо мы будем подвергать энерготехнологической переработке, то можно получить 20 миллиардов кубометров горючего газа. Этого количества газа достаточно, для того чтобы обеспечить работу миллиона газогенераторных автомобилей и бытовые нужды половины населения СССР. А стоимость этого газа не превысит 5—14 копеек за кубометр!

А сколько еще вдобавок будет получено жидкого горючего, смазочных масел и исходных продуктов для синтеза лекарственных и ароматических веществ, даже редких и благородных металлов!

Энерготехнологическая переработка топлива делает свои первые шаги. Сегодня только первые энерготехнологические комбинаты строятся и вступают в строй в нашей стране. И кажутся необычными эти странные гибриды химии и энергетики.

А завтра они будут главным типом предприятий, пе-

перерабатывающих топливо в электроэнергию, тепло, горючий газ, бесчисленные химикалии. Устарелыми, неэкономичными, невыгодными покажутся по сравнению с ними наши теплоэлектроцентрали, которыми мы гордимся сегодня.

Энерготехнологическая переработка топлива — это завтрашний день теплоэнергетики.

* *
*

А теперь вернемся к тому вопросу, который мы однажды уже задали: «Надо ли пытаться принципиально менять технологическую схему тепловых электростанций?»

Ответ снова может быть только один: «Да, надо». Ведь все пути повышения коэффициента полезного действия паротурбинного агрегата, о которых мы говорили, не могут хотя бы удвоить его, поднять, скажем, до 70—80 процентов. Следовательно, большая часть заключенной в топливе энергии будет по-прежнему пропадать без пользы для человека.

Значит, надо идти не только по пути частичных усовершенствований и доводок, а искать принципиально новые решения.

Видят ли ученые их уже сегодня?

Об этом мы поговорим в следующей главе.

вихрь пламени и беспламенное горение

В истории техники обычны случаи, когда выход из кажущегося тупика приносит именно принципиально новое решение задачи.

Вспомним, например, историю покорения воздушно-го океана. Еще в 1783 году французские ученые Жозеф и Этьен Монгольфье подняли в небо искусственный летательный аппарат — наполненный теплым воздухом и дымом матерчатый шар. Вскоре в первый полет на таком аппарате отправились животные, а затем и человек. Казалось, воздушный океан покорен! Осталось доработать всего лишь кое-какие мелочи — ну, в частности, научиться управлять полетом, научиться направлять летательный аппарат в ту сторону, куда это требуется его пилотам. И воздушные шары превратятся из игрушки немногих взрослых любителей в средство сообщения...

Шел год за годом, проходило десятилетие за десятилетием, а «мелочь» эта — управление — все не давалась

в руки изобретателям. К каким только ухищрениям они не прибегали! В корзинах воздушных шаров пребывали и весла, и паруса, и пропеллеры, приводимые в движение через зубчатую передачу рукой и паровой машиной. Но воздушный шар по-прежнему оставался игрушкой ветра. Не изменило принципиально положения вещей и появление первых дирижаблей — тихоходных, недолговечных, постоянно терпевших аварии под ударами ветра. И ничего не дали частичные усовершенствования ни воздушных шаров, ни дирижаблей...

Победа была в другом. Победу принесло принципиально новое решение: летательный аппарат тяжелее воздуха — аэроплан. Он родился чуть ли не на полтора столетия позже воздушного шара, но именно он стал могучим средством сообщения, а не усовершенствованный матерчатый пузырь с подвешенной к нему кабиной. Тот и сегодня остается лишь игрушкой воздушных течений, используемой для специальных, редко встречающихся надобностей.

Вероятно, нечто подобное надо ожидать и в энергетике. Должна появиться принципиально новая идея, которая позволит поднять коэффициент полезного превращения содержащейся в топливе энергии до семидесяти, а еще лучше и до восьмидесяти, процентов. Инженеры никогда не мечтают о стопроцентном коэффициенте полезного действия: они знают, что практически он все равно ни в какой машине недостижим.

По существу вопрос состоит в том, чтобы найти новый способ превращения химической энергии, заключенной в топливе, в электрический ток. Видят ли ученые, хотя бы в принципе, такой новый способ?

Да, видят. И не один, а целый ряд очень разных и очень непохожих друг на друга путей предлагают и физики, и химики, и теплотехники, и даже специалисты в области радиоэлектроники. По какому из них пойдет завтра техника и промышленность сегодня сказать еще трудно. Сегодня по каждому из них двигаются лишь первые отряды разведчиков. Выбран будет тот путь, который наиболее прямо ведет к цели. А цель — высокий коэффициент превращения энергии.

Задача, о которой мы сейчас говорим — одна из важнейших в науке. Над ее решением работают не только советские ученые, а и специалисты во всех пожалуй,

энергетически развитых странах мира. Она стоит среди важнейших научных проблем и в Программе Коммунистической партии Советского Союза.

Вот некоторые из возможных путей, которые разведывают сегодня советские ученые.

Пламя в турбине

Мы говорили о длинной и торной цепи превращений энергии, ведущей от топлива к электрическому току на наших обычных современных электростанциях. А нельзя ли укоротить эту цепь? Нельзя ли выбросить из нее ряд промежуточных звеньев?

Действительно, зачем нужен промежуточный переносчик энергии — водяной пар, благодаря включению которого в цикл по существу и снижается коэффициент полезного действия установки? Ведь это его свойства — его аномально большая скрытая теплота парообразования — похищает огромное количество энергии. Между тем раскаленный газ, получающийся при сгорании топлива, обладает всеми необходимыми для работы в турбине свойствами. И отнять у него на вращающихся лопатках энергию можно значительно полнее, чем у водяного пара.

Такова в простейшем выражении идея газовой турбины. Она воплощена в удивительно простой схеме газотурбинной установки.

Мощный компрессор подает под давлением воздух в камеру сгорания. Туда же впрыскивается и топливо. Эта смесь сгорает почти мгновенно. Температура образующихся газов горения резко возрастает. Раскаленный вихрь устремляется к лопаткам турбины по расширяющемуся соплу. Отдав им свою энергию, охладившиеся и потерявшие давление газы затем выбрасываются в атмосферу.

Не правда ли, проста и идея и ее принципиальное исполнение. Так почему же она не возникла давным-давно? Почему газовую турбину считают очень молодым типом двигателя?

Оказывается, этот «новейший» двигатель имеет более чем полувековую историю.

Еще в 1892 году русский инженер П. Д. Кузьминский

построил и испытал небольшую радиальную газовую турбину. По мысли изобретателя, она должна была работать на смеси газа и пара. Вскоре была построена и камера сгорания — ее Кузьминский назвал «газопарородом». Однако работы по доводке этой оригинальной газотурбинной установки не были завершены из-за смерти изобретателя.

В 1908 году русский ученый В. В. Караводин сконструировал газовую турбину несколько иного типа — взрывную. Одновременно с ним работу над такой турбиной проводил немецкий инженер Гольцварт. Ему удалось построить несколько довольно крупных экспериментальных установок.

Но это был путь в сторону. Главная линия развития газовых турбин лежала через газовые турбины непрерывного, а не взрывного сгорания топлива. Именно этой точки зрения придерживался профессор В. М. Маковский. Он спроектировал и построил газовую турбину мощностью в 1000 лошадиных сил, установленную на станции подземной газификации угля в Горловке. Испытания интересной машины начались в 1941 году. Завершить их помешала война.

Но уже в 1940 году чехословацкий ученый Стодола опубликовал результаты испытаний газотурбинной установки постоянного горения мощностью в 4000 киловатт. Коэффициент полезного действия ее достигал 18 процентов.

Вроде бы, очень мало по сравнению с тем, что мы ожидали, недопустимо мало! Сможет ли газовая турбина с таким коэффициентом полезного действия конкурировать с паровой турбиной?

Но ведь это была всего лишь первая опытная модель! Коэффициент полезного действия первых паровых турбин тоже был ниже, чем у паровой машины, которую они заменили и вытеснили.

Затем наступили годы войны. Достижения в области двигателестроения в целом ряде стран естественно не становились достоянием широкой печати. А когда война кончилась, изумленный мир увидел, что место двигателя внутреннего сгорания на скоростном самолете прочно занято газовой турбиной. И что область ее применения все расширяется...

История техники ещё не знала примера, чтобы новый тип двигателя за такой короткий срок — всего 10—15 лет — вытеснил старый в целой отрасли техники!

Паровая машина завоевывала у водяного колеса свое право быть основным силовым двигателем в промышленности более 100 лет.

Двигатель внутреннего сгорания конкурировал с паровой машиной не менее полувека.

Авиация — молодая отрасль техники, наименее консервативная, наименее застойная. Новейшие открытия науки и достижения техники нередко в первую очередь в авиации находят себе применение, а уже затем «нисходят» на землю. И многие решили, что газовая турбина в ближайшие годы станет самым распространенным двигателем на всех видах транспорта. Ведь она, по расчетам специалистов, может обеспечить невиданный не только по сравнению с паровой турбиной, а и вообще с любым другим тепловым двигателем коэффициент полезного действия — 55—60 процентов, а то и еще выше!

Но пусть даже только 60 процентов! Ведь это все равно вдвое выше, чем у паровой турбины и двигателя внутреннего сгорания! А это означает, что при том же количестве добытого угля, нефти, газа, сланцев мы сможем по стране удвоить выработку энергии. Совершить прямо-таки головокружительный скачок вперед!

Эта цифра — 55—60 процентов — кружила головы многим людям и не только из числа тех, кто не слишком разбирается в технике. Действительно, было так заманчиво иметь автомобиль, горючего в баке которого хватает на тройной пробег по сравнению с обычным автомобилем! Но приводя эту цифру — 55—60 процентов — специалисты добавляли короткое «если». Это «если» казалось таким легковыполнимым, что о нем, право, не стоит задумываться. Раз ясна пленительная перспектива, подтверждена математическими расчетами возможность ее достижения, наконец, раз она даже проверена на опыте в целом виде транспорта — авиации — мелкие технические доработки будут стремительно осуществлены согласованным трудом могучей армии инженеров и техников. В наше время нередко труднее поставить инженерную задачу, чем ее выполнить.

Роковое „если“

Вот в чем заключалось «если», нередко набираемое в популярных брошюрах мелким шрифтом после набранных жирным кеглем потрясающих показателей экономичности.

...Взрели реактивные двигатели могучего красавца Ту-104. Гигантская птица, широко распластав отогнутые назад крылья, бежит по бетонной дорожке аэродрома. Миг — и она уже в воздухе. Легкий полукруг над взлетным полем — и самолет, стремительно набирая высоту, ложится на курс. Трасса его полета проложена высоко над землей, на границе стратосферы. На высоту десяти километров поднимают его могучие моторы и широкие крылья. Именно там его полет наиболее экономичен.

— Почему?

— Потому что там сопротивление разряженного воздуха значительно меньше, чем более плотного у земли.

— Правильно. Это одна из причин, ее знают уже школьники пятого класса, увлекающиеся авиамоделизмом. А другая причина?

— Она заключается в низкой температуре воздуха, около 50 градусов ниже нуля, царящей на этой высоте. Низкая температура воздуха обеспечивает высокий коэффициент полезного действия двигателей самолета.

С аналогичным случаем мы уже встречались. Коэффициент полезного действия паровой турбины зависит от вакуума в конденсаторе, а последний определяется температурой охлаждающей воды. Чем ниже эта температура, тем выше вакуум, тем экономичнее работа паровой турбины.

Экономичность работы газовой турбины, как выяснили инженеры, определяется в первую очередь отношением $\frac{T_3}{T_0}$ абсолютной температуры (т. е. температуры, отсчитываемой от абсолютного нуля по шкале Кельвина) газов перед соплами турбины к температуре наружного воздуха.

На земной поверхности за среднюю температуру воздуха принято +15 градусов или 288 градусов по шкале Кельвина. На высоте 10 километров всегда и летом и зимой господствует трескучий мороз — 50 градусов или 223 градуса по абсолютной шкале.

Вот эта-то разница в шестьдесят пять градусов и обеспечивает высокое значение рокового отношения $\frac{T_3}{T_0}$, как его записывают инженеры-теплотехники.

Роковое слово «если» в полном контексте знаменитой фразы читается так: стационарная газовая турбина может развить коэффициент полезного действия, равный 55—60 процентам, если отношение $\frac{T_3}{T_0}$ будет составлять 5,5—6,0.

Это значит, что при температуре окружающего воздуха 223 градуса по абсолютной шкале температура газов горения перед соплами должна составлять 1200—1300 градусов.

В авиационных газотурбинных двигателях это уже достигается. И поэтому турбовинтовые двигатели уже сегодня в условиях высотного полета имеют коэффициент полезного действия потрясающей величины — 40—50 процентов!

Для температурных условий, господствующих на поверхности земли, при средней расчетной температуре окружающего воздуха в 288 градусов по шкале Кельвина, для того чтобы получить то же соотношение температур 5,5—6,0, решающих экономичность $\frac{T_3}{T_0}$, надо иметь температуру газов горения перед соплами, равную 1600—1700 градусов.

Кажется, пустяк — изменение времени года или даже погоды на улице! А газовая турбина предельно чувствительна к этим вроде бы и не принципиальным изменениям.

Проиллюстрируем это таким примером: Ленинградский металлический завод имени XXII съезда КПСС изготовил недавно серию газовых турбин мощностью в 25 000 киловатт. Такую мощность завод гарантирует при температуре наружного воздуха не выше +17 градусов. В жаркий летний день турбина не может обеспечить проектную мощность. Но зато в холодный зимний день при температуре —20 градусов установка может развить мощность и в 30 000 киловатт. Что ж? Это удобно. Ведь особенно много энергии потребляется именно в зимние месяцы, когда рано темнеет на улице. И усилен-

но работают осветительные лампы и нагревательные приборы.

Роковое «если» и стало труднопреодолимым до сего времени препятствием, затруднившим газовой турбине спуск с завоеванных ею заоблачных высот на землю. Ибо максимальная температура газов горения, достигнутая в настоящее время на стационарных турбинах, не превышает 900—950 градусов по абсолютной шкале. В турбине Ленинградского металлического завода, о которой мы говорили, она равна всего 700 градусов.

В чем же дело? Почему в широкой практике не достигнута уже освоенная в авиационных газотурбинных двигателях температура? Ведь даже в пылеугольных топках паровых котлов температура газов горения достигает 1700 градусов? Почему же эту температуру нельзя получить в газовой турбине?

Получить такую температуру можно, и даже не очень трудно. Но и тогда, когда она достигается в камерах сгорания газотурбинных установок, инженеры специально добавляют в поток газов, устремляющихся к соплам, холодный воздух. Они специально охлаждают газы горения. Их высокой температуры не выдерживает металл лопаток газовых турбин.

А почему же выдерживает металл, из которого делают экранные трубы парового котла, непосредственно соприкасающиеся с kloкочущим пылеугольным факелом пламени?

Потому что внутри этих труб протекает вода, охлаждающая их стенки. И трубы, несмотря на очень высокую температуру пламени, остаются благодаря этому относительно холодными. Турбинная же лопатка — тоненькая пластинка металла, на которую с яростью устремится раскаленный газовый поток такой же температуры, что и в топке парового котла, сгорит в нем, как свечка. Уже при температуре, используемой в авиационных газотурбинных двигателях, турбинные лопатки, сделанные из самых жаростойких сталей, сгорают всего через несколько сотен часов. Это достаточный срок для работы авиационного двигателя, но ведь невозможно останавливать каждые несколько дней газовые турбины, работающие на стационарных электростанциях для полного их перелопачивания — так называют смену лопаток техники. А ведь срок бесперебойной работы стационар-

ного двигателя должен исчисляться не сотнями, а сотнями тысяч часов — годами и десятками лет.

Над преодолением этого рокового «если», над обеспечением возможности газовой турbine работать с высокими температурами газов горения перед лопатками работают металлурги. Но получение жаропрочных и жаростойких сталей — дело не простое. За последние десять лет всего на 70—100 градусов позволили металлурги поднять температуру газов горения. Если они будут работать такими же темпами, только через пятьдесят лет достигнет газовая турбина действительно пленяюще высокого коэффициента полезного действия.

Над преодолением рокового «если» работают и конструкторы. Почему бы не охлаждать работающую лопатку так же, как охлаждаются экранные трубы в топке парового котла? Лопатку предлагают сделать полой и пропускать внутри нее охлаждающую жидкость. Ее можно заставить просачиваться сквозь пористые стенки и, испаряясь в потоке раскаленных газов, охлаждать лопатку. Ее можно возвращать в холодильник. Но представьте себе, как сложно обеспечить подачу охлаждающей жидкости в лопатку, находящуюся глубоко в корпусе турбины и вращающуюся со скоростью нескольких тысяч оборотов в минуту, растягиваемую, разрывающую центробежными силами! Так же сложны и трудно осуществимы и другие предложения конструкторов охлаждать лопатки.

Роковое «если» оказалось далеко не такой легкопреодолимой чисто инженерной работой, как казалось сначала.

Сегодня газовой турбины

Заманчивы преимущества газовой турбины!

Мы уже говорили о возможности достижения высокого коэффициента полезного действия. Но это еще не все.

Практика использования турбин в авиации выявила и другие ее достоинства по сравнению с самыми лучшими поршневыми двигателями внутреннего сгорания.

Оказалось, что «вес лошадиной силы», т. е. вес установки двигателя, приходящийся на одну лошадиную силу его мощности, так сказать удельный вес мощно-

сти, у газовой турбины в несколько раз ниже, чем даже у дизеля, не говоря уже о паровой турбине.

Одна лошадиная сила дизеля «весит» в настоящее время 0,5 килограмма.

Одна лошадиная сила газовой турбины на земле «весит» всего 0,1 килограмма. В воздухе же в 10 километрах над землей, лошадиная сила газовой турбины может весить в десять раз меньше, чем дизеля!

Газовая турбина чрезвычайно компактный двигатель — на единицу объема его мощность выше, чем у любого другого двигателя.

Один кубический метр дизеля «вмещает» 500 лошадиных сил.

Тот же кубический метр газовой турбины «вмещает» их четыре тысячи!

И, наконец, газовая турбина, «питающаяся» в облачных высях только жидким горючим, спустившись на землю, будет «есть» любое топливо — и твердое, и жидкое, и газообразное. «Она будет абсолютно «всеядной», — утверждают инженеры. Даже самый плохой каменный уголь будет для нее отличным топливом. И, конечно, никто тогда не будет «кормить лошадей» газовой турбины жидким топливом: это все равно, что кормить лошадь сдобными булочками.

Но все эти достоинства газовой турбины останутся блестящей перспективой для энергетики до тех пор, пока инженеры не смогут поднять температуру газов перед соплами достаточно высоко.

Так что же, ждать внедрения газовой турбины в стационарную энергетику, в наземный и водный транспорт еще пятьдесят лет?

Конечно, нет. Ведь уже достигнутые температуры обеспечивают достаточно высокий коэффициент полезного действия этого двигателя.

Вспомним газотурбинную установку Ленинградского завода, о которой мы уже упоминали. Она имеет совсем не такой уж плохой коэффициент полезного действия — 28 процентов. Это не хуже, чем у паротурбинных установок такой же мощности, и не хуже, чем у многих стационарных двигателей внутреннего сгорания.

Поэтому уже сегодня не редкость встретить работающие в промышленности, водном и наземном транспорте газотурбинные установки.

Вот как устроена мощная стационарная газотурбинная установка, работающая на твердом топливе. Горючее, как и на тепловой электростанции, отапливаемой каменноугольной пылью, в первую очередь поступает в шаровую мельницу и размалывается в пыль. Готовая пыль, пройдя циклон, в котором она отделяется от воздуха, попадает через промежуточный бункер и питатель в камеру сгорания. Здесь угольная пыль встречается с нагретым воздухом.

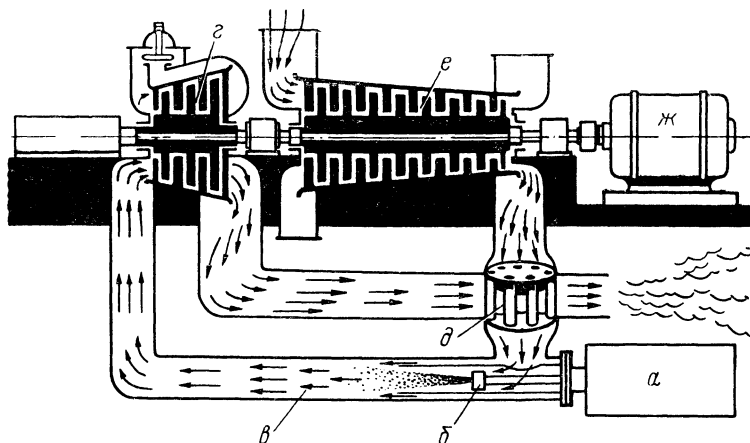


Схема газотурбинной установки. Из бака (а) горючее поступает через горелку (б) в камеру сгорания (в). Газы горения вращают ротор газовой турбины (г) и поступают в теплообменник (д), где отдают остатки своего тепла воздуху, сжатому компрессором (е). Газовая турбина (г) приводит в движение и компрессор (е) и электрогенератор (ж).

Воздух, взятый прямо из атмосферы, проходит очистительный фильтр и попадает в компрессор, сжимающий его до давления в 6 атмосфер. Температура воздуха при этом повышается до 250 градусов. Сжатый и нагретый воздух поступает в регенератор, в котором он встречается (правда, через металлическую стенку) с отработавшими в турбине газами, имеющими при выходе температуру около 520 градусов. Часть тепла этих газов и передается воздуху, который покидает регенератор уже с температурой в 465 градусов. С этим-то сжатым и нагретым воздухом и встречается угольная пыль в камере сгорания.

Жаркой оказывается эта встреча. Температура пламени достигает 1800—1900 градусов. И газы горения с температурой около 1250 градусов поступают в газовую турбину.

Общее устройство газовой турбины очень напоминает паровую. Она так же состоит из чередующихся рядов неподвижных направляющих лопаток, в которых потоки газов поворачиваются так, чтобы наиболее эффективно «втечь» в ряды подвижных лопаток, укрепленных на диске, посаженном на вал ротора. Отдав часть своей тепловой энергии ротору турбины, охладившись до 520 градусов и снизив давление почти до атмосферного, газы горения поступают в регенератор. Там они еще охлаждаются и, наконец выбрасываются в атмосферу.

Энергии, полученной от потоков газа ротором турбины, достает и на то, чтобы приводить во вращение компрессор, сжимающий воздух, и на то, чтобы вращать генератор, вырабатывающий электрический ток.

* * *

Современные газовые турбины редко работают на твердом топливе. К сожалению, работа газовой турбины на твердом топливе также возможна только при условии решения некоторого «если». На этот раз «если» — это очиститель, стоящий за камерой сгорания.

Ученые считают, что гигантские пирамиды Египта за четыре с половиной тысячелетия потеряли с каждой грани минимум по метру камня. Стесали этот камень дующие из пустынь ветры, увлекающие с собой мелкие частицы песка.

Скорость газов в газовой турбине в несколько раз превосходит скорость самого свирепого урагана. Если в этих газах будут содержаться твердые частицы золы или несгоревшего топлива, еще труднее станет и без того нерадостная жизнь лопаток. Их раскаленную поверхность будут царапать и разрушать эти частицы. Поэтому и должны быть тщательно очищены газы горения перед тем, как поступить в газовую турбину.

Очистить стремительный поток сжатых и раскаленных до температуры плавления стали газов от частиц, имеющих размеры 15—30 микрон, нелегкое дело. Но дело выполнимое.

Турбина Ленинградского металлического завода, о который мы неоднократно упоминали, работает на обеспыленном природном газе. Обеспыленном! Чтобы содержащиеся в нем пылинки не изгрызли ее нежных лопаток.

Газовые турбины мощностью в 25 000 киловатт уже серийно строятся в нашей стране. А в конце 1965 года инженеры и рабочие того же Ленинградского завода приступили к производству газовой турбины мощностью в 100 тысяч киловатт! Этот газовый энергетический гигант будет несравненно меньше, легче, маневреннее, чем паровая турбоустановка — с котлом, конденсатором и т. д. такой же мощности.

Есть у газовых турбин и еще одно великолепное преимущество перед паровыми — их маневренность, быстрота пуска на полную мощность. Несколько часов требуется на то, чтобы разогреть гигантские котлы, приготовить пар и пустить паровую турбину. А газовую турбину, даже ту, огромную, «стотысячную», можно будет запустить всего за двадцать-двадцать пять минут. Поэтому и ставят такие турбины сейчас на наших электростанциях в качестве резерва. Их включают в те «часы пик», когда потребление электроэнергии резко возрастает. Ну, например, вечером, когда вы возвращаетесь в сумерках домой, включаете свет, начинаете разогревать на электроплитке ужин, и вместе с вами точно также включают разнообразнейшие приборы тысячи и тысячи ваших соседей по городу...

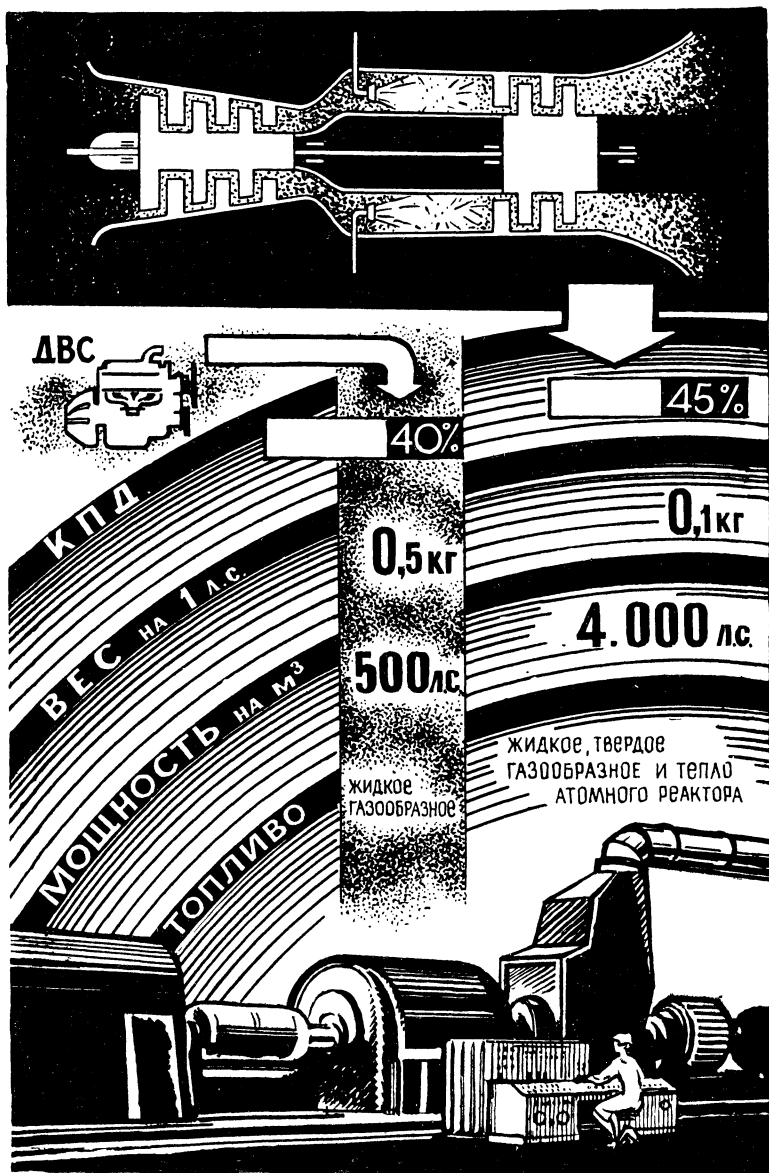
* * *

Началось использование газовых турбин и во флоте.

Еще в 1954 году с одного английского боевого корабля сняли паротурбинные установки — их было две по 4000 лошадиных сил каждая — и установили вместо них две газовые турбины мощностью до 5400 лошадиных сил. Таким образом, общая мощность корабля выросла на 35 процентов. Но это было не единственным выигрышем.

Снизился общий вес двигателей корабля почти в 2 раза — с 50 тонн до 26 тонн.

Уменьшилось занимаемое корабельными двигателями место, а как ценен каждый кубический метр помещений на корабле! Почти четверть того пространства, ко-



Преимущества газовой турбины станут очевидны для каждого, кто внимательно рассмотрит эту диаграмму

торое занимали паротурбинные установки, удалось использовать для других целей.

Ускорился пуск двигателей корабля, он стал занимать всего 100 секунд.

Облегчилось управление. Оно состоит у описанной установки всего из одной пусковой кнопки и рукоятки, регулирующей подачу топлива.

Сегодня в нашей стране газотурбинные двигатели установлены не только на боевых кораблях, но и на судах рыболовного флота. В конце 1965 года на Киевском заводе «Ленинская кузница» провели последние испытания рыболовного траулера с газотурбинной установкой.

Пришла газовая турбина и на железнодорожный транспорт. Газотурбовоз вполне возможный конкурент тепловоза и электровоза.

У газотурбовоза по сравнению с тепловозом и с паровозом есть огромное преимущество. Ведь у него нет совершающих возвратно-поступательное движение частей. А эти неравномерные движения, оказывается, передаются на рельсы и разрушают путь — так утверждают специалисты.

Уж десять лет назад газотурбовозы, работающие на твердом топливе, имели коэффициент полезного действия около 18—19 процентов. Это втрое больше, чем у паровоза, и хотя это несколько ниже, чем у тепловоза, надо помнить, что тепловоз не работает на твердом топливе.

Очень интересную схему газотурбинного локомотива предложил еще в 1912 году студент МВТУ А. Н. Шелест. В нем предусмотрено устройство механического генератора газа, из которого он и поступает в движущую локомотив газовую турбину. О том насколько реальной была его идея, показывает хотя бы то, что в 1954 году в Швеции был построен газотурбовоз, работающий почти по данной схеме.

Очень интересный газотурбовоз с безвальным механическим генератором газа был недавно построен и во Франции. Он представляет собой большой цилиндр со встречно двигающимися поршнями. Топливо впрыскивается в центральную камеру сгорания и отбрасывает поршни в разные стороны. Поршни движутся и при этом сжимают находящийся перед ними воздух, играющий

роль могучей пружины. Когда открываются выхлопные отверстия и газы горения устремляются в газовую турбину, этот сжатый воздух толкает поршни обратно и они сжимают и подают в специальный запаситель сжатый воздух. Он и наполняет камеру сгорания.

Для того чтобы газовая турбина не ощущала толчков давления, газы горения, перед тем как поступить в сопла, проходят ресивер-камеру, в которой и поглощаются эти толчки.

Двигательная установка такого газотурбовоза получилась очень компактной. Она не имеет тяжелого компрессора, сидящего на валу газовой турбины. Ей не нужен электромотор для пуска в действие.

А коэффициент полезного действия этого локомотива, как показали первые испытания, достигает 34 процентов — в шесть раз выше, чем у паровоза!

* * *

У газовой турбины большая судьба не только в небе, но и на земле.

Газовую турбину ждут в металлургическом производстве, где еще и поныне нередко выбрасываются в атмосферу низкокалорийные горючие газы. Где пропадают без использования раскаленные «запечные» газы.

Ее ждут на станциях подземной газификации угля.

Ждут на нефтепромыслах, где передвижные электростанции, работающие на нефтяном газе, могут сослужить неоценимую службу, ждут на газопроводах, где она может стать основным и единственным двигателем компрессорных станций, ждут на крупных электростанциях и морских судах, железных дорогах и в автомобильном транспорте.

В небе Родины

Чем быстрее летит самолет, тем больше сопротивление встречного воздуха.

Пешехода сопротивление воздуха не интересует.

Но уже бегуну ветер может либо помочь, либо повредить. История спорта знает случаи, когда один спринтер — бегун на короткие дистанции — перекрыл мировой рекорд скорости в беге на 100 метров. Но судьи

не засчитали его достижение, так как ветер дул ему в спину. А повторить свой рекорд в безветренную погоду он так уже и не смог. Видно, действительно, помогал ветер.

Велосипедист чувствует сопротивление встречного воздуха. Он наклоняется, прижимается к рулю, чтобы уменьшить его силу. Велосипедист, едущий за мотоциклом, рассекающим перед ним воздух, может развить значительно большую скорость, чем велосипедист без такого лидера.

Но особенно сильное сопротивление оказывает воздух самолету. Уже при скорости в 100—150 километров в час высунутая в иллюминатор самолета рука словно вонзается в упругую жидкость.

С ростом скорости самолета растет и сопротивление воздуха, причем растет пропорционально не первый, а второй и даже третьей степени скорости.

При скоростном полете аэроплана на преодоление сопротивления встречного воздуха затрачивается подавляющая часть всей мощности его двигателей.

Уже для того, чтобы одноместный скоростной самолет мог развить скорость в 500 километров в час, ему нужен двигатель мощностью в 1500 лошадиных сил.

А для того чтобы этот самолет удвоил скорость, надо увеличить мощность его двигателя примерно в восемь раз — до 12 000 лошадиных сил.

«Весит» лошадиная сила авиационного поршневого двигателя обычно около 0,5 килсграмма. Значит, вес поршневых двигателей одноместного самолета, имеющего скорость в 1000 километров в час, должен составлять примерно 6 тонн. Совершенно очевидно, что двигатель с таким весом на одноместный самолет поставить невозможно.

Историки техники составили диаграмму роста скоростей самолета. Получилось, что сначала скорости росли довольно быстро, затем прирост их стал все более и более замедляться. С 1934 по 1945 год скорость самолета выросла едва на сотню километров в час.

И вдруг — резкий скачок. За один-два года скорость самолета выросла на 200—300 км!

Этим стремительным скачком скорости знаменовалось вторжение на самолет нового двигателя — реактивного двигателя.

Реактивный двигатель — родной брат газовой турбины. Применяемые в настоящее время реактивные двигатели обязательно содержат в себе газовую турбину.

Этот новый, современный двигатель устроен даже проще, чем стационарная газотурбинная установка.

Представьте себе трубу, стремительно движущуюся вперед открытым концом. В нее грывается встречный воздух, давление которого по мере движения в трубе растет.

Где-то в середине трубы в этот сжатый стремительно движущийся воздух впрыскивается и сгорает топливо. Температура пролетающего воздуха, разумеется, повышается. А задняя часть трубы, следующая за средней, которую мы вправе назвать камерой сгорания, выполнена в виде расширяющегося сопла. Протекая в такой трубе, сжатые и нагретые газы стремительно расширяются, скорость их движения увеличивается. Это увеличение скорости и вызывает реактивную силу.

Так устроен самый простой реактивный двигатель. Только в авиации он до сих пор применения еще не нашел. Он может работать достаточно экономично только при скоростях, раза в два-три превышающих скорость звука, т. е. при 2000—3000 километров в час.

Воздух в этом реактивном двигателе не встречает на пути никаких механизмов. И двигатель поэтому называется прямоточным воздушно-реактивным двигателем, или, короче, ПВРД.

А где же газовая турбина? Где же признаки родства у этой «летающей трубы» с газовой турбиной — ее компрессором, ротором и т. д.

Можно коротко ответить, что эта «летающая труба» и есть газовая турбина, у которой сняли ее ротор. Но, чтобы было яснее, рассмотрим другой тип реактивного двигателя, так называемый гурбореактивный.

Это тоже труба, только сразу же за ее передним отверстием после короткого диффузора на пути воздуха встает компрессор. Он сжимает воздушный поток и бросает его в камеру сгорания. Туда же вбрызгивается топливо. Нагревшиеся и расширившиеся газы горения устремляются дальше, но на пути их оказываются лопатки газовой турбины. Струи газов горения вращают эти лопатки, расходуя на это часть своей энергии. Остальную энергию они затрачивают на то, чтобы разогнаться в рас-

ширяющемся сопле и с большой скоростью вырваться наружу.

Энергия, отдаваемая газами турбине, расходуется на вращение компрессора, сжимающего воздух. Все, как у стационарной газовой турбины, только не хватает генератора электрического тока и регенератора тепла.

Но вместо генератора в некоторых случаях на ротор такой турбины надевают обыкновенный самолетный пропеллер. Получается турбовинтовой воздушно-реактивный двигатель.

Расчеты и опыты показали, что если придать той части двигателя, в которую врывается воздух, определенную форму, точнее сделать канал, по которому втекает воздух, постепенно расширяющийся, то давление воздуха по мере его продвижения будет расти. При скоростях до 500 километров в час это увеличение почти незаметно, а при 2000 километров в час оно может достигать уже 5 атмосфер. Тем самым отпадает необходимость в компрессоре, задачей которого и является поднять давление в камере сгорания примерно до этой величины.

Выкидываем компрессор. Ну а для чего тогда нужна газовая турбина?

Выкидываем и ее.

И получается уже знакомый нам ПВРД — прямой воздушно-реактивный двигатель — газовая турбина без ротора, двигатель сверхскоростного самолета будущего!

Инженеры рассказывают о нем чудеса.

Предполагают, что такая «летающая труба» диаметром в метр и весом в 400 килограммов при скорости полета в 1000 километров в час, расходуя 2 килограмма горючего в секунду, разовьет мощность до 7400 лошадиных сил.

Удельный вес мощности, «рес» каждой «лошади» при этом будет всего 54 грамма! Но расход горючего у него будет в четыре раза больше, чем у поршневых двигателей такой же мощности, а коэффициент полезного действия соответственно в 4 раза ниже.

А вот при скорости полета в 2000 километров в час, сжигая 4 килограмма горючего каждую секунду, двигатель разовьет мощность в 60 000 лошадиных сил. Удельный вес мощности упадет до ничтожной величины — меньше 10 граммов на лошадиную силу!

При такой скорости соперничать с прямоточным воздушно-реактивным двигателем не сможет ни по удельной мощности, ни по экономичности, ни по простоте никакой другой двигатель!

* *
*

Конечно, мы здесь рассказывали только о принципиальной схеме реактивного двигателя. Взглянув на него в натуре, вы, может быть, и не узнаете эту машину: она вся опутана медными трубками, какими-то приборами, рычагами.

Не пугайтесь, пройдет полчаса и, разобравшись под руководством знающего человека в этой кажущейся путанице, вы убедитесь, что и устроен и работает она именно так, как здесь написано. И что все эти вспомогательные устройства, которые ее облепили, не имеют принципиального значения, но все они нужны для управления ее работой.

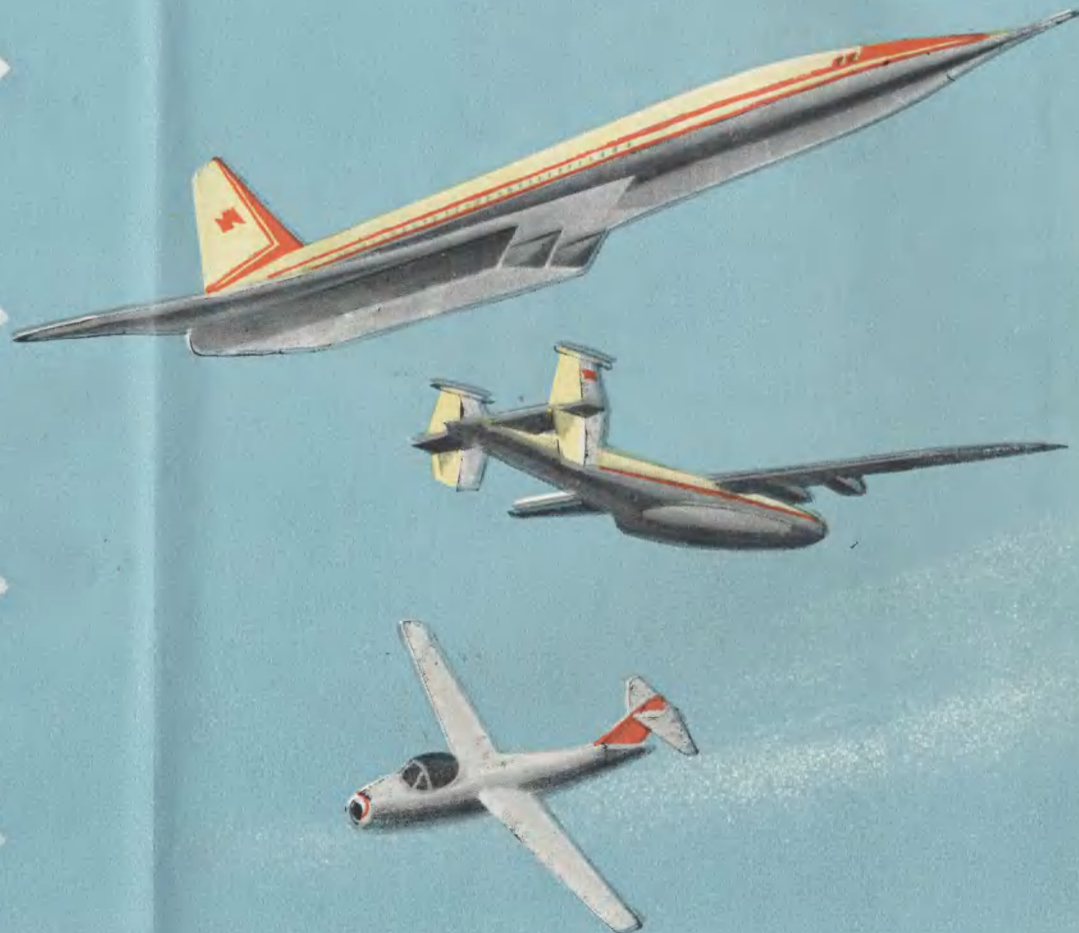
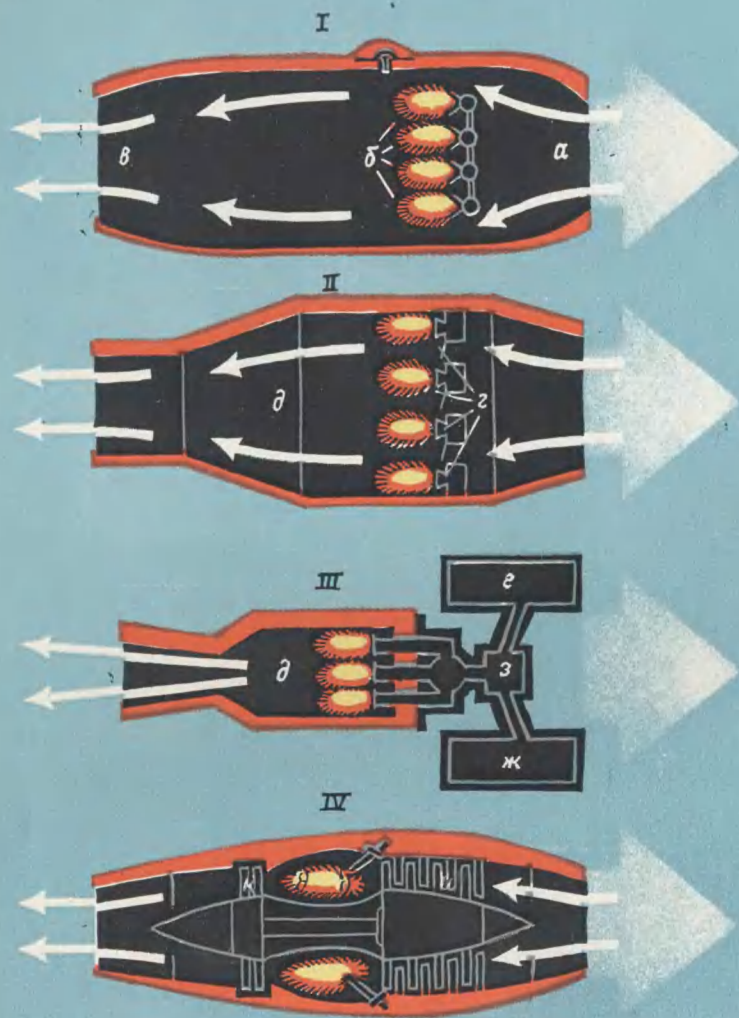
Надо отметить и еще одну вещь. Чрезвычайно экономичные при высоких и сверхвысоких скоростях реактивные двигатели не выдерживают соревнования с поршневыми на скоростях до 800 километров в час. По существу мы были не совсем точны, когда говорили, что реактивные установки, газовые турбины вытеснили из скоростной авиации поршневые. Нет, они остались и применяются и впредь будут применяться при тех же самых скоростях полета, что и до появления реактивной тяги.

Реактивный же двигатель создал новую сверхскоростную авиацию.

Инженеры-самолетостроители твердо уверены, что скорости до 800 километров в час бесспорно остаются за поршневым двигателем внутреннего сгорания, изумительно отработанным и надежным. А вот для самолетов, рассчитанных на скорости от 900 до 2000 километров в час, самыми эффективными являются турбореактивные двигатели. С ними не могут соперничать никакие другие, в том числе и прямоточный воздушно-реактивный двигатель.

Область действия прямоточного ВРД — скорости от 2000 километров в час и выше.

В настоящее время на самолетах применяются только поршневые и турбореактивные двигатели разных типов,



Семейство реактивных двигателей — двигатели скоростных самолетов и космических ракет. Простейший (I), прямоточный, способный работать только при еще недостигнутых в атмосфере скоростях. Поток врывающегося воздуха (а) вбрызгивается в топливо (б) и реактивная струя (в) движет летательный аппарат. Пульсирующий реактивный двигатель (II) отличается наличием клапанов (з), которые, пропустив струю воздуха, закрываются, а когда давление в камере сгорания (д) снизится, открываются снова. Этот двигатель работает и при низких

скоростях полета. Реактивный двигатель (III) — единственный способный работать в пустоте космического пространства. Он несет с собой и горючее (е) и окислитель (ж), подаваемые в камеру сгорания (д) насосом (з). И, наконец, наиболее распространенный сегодня в скоростной авиации турбореактивный двигатель (IV). Поступающий в него воздух (а) сжимается компрессором (ж) и в него в камеру сгорания (д) впрыскивается горючее (б). Раскаленные газы горения вращают турбину (к), а реактивная струя (в) создает движущую силу

прямоточные воздушно-реактивные машины еще только входят в практику. Но уже можно с уверенностью сказать, что не за горами то время, когда полет из Москвы до Владивостока на каком-нибудь Ту-244 будет занимать всего 3—3,5 часа.

Это время близко.

Электричество из газовой струи

Мы говорили о тех путях, которыми идут ученые-теплотехники к главной своей цели — высокому коэффициенту полезного превращения химической энергии топлива в электрический ток. Один из этих путей — дальнейшее совершенствование многих элементов газовой турбины. Но, как мы видели, газовые турбины, безраздельно завоевавшие сегодня скоростную авиацию, еще не очень твердо чувствуют себя на земле. И когда они смогут эффективно заменить паровые турбины, обеспечив лучшую, по сравнению с паровой турбиной, экономичность в самых что ни на есть земных обычных условиях, пока неясно.

Однако даже если это произойдет скоро, переход к газовым турбинам не единственный путь совершенствования работы тепловых электростанций.

Недавно радио сообщило о новой победе советской науки. В научно-исследовательском институте высоких температур АН СССР проведены работы по созданию экспериментальной энергетической установки прямого преобразования тепловой энергии в электрическую магнитогидродинамическим путем.

В апреле 1964 года была опробована установка, а в мае проведен ее пробный пуск. Установка длительное время вырабатывала электрическую энергию.

В чем же состоит принцип магнитогидродинамического преобразования тепловой энергии в электрическую? Каковы его преимущества и перспективы?

* * *

*

Всем, наверное, памятен производимый на уроках физики опыт «превращения механической энергии в электрическую». Впервые в истории науки этот опыт про-

вел английский ученый Майкл Фарадей. Состоял он в том, что между полюсами магнита помещалась проводочка, связанная с гальванометром. Когда проводник двигали так, что он пересекал магнитные силовые линии, стрелка гальванометра начинала отклоняться: по цепи шел ток.

На этом принципе сегодня основана работа всех без исключения электрогенераторов, превращающих механическую энергию в электрический ток, — ну, хотя бы тех, что работают на наших тепловых и гидроэлектростанциях.

Ну а если магнитные силовые линии будет пересекать не твердый проводник, а струя проводящего газа? Разве в этом случае не возникнет в ней электрический ток?

Теоретические расчеты, проведенные учеными, подтвердили: возникнет. Опыты, осуществленные инженерами, показали: возникает.

На этом принципе и основана идея создания электростанции, в которой не было бы ни парового котла, ни турбин, ни электрогенератора с традиционным вращающимся ротором.

Основной деталью такой электростанции должна стать топочная камера круглой или яйцеобразной формы, похожая на камеру сгорания ракетного двигателя. В нее подается нагретый воздух и впрыскивается топливо. Оно мгновенно сгорает и температура в камере поднимается до 2500 градусов. Газы горения, имеющие столь высокую температуру, с ревом устремляются сквозь расширяющееся сопло.

Для чего нужна такая высокая температура? Дело в том, что при меньших температурах газ еще не является электрическим проводником. Только нагретый до таких температур, ионизированный будет он достаточно хорошо проводить ток.

Струя раскаленного газа пролетает между полюсами магнита, пересекает магнитные силовые линии. В ней появляется электрический ток. Его снимают электроды, расположенные с обеих сторон струи, точно так же, как колодки коллектора снимают ток с якоря динамомашины.

Как видите, ни длинной цепи превращений энергии, ни передач ее от одного носителя к другому, ни вращаю-

щихся деталей. Предельно просто, а значит, и экономично.

К сожалению, не всю энергию, содержащуюся в газах горения, удастся снять этими электродами. Отдавая энергию, струя охлаждается и перестает проводить ток. Но температура ее при этом еще остается очень высокой, нельзя выбрасывать столько энергии. Поэтому тепло газа утилизируют. Часть его расходуют на подогрев воздуха, который направляют в камеру сгорания, а другую часть используют в обычном паровом котле для получения пара. Этот пар приводит в движение обычную паротурбинную установку.

Расчеты показывают, что таким путем в электрический ток будет превращаться 55—60 процентов заключенной в топливе энергии. В полтора раза больше, чем в лучших тепловых электростанциях, работающих по обычному циклу!

* *

*

А знаете, какую это может принести выгоду? Ведь только одна электростанция мощностью в 1 миллион киловатт, переведенная на работу по новому методу, будет экономить в год 500 000 тонн мазута или другого топлива.

Академик В. А. Кириллин привел недавно другие интересные цифры. Он напомнил, что выработка электроэнергии и мощность электростанций в нашей стране растут в среднем на 11,5 процента в год. Это означает, что каждые десять лет мощность наших электростанций утраивается. А через двадцать лет все сегодняшнее представляющееся нам сверхмогучим энергетическое хозяйство будет составлять только девять процентов всей энергетики... Этот расчет убедительно показывает, насколько экономически выгодно было бы перейти к строительству тепловых электростанций, имеющих коэффициент полезного действия не 40, а 55—60 процентов.

Идея магнетогидродинамического превращения тепловой энергии в электрический ток не нова. Но ее осуществление тормозится большими техническими трудностями. Главная из них — высокая температура газов, при которой только и возможна работа магнетогидродинамической установки. Ведь если температура газов будет

недостаточно высокой, газ не ионизируется, не превратится в плазму, не станет проводником электрического тока. А иметь дело с газом, нагретым до 2000—2500 градусов, не просто. Ведь расплавленная сталь в мартеновской печи и то имеет чуть ли не в полтора раза меньшую температуру.

Инженеры знают: в современной технике нередко простое по идее устройство требует таких вспомогательных механизмов, что они сами становятся серьезной технической задачей. Ведь проста в принципе и космическая ракета, и синхрофазотрон. А вот создание и поддержание вакуума в его кольцевой камере — вспомогательная по существу проблема — требует для своего решения приложения вершинных достижений ряда областей науки, техники, промышленности. Так же проста в принципе магнитогидродинамическая установка и так же требуют максимального напряжения научной и конструкторской мысли ее многочисленные на первый взгляд вспомогательные устройства. Поэтому-то и привлекло всеобщее внимание сообщение о работе советской магнитогидродинамической установки. Ведь и американские ученые и инженеры пока не могут похвастаться большими успехами в этом направлении развития науки и техники. Опробованные установки такого типа во всем мире насчитываются единицами.

* *
*

Высокая экономичность магнитогидродинамических установок делает их чрезвычайно перспективными для использования на тепловых электростанциях. И нет сомнения, что они скоро по праву займут полагающееся им место. По мнению американских специалистов в этой области Р. Роза и А. Кантровитца, первая электростанция с МГД-генератором электрической мощностью в 30 000 ватт может быть построена и введена в действие в семидесятых годах. По мнению председателя Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике академика Владимира Алексеевича Кириллина, высказанному им в середине 1964 года, у нас уже к 1970 году накопится достаточный опыт, чтобы можно было приступить к строительству крупных магнитогидродинамических установок.

Так пусть скорее придут на наши электростанции эти экономичные установки!

Холодное пламя

О еще одном пути поисков прямого превращения химической энергии топлива в электрический ток рассказал мне выдающийся советский ученый академик Фрумкин. Мы встретились с ним в сером здании академического института на Ленинском проспекте в Москве. Он принял нас, нескольких журналистов, в своем небольшом кабинете. Главным украшением в нем была обычная черная школьная доска. Нестертые обрывки формул и каких-то схем, набросанные на ней торопливыми и разными почерками, свидетельствовали о недавней битве идей, мнений, точек зрения.

Ученый сразу же вторгся в самую суть физического процесса горения. Выйдя из его кабинета, я в этот же вечер записал все услышанное. Вот несколько абзацев из этой записи.

— ...Яростное пламя клокочет в топке гигантского — высотой с восьмизэтажный дом — парового котла электростанции. А что такое пламя? В чем физическая сущность процесса горения?

Топливо состоит в основном из углерода. При горении его атомы теряют электроны. Атомы кислорода, наоборот, приобретают их. Атомы углерода и кислорода соединяются в молекулы углекислого газа. Так как все эти процессы, изложенные здесь в упрощенном виде, происходят очень энергично, атомы и молекулы веществ, участвующих в горении, приобретают большие скорости, а это означает повышение их температуры. Они начинают испускать свет, а это и есть пламя.

Значит, при горении происходит непрерывный обмен электронами, их движение. А ведь электрический ток — это тоже движение электронов, только упорядоченное. Значит, если упорядочить движение электронов в горящем веществе, можно получить электрический ток. Только надо не позволить ионам хаотически растратить свою электрическую энергию при взаимных встречах, не дать ей превратиться в тепло.

Кстати, это давно уже научились делать. Ведь электрохимические процессы, происходящие в любом аккумуля-

муляторе, в любой батарее от карманного фонаря, принципиально ничем не отличаются от обычного горения. Там тоже происходит обмен электронами между двумя химическими элементами, происходит «горение». Только движение электронов в аккумуляторе строго упорядочено и их энергия не превращается в тепловую в хаосе пламени.

В батарее карманного фонаря «сгорает» цинк. В свинцовом аккумуляторе — свинец. Есть множество различных электрохимических источников тока — батарей и аккумуляторов различных типов, в которых «сгорают» самые различные элементы. Можно построить, например, батарею, в которой «сгорает» железо, и процесс его окисления, который при ржавлении железа приводит к бесполезной потере металла, сделать источником энергии. Ну а нельзя ли создать устройство — батарею, аккумулятор, — в котором так же — без огня и пламени — медленно «сгорало» бы, порождая электрический ток, наше обычное топливо электростанций — каменный уголь?

Первым энтузиастом этой идеи был известный ученый и инженер Павел Николаевич Яблочков. Однако техническое осуществление ее оказалось настолько сложным, что и сегодня задача создания действующих конструкций таких аппаратов не может быть осуществлена. Есть только лабораторные образцы устройств, в которых может происходить «беспламенное», или, может быть, лучше сказать «электрическое», сгорание некоторых видов топлива.

Одно из таких устройств — их называют обобщенно топливными элементами — предложил немецкий ученый Бауэр. Здесь «сгорает» порошок кокса, помещаемый в цилиндрическую чашечку из пористой глины. Эту чашечку опускают в большой сосуд, наполненный железной окалиной. Работает такой топливный элемент при температуре около 1000 градусов. К сожалению, этот элемент работает периодически: когда порция кокса выгорит, элемент надо охлаждать и заменять топливо новым. Конечно, этот чисто конструктивный недостаток может быть устранен, но дело это отнюдь не простое.

Дальнейшая работа в том же направлении привела, однако, к выводу, что топливный элемент можно создать пока лишь на основе газообразного, но не твердого топ-

лива. Английский ученый Бэкон, например, разработал конструкцию элемента, в котором «сгорает» водород. В раствор едкого кали опущены два электрода, сделанные из пористого никеля. К одному электроду подводят водород, к другому — кислород. Газы проникают сквозь бесчисленные поры никеля и соприкасаются с электролитом. Этот элемент работает при давлении газов около 50 атмосфер и при температуре 200—250 градусов.

По сообщениям, появившимся в зарубежной печати, батарея Бэкона развивает на каждый кубометр объема мощность до 80 киловатт. Это весьма значительная мощность, позволяющая ставить вопрос о возможности практического использования батарей таких элементов.

В 1965 году было опубликовано сообщение о том, что в Торнгонской лаборатории в Англии создан топливный элемент, работающий на дешевом топливе — метаноле, одном из продуктов, получаемых из нефти — и атмосферном воздухе. Самое интересное, что этот элемент работает при атмосферном давлении и обычной температуре. Устроен он довольно сложно. Метанол обрабатывается паром в присутствии катализатора и разлагается. Полученный в результате разложения водород и «сгорает» в электроток.

Батарея из двух групп по 62 таких топливных элемента в каждой группе может давать пять киловатт электроэнергии. После пуска топливные элементы уже не нуждаются в посторонних источниках энергии, они сами снабжают током насосы и вентиляторы, входящие в состав установки. Весит установка всего около 750 килограммов. Коэффициент полезного действия этой батареи топливных элементов также оказался очень высоким — 50—60 процентов. Одна зарядка топливом обеспечивает ее работу в течение 12 часов.

Описанная установка является в настоящее время, пожалуй, наиболее работоспособной.

Известны и другие элементы, работающие на водороде при сравнительно низких температурах и атмосферном давлении. Недостатком большинства из них является то, что они действуют на чистом водороде, который слишком дорог. Очень существенно было бы использовать более дешевое газообразное топливо, в первую очередь генераторный газ.

Это, вообще говоря, возможно, но пока все элементы, использующие генераторный газ, работают только при высоких температурах, например 800 градусов. Такую установку для «сжигания» горючего газа построил, например, несколько лет назад советский ученый О. Давтян. Она представляет собой кожух, в который подаются с одной стороны обыкновенный воздух, с другой — генераторный газ. Потоки воздуха и генераторного газа разделены слоем твердого электролита. С каждого кубометра объема такого элемента можно получить до 5 киловатт мощности. Это в 5 раз больше, чем на современной тепловой электростанции. Коэффициент полезного действия этого элемента высок, но, к сожалению, через некоторое время электролит изменяет свой состав и элементы делаются непригодными.

Задача огромной важности — создание электролита и электродов для топливного элемента, которые могли бы длительное время работать на природном горючем газе.

Представляете ли вы себе, какие преимущества принесло бы широкое внедрение в будущем топливных элементов? Но до этого еще далеко. Чтобы такие элементы стали реальностью, надо очень и очень много работать.

* *
*

А теперь попытаемся представить, как будет выглядеть электростанция, когда удастся довести опытные топливные элементы до промышленных установок.

Вероятно, к 1980 году все теоретические и опытные работы в этой области будут закончены и начнут давать ток первые работающие на новом принципе электрические станции.

Итак, на календаре 1980 год.

...Мы в цехе такой электростанции. Перед нами гигантский бак, закрытый со всех сторон светлыми металлическими листами. К нему ведут какие-то трубы, от него отходят, подвешенные к гирляндам фарфоровых изоляторов, толстые медные провода.

— Вот и все, что можно увидеть снаружи на нашей электростанции, — говорит встретивший нас дежурный инженер. — Весь процесс холодного горения происходит внутри этого ящика.

По трубам к нему подводится природный газ и кислород. Они поступают в пористые электроды, погруженные в специальный электролит. Как и в обычной батарее для карманного фонаря, между электродами начинает течь ток. Горючий газ — он состоит главным образом из метана — окисляется. Образуется углекислый газ — мы его отводим по специальной трубе. Возникает и вода — она поступает прямо в электролит, поэтому его концентрацию постоянно приходится поддерживать на одном уровне. Для этого часть электролита постоянно сливаем и добавляем вместо этого новый.

А ток... Ток по этим проводам идет к преобразователям. Сначала его превращают в переменный, затем в обычных трансформаторах повышают напряжение...

Как видите, ни громоздких тяжелых котлов, ни гигантских турбин... А знаете, каков коэффициент полезного действия этой установки? Почти 90 процентов энергии, заключенной в топливе, превращается в электрический ток! А сейчас мы боремся и за еще более высокие показатели. Тем более, что теоретически они могут быть равны и 100 процентам...

— Кстати, — спохватывается инженер, когда мы уже приготовились попрощаться с ним, — такие топливные элементы теперь нашли широкое распространение в качестве транспортных двигателей. Там они работают на бензине. Бака с бензином хватает автомобилю, чтобы совершить в четыре раза больший пробег, чем это могли сделать обычные автомашины. Автобусы, тракторы, железнодорожные локомотивы оборудуются сейчас такими электростанциями.

Ну, а теперь возвратимся в 1966 год и оценим с сегодняшнего рубежа реальность нарисованной картины.

Что ж? Все услышанное нами, вероятно, очень близко к истине.

— Возможны ли электростанции с топливными элементами?

— Да, несомненно.

— Будут ли автомобили и тракторы с такими странными источниками энергии?

— Безусловно!

А вот изображенные в рассказе детали может оказаться не совсем такими.

Встреча с полупроводниками

Впрочем, отлично работающую электростанцию, не имеющую ни парового котла, ни турбин, вырабатывающую электрический ток непосредственно из тепла, мне довелось видеть лет десять назад. Показывал ее инженер завода, освоившего массовый выпуск таких электростанций.

Это был металлический абажур, надеваемый на обыкновенную керосиновую лампу. От него в разные стороны веером разбегались плоские вертикально поставленные пластины. Снизу отходили два провода. Инженер подключил их к радиоприемнику и зажег лампу.

— Мощность нашей комнатной электростанции пока не велика, — сказал он. — Но ее вполне хватает для питания радиоприемника... Жители отдаленных районов страны, куда еще не дотянулись линии электропередач, смогут не беспокоиться о наличии батарей и аккумуляторов. А керосин там всегда есть...

Он покрутил ручку настройки и мягкие звуки вальса наполнили комнату. Приемник отлично работал, питаемый электроэнергией, полученной непосредственно из тепла. А инженер продолжал свои объяснения:

— Принцип, на котором работает наша электростанция, называемая термоэлектрогенератором, был открыт очень давно, еще в 1821 году. Немецкий ученый Т. Зеебек установил, что если спаять концы двух проводочек из разных металлов и затем один из спаев нагреть, а другой охладить, то по проводочкам пойдет ток.

В течение многих десятков лет это открытие рассматривалось просто как любопытное явление природы. Затем для измерения высоких температур сконструировали приборы, работающие на этом принципе. Ведь чем выше температура нагрева одного из спаев, помещенного, например, в мартеновскую печь, тем большим оказывался идущий по цепи ток. Однако он все-таки слишком мал, чтобы можно было использовать его для каких-либо других целей.

Уже в наше время явлением заинтересовался советский ученый академик Иоффе, большую часть жизни посвятивший изучению удивительных свойств полупроводников — промежуточного класса веществ, не являющихся ни проводниками, ни изоляторами электрического тока.

Ему и его сотрудникам удалось поднять величину тока, рождаемого нагретым спаем, настолько, что он уже сегодня может найти серьезное практическое значение.

Устройство нашего термоэлектрогенератора не сложно. В этом колпаке находятся полупроводниковые элементы, соединенные последовательно друг с другом. Спаи, обращенные к стеклу лампы, нагреваются ее пламенем, обращенные наружу, охлаждаются воздухом. Чтобы увеличить охлаждение, и сделаны выступающие пластины...

Помню, как я был изумлен этим рассказом... Тогда это казалось почти чудом. Да и не только мне. Фотографии термоэлектрогенератора, выпускаемого в Советском Союзе, обошли весь мир. На зарубежных выставках у этого экспоната останавливались толпы людей.

— Ну и почему же, — спросите вы, — этот принцип до сих пор не пришел в большую энергетику. Ведь все так просто: стены топки новой электростанции надо покрыть горячими спаями, а наружу вывести холодные спаи. В общем, если увеличить в тысячу раз тот же термоэлектрогенератор, то получится мощная электростанция нового типа.

К сожалению, пока это невозможно. Лучшие полупроводниковые термоэлектрогенераторы превращают в электрический ток не больше десяти процентов тепла. Это в три-четыре раза меньше, чем удалось достигнуть на электростанциях обычного типа.

И все-таки создание мощных полупроводниковых электростанций вполне возможная вещь. Вот что думает по этому поводу крупнейший специалист в этой области член-корреспондент Академии Наук Б. М. Вул:

— В ближайшие годы полупроводниковые термоэлектрические установки будут сравнительно небольшой мощности. Однако как только удастся преодолеть некоторые трудности, связанные с работой термоэлементов при высоких температурах..., тогда, вероятно, будут созданы крупные термоэлектрические станции большой мощности. Возможность превращения тепловой энергии в электрическую без котлов, турбин и генераторов, уже реализуемая в малых масштабах в наши дни, столь привлекательна и целесообразна, что несомненно будут найдены пути для ее использования в крупных масштабах...

С этим нельзя не согласиться. Возможность бесконечно заманчива! И нет сомнений в том, что она будет осуществлена.

Ступая по целине

А может быть, и совсем по другому пути пойдет совершенствование тепловых электростанций. Может быть, совсем иной физический принцип будет положен в основу прямого превращения тепловой или химической энергии в электрическую.

Ученые делали такой интересный опыт. Из небольшой стеклянной колбы откачивали весь воздух. Затем сквозь тонкую трубку, оба конца которой были выведены из колбы, пропустили нагретый до температуры около 2500 градусов газ. Понятно, примерно до этой же температуры раскалилась и трубка. Она засияла, как сияет волосок электрической лампочки, нестерпимо белым светом. И с ее поверхности под влиянием высокой температуры начали вылетать — «испаряться» — электроны.

Электрический ток — это и есть поток электронов. Вылетающие из раскаленной трубки электроны осаждались на холодной пластинке, так же находившейся в безвоздушном пространстве колбы. Соединив проволочкой эту пластинку с раскаленной трубкой, получали электрическую цепь, по которой пошел ток. Этот ток также был получен в результате прямого превращения тепловой энергии в электрическую.

Трудно представить себе сейчас электростанцию большой мощности, которая бы работала, используя этот принцип. И рассказано о нем здесь не как об очень перспективном для ближайших десятилетий, а для того, чтобы просто показать: есть и другие пути, еще совсем мало изученные, совсем не хоженные...

* * *

По разным путям идет вперед наука. Среди них есть проверенные, но еще не пройденные. Может быть, на таких путях и встретится что-нибудь неожиданное, но, по всей вероятности, предварительные расчеты оправдаются на все сто процентов.

Таким путем в тепловой энергетике является повышение параметров пара. Ученые и инженеры заранее знают — до сотых долей процента, — какую выгоду принесет им повышение давления и температуры пара до таких-то и таких-то величин.

Есть пути, которые еще не прослежены до конца, требующие дополнительного изучения, постановки опытов, ведения исследований. К ним в теплотехнике относятся и работы над «топливными элементами», и исследования газовой струи.

Есть пути едва намеченные — вроде вот этой трубки, помещенной в вакуум и нагретой до высокой температуры.

Но, кроме этих мало изученных или едва намеченных путей, есть и такие, о которых просто совсем не догадались еще ученые. Пути, которые надо будет сначала рассмотреть, увидеть, а затем, быть может, и пройти.

Как знать, не окажется ли еще не найденный путь самым прямым и коротким. И не он ли станет основой электростанций будущего.

ВЗРЫВ В ЦИЛИНДРЕ

Газовая турбина — ближайший родственник не только турбины паровой, но и другого типа двигателя, внешне вроде бы ни на какую турбину вообще не похожего. Это двигатель внутреннего сгорания.

Если уже говорить о внешнем сходстве, то он больше похож на паровую машину. У него есть цилиндры, поршни, кривошипно-шатунный механизм, коленчатый вал — все те механизмы, которые обязательны и почти в каждой паровой машине. У него в цилиндрах происходит расширение и охлаждение раскаленного и сжатого газа, аналогичное расширению и охлаждению пара. И даже происхождение у паровой машины и двигателя внутреннего сгорания одно и то же: в своем цилиндре Дени Папен ставил опыты и со сжиганием взрывчатых веществ и с паром.

И все же есть нечто близко роднящее двигатель внутреннего сгорания с газовой турбиной. Смена тепловых процессов, совершающихся в его цилиндрах, аналогична

процессам, которые происходят в различных частях этой турбины. Только в газовой турбине они совершаются непрерывно, а в двигателе внутреннего сгорания последовательно сменяют друг друга.

В прошлом веке двигатели разных типов довольно четко разделили свои «обязанности». Паровая машина в течение более чем столетия была основным двигателем железнодорожного транспорта. Можно сказать, что паровозы завоевали мир, опутав его железной паутиной дорог, благодаря паровой машине. Паровая машина длительное время господствовала и в качестве судового двигателя. А в авиации с первых ее шагов безраздельно воцарился двигатель внутреннего сгорания.

Десятилетия двадцатого века внесли существенные коррективы. Появившаяся паровая турбина сменила паровую машину на мощных тепловых электростанциях, оставив ей лишь право работать на локомотивах — передвижных энергетических установках небольшой мощности. Такая замена произошла и на судах. Почти одновременно пошли в наступление и двигатели внутреннего сгорания. Сегодня пароход редко уже можно встретить не только в океанском порту, но и у речной пристани.

Двигатели внутреннего сгорания ворвались и на железнодорожный транспорт. И здесь они положили конец безраздельному господству паровой машины.

Газовая турбина, вытеснив двигатель внутреннего сгорания из целой отрасли авиации, ведет ныне битву за право работать и на стационарных электростанциях. Ее можно ныне встретить и на железнодорожном локомотиве и на океанском судне.

Велики заслуги перед человечеством двигателей внутреннего сгорания. Уже более полувека честно работают они на человека. Это они позволили построить автомобиль, мотоцикл и мотороллер. Это они дали возможность подводной лодке спуститься в черные глубины моря, а самолету подняться в синюю бездну неба. Но стремительно в наше время движется вперед наука и техника. И двигатель внутреннего сгорания, даже в тех областях техники, которые им вызваны к жизни, уже начинает теснить двигатели других типов.

Ну а дальше... Какие двигатели станут наиболее распространенными? Каково современное положение двигателя внутреннего сгорания? Каковы его перспективы?

Будет ли он вытеснять другие двигатели? Или, наоборот, они пережили эпоху своего максимального развития и сейчас уступают позиции другим двигателям?

Что ж, познакомимся и с ними.

Они укротили взрыв

История этого двигателя начинается с работ Дени Папена. Но только через два столетия был создан первый нашедший себе широкое применение тип такого двигателя. Создателем его явился французский рабочий Жан Лемуар.

Жан-Этьен Лемуар родился в 1822 году в маленьком бельгийском городе Мюсси-ля-Вилль. Уже в 16 лет, лишившись родителей, он вынужден был начать самостоятельную жизнь. Он перепробовал десятки профессий. Был гарсоном в кафе, рабочим на фабрике красок, уличным жестянщиком. У него была отличная голова, талант изобретателя и жадное стремление к знаниям. В редкие свободные от работы часы он читал технические книги и ставил опыты с электричеством.

Жан Лемуар отлично представлял себе один из главных недостатков паровой машины того времени — ее громоздкость. Такую машину нельзя было поставить и использовать на небольшом предприятии, а их было очень много. Типографии, располагающие двумя-тремя печатными станками, ремонтные мастерские, красильные фабрики, вроде той, на которой ему пришлось работать, требовали компактного экономичного двигателя небольшой мощности.

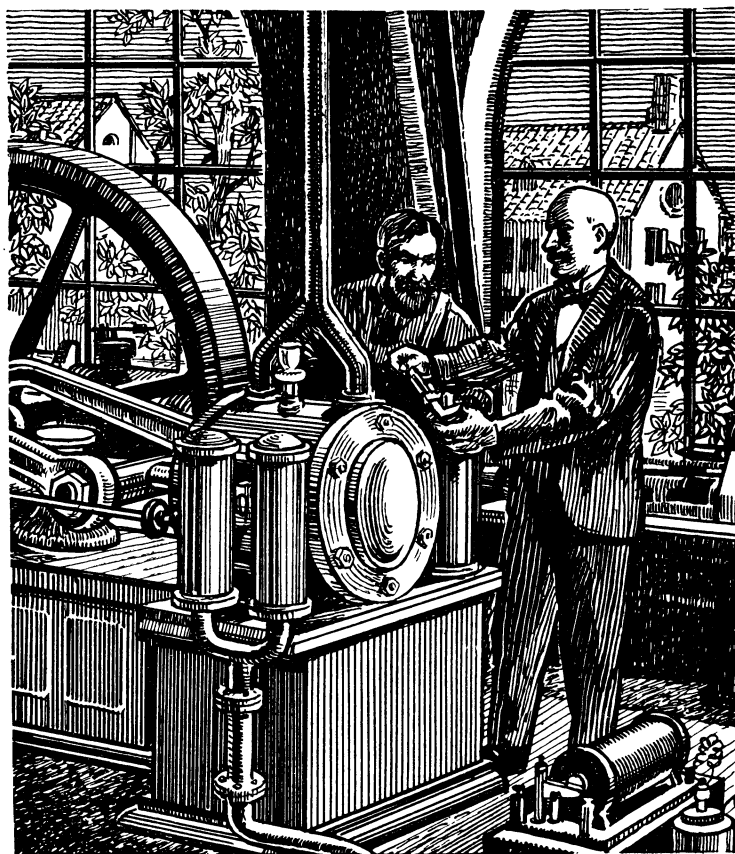
Создать его и поставил своей целью Лемуар.

Он внимательно изучает все патенты на такого рода машины. Большинство из них относилось к газовым двигателям. Некоторые были даже построены. Но ни один не получил сколько-либо широкого распространения.

Лемуару пришла в голову счастливая мысль: применить для зажигания газовой смеси в цилиндре не раскаленную трубку или проволочку, а электрическую искру.

В 1860 году Лемуар взял патент на свой двигатель. Работал этот двигатель следующим образом. Смесь воздуха со светильным газом засасывалась в цилиндр. На середине хода поршня впускной клапан закрывался, электрическая искра поджигала смесь и раскаленные га-

зы горения гнали поршень дальше. Затем, когда поршень доходил до конца, открывался выхлопной клапан, сквозь который поршень при обратном ходе и выталкивал отработавшую смесь.



Газовые двигатели Ленуара в течение нескольких десятилетий не имели конкурентов

Вскоре двигатели Ленуара поступили на рынок. Их появление сопровождала трескучая реклама, значительно преувеличивавшая качества нового двигателя. Ленуар знал и силу и сущность буржуазной рекламы.

Но так или иначе двигатели покупали. Они были слишком нужны, чтобы от них можно было отказаться. Им прощали и низкий коэффициент полезного действия, не превышавший 3—5 процентов, и огромный расход смазочного масла, дававший повод шутникам называть их «вращающимся куском сала», и дороговизну потребляемого топлива. Все шло хорошо. Может быть, Ленуар и действительно верил, что его детище вытеснит паровую машину, как он громогласно объявил в рекламе.

Но дело обстояло по-другому. Действительно, развитие техники и промышленности требовало создания нового двигателя и он пришел. Но то был не двигатель Ленуара.

Выяснилось это на Парижской всемирной выставке 1867 года. На ней были представлены почти полтора десятка газовых двигателей разных систем и среди них невзрачный на первый взгляд, очень шумный двигатель немецкого механика-самоучки Николая Отто.

К этому двигателю никто сначала не относился серьезно. Но внешний вид и первое впечатление не так уж важны в технике. Инженеры предпочитают другие критерии, для того чтобы вынести свое суждение.

Устроители выставки провели испытание двигателя — и ахнули. Такой высокой экономичности не имел еще никогда ни один двигатель в мире! Если разрекламированная машина Ленуара пожирала на лошадиную силу в час около 3 кубометров газа, то машина Отто расходовала всего около 0,8 кубометра! Ее коэффициент полезного действия достигал 16 процентов — в 3 раза больше чем у двигателей Ленуара. Золотая медаль выставки, в получении которой Ленуар не сомневался, была присуждена Отто.

Немецкий коммерсант Николай Отто начал заниматься двигателями лет 30 от роду, но увлекся ими самозабвенно. Рассказывают, что совершенно случайно, проводя опыты с моделью двигателя, он открыл, что предварительно сжатая газовая смесь дает больший эффект при сгорании. Но случай в жизни изобретателей вещь условная. Случай помогает изобретателю только тогда, когда он ищет этот случай. Зверь идет на ловца.

Компаньоном Отто стал инженер Лангрэн — отличный организатор, знающий инженер. Вдвоем-то они и разработали конструкцию, которая была отмечена на

Парижской выставке 1867 года. Выпущенные под названием «Отто — Дейтц», двигатели нашли довольно широкое применение. Но, может быть, никто больше их создателей не чувствовал их недостатков. Работы продолжались.

В 1877 году Отто запатентовал новую машину, работающую по четырехтактному циклу. В течение первого хода горючая смесь засасывалась в цилиндр. Обратное движение поршня — второй ход — сжимало ее. Затем происходило сгорание, давление в цилиндре быстро возрастало и осуществлялся третий — рабочий ход. Во время четвертого хода из цилиндра выталкивались продукты сгорания.

На Парижской выставке 1878 года новый двигатель был принят с триумфом.

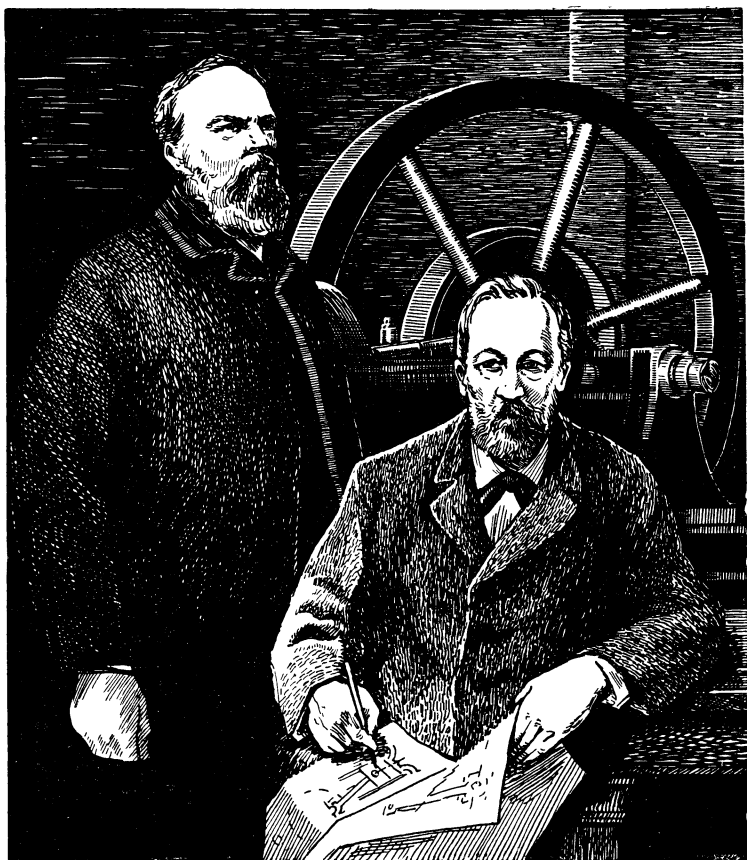
Марка завода «Отто—Дейтц» получила известность во всем мире. Но последние годы жизни изобретателя не были счастливыми. Суды отменяли его патенты. Обстоятельства заставляли заниматься не принципиальным усовершенствованием двигателя, а коммерческими делами предприятия. Жизнь казалась прожитой не так, как можно было бы... На Парижской выставке Отто познакомился с удивительным человеком — изобретателем Бо-де-Роша. За шестнадцать лет до Отто он запатентовал четырехтактный цикл двигателя. Ему была ясна, как никому в мире, сущность происходящего в цилиндре.

Но Бо-де-Роша принципиально не был «деловым человеком». Стакан вина он предпочитал всемирной славе. Весельчак, жизнелюбец, эпикуреец он боялся всего того, что могло бы помешать его беззаботной жизни. Он не желал работать над новыми изобретениями, зная заранее, что на них будут богатеть капиталисты, а изобретатель останется в стороне.

Как это ни странно, сухой и педантичный Отто и беспорядочный завсегдатай кабачков Латинского квартала сошлись. Все-таки они оба были изобретателями. Они ближе, чем кто бы то ни было до них, подошли к открытию секрета двигателя высокой экономичности. Но конкретных плодов это понимание не принесло. И Бо-де-Роша и Отто умерли, не создав этого двигателя.

Так что же Бо-де-Роша и Отто унесли с собой в могилу тайну двигателя высочайшей экономичности?

Нет. Их тайну уже знал третий человек, который, однако, никогда в жизни не встречался ни с одним из них. Имя этого человека — Рудольф Дизель.



Николай Отто и Евгений Лангрен создали новый вид двигателя внутреннего сгорания

28 февраля 1892 года он уже взял первый патент на новый двигатель. А еще через год выпустил книгу со смелым названием: «Теория и конструкция рационального теплового двигателя, призванного заменить паровую ма-

шину и другие существующие в настоящее время двигатели».

Но все равно, даже если бы Дизель не взял свой патент и не написал книгу, новый двигатель неизбежно появился бы. Может быть на год на два позже, может быть славу его создания разделили бы несколько человек. Но так же, как гибель машины Папена не предотвратила изобретения паровой машины, смерть Отто не могла предотвратить прихода двигателя Дизеля.

Сын парижского ремесленника — переплетчика, — немец по происхождению, Рудольф Дизель благодаря выдающимся способностям с блеском окончил Высшую техническую школу и неплохо начал инженерную карьеру. Но главным в его жизни еще со студенческих лет был двигатель.

И вот он появился. По мысли Дизеля, его двигатель должен быть работать так же по четырехтактному циклу, как и двигатель Отто. Но сжатию у Дизеля подвергалась не вся горючая смесь, а только воздух, что позволяло осуществлять чрезвычайно высокую степень сжатия.

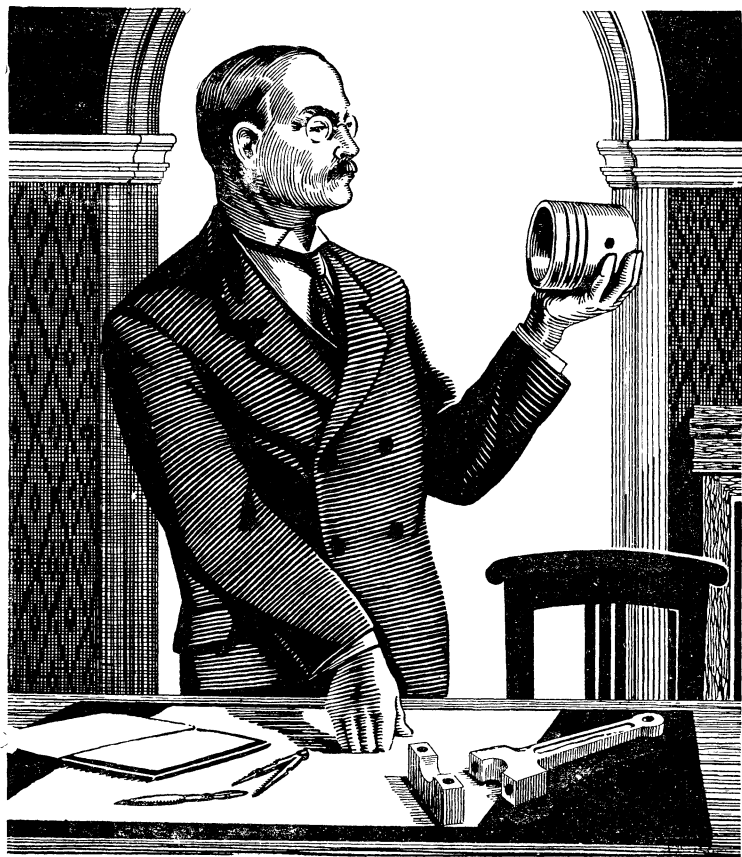
Двигатель Дизеля не нуждался в дополнительных устройствах для воспламенения горючего — оно загоралось само, по мере поступления в сжатый и нагретый при этом воздух. Поступление горючего регулировалось таким образом, что давление в цилиндре в начале рабочего хода поршня оставалось постоянным. Когда впуск топлива прекращался, газы горения, расширяясь, продолжали двигать поршень.

Да, это был именно тот двигатель, о котором мечтали Отто и Бо-де-Роша!

Конечно, осуществленная после ряда неудач практически работоспособная модель двигателя — она появилась в 1895 году — значительно отличалась от первоначального теоретического варианта. Ее коэффициент полезного действия достигал 26 процентов — до этого невиданной величины. И, конечно, оставались еще большие резервы его дальнейшего повышения. Это была победа.

Однако первые промышленные образцы двигателя вызвали целый ряд нареканий на изобретателя. Широкое внедрение машин задерживалось. К тому же поднялась грязная возня вокруг имени Дизеля, протесты против его патентов.

Поддержка пришла из России. Здесь уже в 1899 году был построен двигатель Дизеля невиданной конструкции, способный работать на сырой нефти. Коэффициент по-



Рудольф Дизель — создатель самого экономичного двигателя внутреннего сгорания

лезного действия его оказался выше, чем у лучших зарубежных моделей, работающих на керосине.

Здесь же, в России, разрезало синь речной воды первое судно с дизель-мотором. Это была нефтеналивная баржа «Вандал», начавшая навигацию весной 1903 года.

А еще через год по Волге прошел первый в мире теплоход «Сармат».

Год за годом новый двигатель находил все новые применения буквально во всех отраслях промышленности, и все больше оскорблений летело в адрес изобретателя.

Нет, ни богатство, ни всемирная слава не принесли ему счастья. 29 сентября 1913 года Дизель выехал из Антверпена в Лондон. Вечером он ушел в свою каюту, а утром она оказалась пустой. Дизеля не стало.

Судьба изобретателей двигателя внутреннего сгорания — Жана Лемуара, умершего в неизвестности, Бо-де-Роша, презливо отвергнувшего дельцов, заправлявших техникой и промышленностью, Николая Отто, покорно ждавшего смерти как избавления, наконец, Дизеля, затравленного завистниками и конкурентами, — типична для эпохи капитализма.

Не талантам, не изобретательности, не знаниям — чистогану принадлежит там первое место.

В цилиндрах сгорает бензин

Пушка и двигатель внутреннего сгорания хоть и не близкие, но все-таки родственники.

У пушки давление расширяющихся газов горения движет снаряд по каналу ствола и, наконец, выталкивает его.

У двигателя внутреннего сгорания — например дизеля — давление расширяющихся газов движет поршень, но вытолкнуть совсем не может.

Пушка, выбросив снаряд, испытывает отдачу — под действием реактивных сил откатывается назад.

Под действием реактивной силы струи газа, вырывающейся из сопла, движется реактивный двигатель.

От идеи пушки к идее двигателя внутреннего сгорания шли первые изобретатели.

Пушка значительно старше двигателя внутреннего сгорания. Первые пушки появились еще в XIV веке, первые двигатели внутреннего сгорания — в XIX веке. Но человечество надеется, что пушки умрут значительно раньше, чем двигатель внутреннего сгорания будет заменен другим, более удобным и экономичным двигателем.

С двигателями внутреннего сгорания мы встречаемся

буквально повсюду. Но, конечно, самым распространенным образцом такого двигателя является обыкновенный автомобильный мотор.

Кто не знает этот двигатель? Теперь он представляется нам простым. А ведь ученым, инженерам, изобретателям нескольких поколений пришлось напряженно работать, чтобы появилась эта предельная простота высочайшего совершенства.

Вот как работает такой двигатель.

Впрочем, для того чтобы он начал работать, его надо привести в движение, сделать несколько оборотов коленчатого вала. Это общее свойство и общий недостаток всех двигателей внутреннего сгорания.

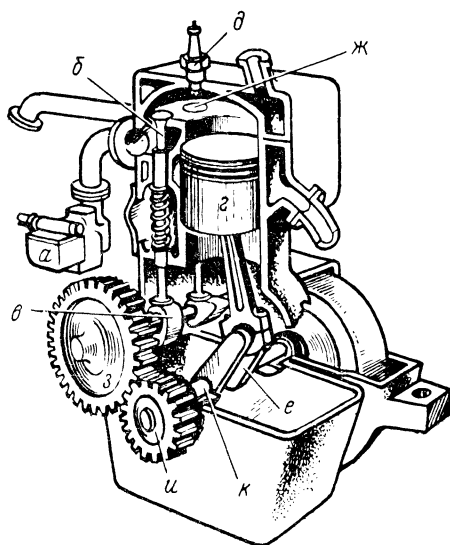
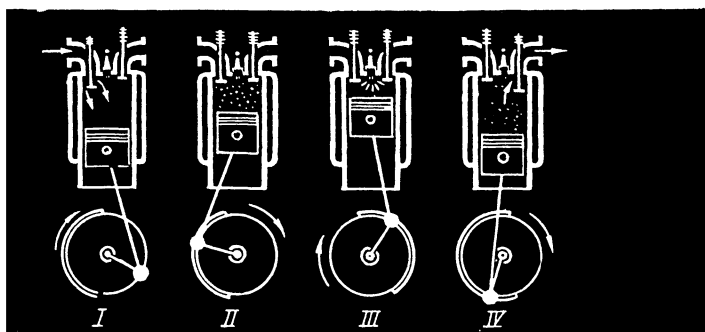
Осуществляется запуск двигателя обычно небольшим стартовым электромотором, работающим от аккумуляторов.

Но вот электромотор поворачивает коленчатый вал, и поршень из верхней точки движется вниз. За ним в цилиндре образуется разрежение. Но в этот момент коленчатый валик, вращение которого строго связано с вращением коленчатого вала, приподнимает клапан, приоткрывая отверстие, ведущее в карбюратор. И в цилиндр из карбюратора засасывается горючая смесь. Этот ход поршня из одного крайнего положения в другое, когда в цилиндр засасывается горючая смесь, называется тактом всасывания.

Поршень дошел до нижней точки, но вал продолжает вращаться и, остановившись на миг, поршень начинает подниматься. В этот момент впускной клапан закрывается, камера цилиндра оказывается отрезанной от всего остального мира. Поршень поднимается вверх и при этом сжимает рабочую смесь. Происходит такт сжатия.

Вдруг в запальной свече с легким треском проскакивает яркая и горячая электрическая искра. Горючая смесь — пары бензина, смешанные с воздухом — взрывается. Температура ее, а значит и давление, стремительно растут. И она, расширяясь, начинает с силой толкать вниз поршень, прошедший уже свое верхнее положение. Это — рабочий ход. Во время его и происходит превращение тепловой энергии газов горения в механическую энергию, вырабатываемую двигателем.

Поршень дошел до самого нижнего положения. Что же, при дальнейшем движении он сожмет снова газы



Карбюраторный двигатель внутреннего сгорания. В карбюраторе (а) осуществляется приготовление рабочей смеси — паров бензина с воздухом. Клапан (б), открываемый пунсоном (в), выпускает горючую смесь в цилиндр при движении поршня (г) вниз — происходит всасывание (I). При движении поршня вверх клапаны закрыты — происходит сжатие горючей смеси (II). В нужный момент в запальной свече (д) вспыхивает электрическая искра, которая зажигает горючую смесь в цилиндре. Под давлением газов горения поршень движется вниз — рабочий ход (III) — и вращает кривошип (е). Затем открывается выхлопной клапан (ж) и газы горения выбрасываются движущимся вверх поршнем — происходит выхлоп (IV). За два оборота вала двигателя осуществляется полный рабочий цикл. Поэтому шестерня (з) валика кулачков вдвое больше шестерни (и) коленчатого вала (к): ведь она должна за рабочий цикл сделать только один оборот, только один раз открыть и закрыть каждый клапан

горения? Конечно, нет. В соответствующий момент, даже еще раньше, чем поршень дошел до нижней точки, кулачок распределительного валика открывает выхлопной клапан. И поршень выталкивает газы, сделавшие свое дело, сквозь это отверстие вон из цилиндра.

Вся система пришла в то же самое состояние, что было до того, как мы, включив стартер, начали проворачивать коленчатый вал. Но теперь для того чтобы весь цикл повторился сначала, не требуется вмешательства стартера. Энергия, переданная расширяющимся газом во время рабочего хода поршню двигателя, привела во вращение небольшой маховик. Его инерции достаточно для того, чтобы заставить поршень совершить такт всасывания, сжатия, а при следующем рабочем ходе маховик получит новый толчок, который возобновит запас его кинетической энергии.

В настоящее время довольно редко можно встретить одноцилиндровый двигатель внутреннего сгорания. Двигатели, установленные на наших наиболее распространенных легковых автомашинах «Москвич» и «Волга», имеют по четыре цилиндра. Рабочий цикл у них чередуется: когда в одном цилиндре происходит всасывание, в другом совершается рабочий ход, в третьем — выхлоп, а в четвертом — сжатие. Есть двигатели внутреннего сгорания и с большим числом цилиндров.

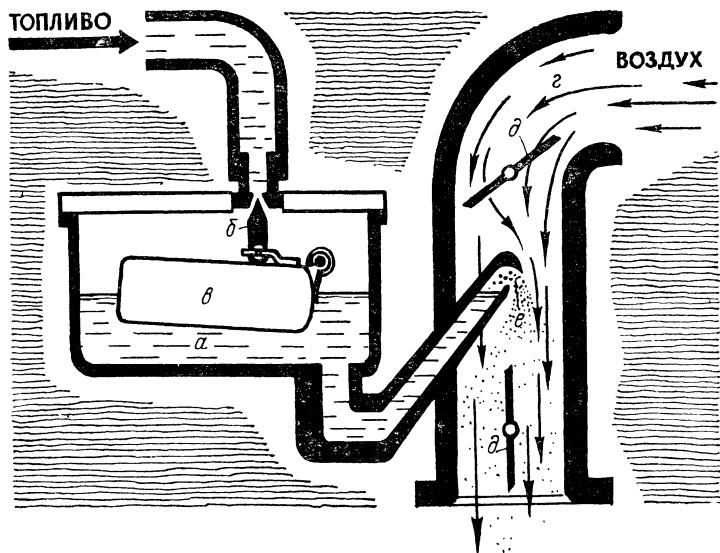
Для того чтобы в описанном двигателе не осталось больше неясных мест, надо рассказать, как работает карбюратор, приготовляющий для цилиндра рабочую смесь паров бензина с воздухом.

Карбюратор представляет собой трубку, в центре которой расположена другая очень тоненькая трубка с отверстием, открытым в сторону цилиндра. Эта внутренняя трубка всегда до краев наполнена бензином, который, однако, сам по себе через край не польется. Но вот открылся впускной клапан цилиндра, опускающийся поршень засасывает в цилиндр воздух и он устремляется туда по большой трубке, обтекая тоненькую. В этот момент давление воздуха в трубке падает и горючее струйкой засасывается из маленькой трубки. Струю подхватывает воздух, засасываемый в цилиндр, он разбивает ее на мельчайшие капли — бензиновые пылинки.

Регулирование мощности двигателя осуществляется большей или меньшей подачей бензина в смесь, поступаю-

щую в цилиндр. Осуществляется оно с помощью поворотной заслонки, установленной в трубке карбюратора. У автомобиля управление этой заслонкой соединено с ножной педалью.

Кроме этих главных узлов, двигатель имеет и ряд вспомогательных устройств, не участвующих непосред-



Это очень упрощенная схема работы карбюратора. Топливо поступает в ванночку (а) через отверстие, перекрываемое иглой (б), связанной с кулачком (в). По трубе (г) движется засасываемый в цилиндр воздух. Скорость его движения зависит от величины открытия заслонок (д). Устремляясь в цилиндр, воздух захватывает с собой капельки бензина из отверстия трубки (е)

венно в выполнении рабочего цикла: систему охлаждения, смазки, подачи топлива и т. п.

Как будто бы все очень просто, но мы уже говорили, что простота эта кажущаяся.

Коленчатый вал двигателя автомашины «Москвич» делает 3600 оборотов в минуту или 60 оборотов в секунду. На каждые пол-оборота вала приходится рабочий ход в одном из цилиндров. Это значит, что 120 раз в секунду должна родиться, сверкнуть и умереть, сделав свое

дело, электрическая искра. 120 раз в секунду происходит в цилиндрах двигателя взрыв сжатых и подожженных паров бензина. Человеческий глаз не в силах в самой малой мере уследить за столь стремительной сменой картин.

Большие скорости работы такого двигателя сочетаются с требованиями точности возникновения искры в его цилиндре. Недопустимо отставание и на 10 градусов поворота коленчатого вала. Такой угол он проходит меньше чем на 0,0005 секунды. Примерно такую же точность требует и открывание клапанов!

И вместе с тем, как надежно работает такой двигатель!

Представьте, вы поехали на «Москвиче» в дальнюю прогулку и в течение восьми часов не отпускали руля. У вас за спиной несколько сотен пройденных километров. Но вы к этому уже привыкли и это вас не удивляет. А в цилиндрах мотора...

В цилиндрах мотора за это время просверкало четыре с половиной миллиона крохотных молний, произошло четыре с половиной миллиона взрывов горючей смеси.

Поршни мотора, двигаясь в цилиндрах, проделали за это время больший пробег, чем сделал сам автомобиль — они в общей сложности прошли свыше 1000 километров!

Относитесь с уважением к маленькому мотору автомобиля — это верный, надежный труженик.

Вот почему не мешало бы ему быть экономичнее. Ведь его коэффициент полезного действия не превышает 20—24 процентов.

Конечно, по сравнению с паровой машиной, это удивительно высокая экономичность, но в самой идее двигателя внутреннего сгорания таятся значительно большие возможности, чем те, которыми располагает бензиновый карбюраторный двигатель.

Да еще неплохо бы, чтобы он был не так разборчив в «пище» и мог работать не только на дорогом бензине, но и на дешевых топливах, вплоть до сырой нефти.

Дизель — счастливый соперник

Пример экономичности и неразборчивости в «пище» подает другой тип двигателей внутреннего сгорания — дизель.

Раньше тракторы у нас были только с карбюраторными двигателями, а теперь есть и с дизелями.

Фирма «Мерседес — Бенц» в ФРГ выпустила новую модель легкового автомобиля не с карбюраторным двигателем, а с дизелем.

Чехословацкие автомобилестроители освоили выпуск дизельных малолитражных машин.

Почему всюду дизели? Почему ни одна из автомобильных или тракторных фирм не осуществит обратного перехода — с дизеля на карбюраторный двигатель?

Рабочий цикл дизеля на первый взгляд почти не отличается от рабочего цикла карбюраторного двигателя.

Так же, как и там, здесь первый такт — такт всасывания. Но всасывается у дизеля не горючая смесь, а чистый воздух.

Второй такт — сжатие — также совпадает с тактом карбюраторного двигателя. Только сжимается здесь не горючая смесь, а чистый воздух. И сжимается до значительно более высокого давления, чем в карбюраторном двигателе, — до 35 атмосфер и даже выше. Температура воздуха, подвергнутого такому сжатию, резко повышается. В этот-то раскаленный воздух и впрыскивается топливо, которое, конечно, сразу же вспыхивает.

Третий такт — рабочий ход. Раскаленные газы горения, образующиеся при горении топлива, а его впрыскивают в течение почти всего такта, расширяясь, двигают поршень.

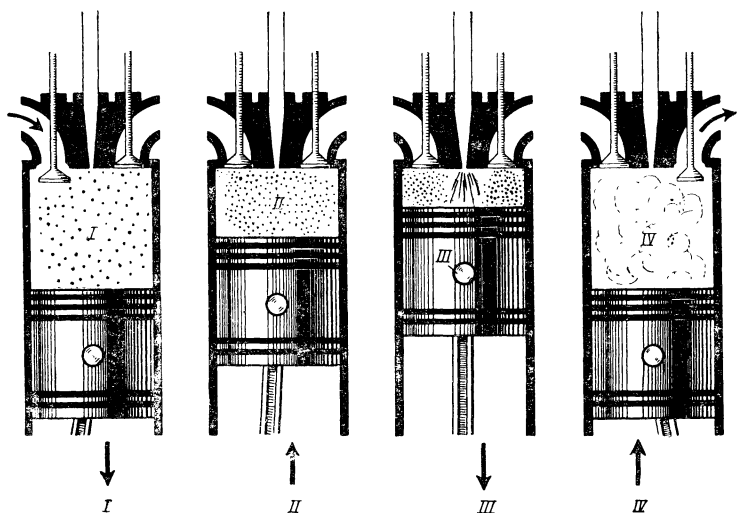
Четвертый такт — выхлоп. Отработанные газы выталкиваются возвращающимся поршнем.

Значит, вся разница в том, что, во-первых, всасывается не горючая смесь, а воздух, во-вторых, горючее вбрызгивается в сжатый и разогревшийся при этом воздух и, в-третьих, в более высоком сжатии.

Да, и самое главное это «в-третьих».

Из теоретических расчетов ученым уже давно было ясно, что чем выше удастся поднять предварительное сжатие, тем выше будет экономичность двигателя. Но как поднять предварительное сжатие в карбюраторном двигателе, если повышение давления неизбежно влечет за собой повышение температуры, а это также неизбежно вызывает детонацию, взрыв газовой смеси. Взрыв задолго до того, как окончился такт сжатия, а это означает резкий удар по коленчатому валу навстречу его движе-

нию, удар по подшипникам, по клапанам и крышке цилиндра. Потому-то и вели долголетние поиски антидетонирующей присадки. Детонация — это резкие толчки и удары в сердце карбюраторного двигателя — так же



У дизеля нет запальной свечи, воспламенение горючего у него происходит за счет высокой температуры сжатого воздуха. Рабочий цикл его схож с рабочим циклом карбюраторного двигателя. Сначала происходит всасывание (I), но сквозь отверстие впускного клапана поступает чистый воздух, а не горючая смесь. Затем сжатие этого воздуха (II). Потом в сжатый и нагретый сжатием воздух вбрызгивается мгновенно загорающееся горючее — это рабочий ход (III), за которым следует выхлоп газов горения (IV).

страшны для машины, как перебои в сердце человека для его жизни.

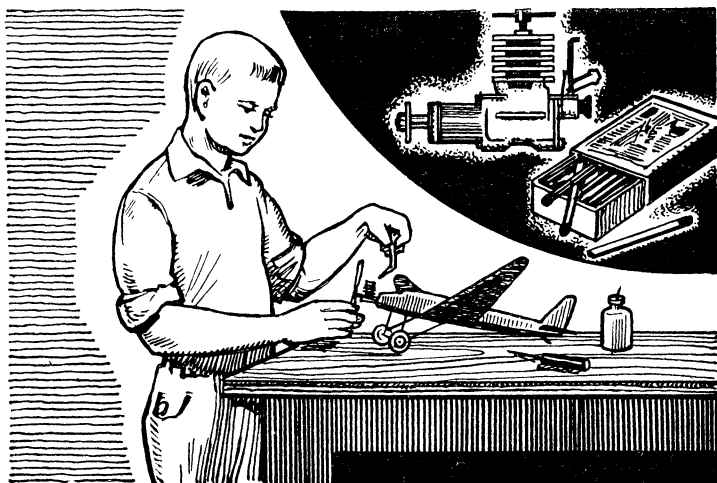
А дизелю детонация не страшна. Топливо в его цилиндр подается уже тогда, когда сжатие по существу закончено. И поступает оно не целиком сразу, а с наиболее выгодной скоростью.

Высокая степень сжатия повысила коэффициент полезного действия с 24 процентов в карбюраторном двигателе до 34 в дизеле. Это далеко не шутка, если учесть многомиллионную армию автомобилей, тракторов и других транспортных и стационарных машин. Замена

их карбюраторных двигателей на дизели позволит сэкономить чуть ли не треть топлива!

К этому решающему преимуществу дизеля можно добавить и другие.

У карбюраторного двигателя имеется карбюратор для приготовления горючей смеси и система зажигания. А у дизеля только система крохотных насосиков высо-



Не уверен, что этот двигатель внутреннего сгорания сегодня является самым маленьким в мире

кого давления, служащих для впрыскивания топлива. Значит, дизель проще карбюраторного двигателя.

Обычные неисправности карбюраторного двигателя — или засорилась тоненькая трубочка жиклера, по которой подается в карбюратор бензин, или загрязнилась свеча, при помощи которой производится поджигание горючей смеси, создается искра. У дизеля этих неисправностей быть не может. Значит, он надежнее и безотказнее в работе.

Топливо карбюраторного двигателя — бензин. Оно должно легко испаряться. Дизель работает на любом топливе — керосине, лигроине, солярке, мазуте. Или просто на сырой нефти.

Описанные поршневые двигатели внутреннего сгорания — карбюраторный и дизель — типичные, но отнюдь не единственные представители этого класса машин. Есть поршневые двигатели внутреннего сгорания одноцилиндровые крохотные для авиамоделей, есть гигантские с несколькими десятками цилиндров — для стационарных установок. Есть с У-образным расположением цилиндров, звездообразным, треугольным, встречным. Есть двигатели внутреннего сгорания двух-, четырех- и даже шеститактные.

Есть двигатели, у которых движутся поршни, есть с движущимися цилиндрами, и даже такие, у которых движутся и цилиндры и поршни. Есть работающие на бензине, на мазуте, даже на сливочном масле.

Роторно-поршневые ДВС

Двигатель внутреннего сгорания — прямой родственник паровой машины. Он унаследовал от нее по существу всю конструкцию. Вместе с тем, он унаследовал от нее и недостатки. И сегодня двигатель внутреннего сгорания рядом своих качеств не удовлетворяет инженеров и ученых.

Вспомним о его коэффициенте полезного действия. Даже в самых совершенных конструкциях он не превосходит сорока процентов. Больше половины энергии расходуется на трение, теряется из-за несовершенства теплового процесса, уходит в атмосферу. Практически невозможно выбросить из цилиндра газы горения без остатка. Это снижает экономичность двигателя. Трудно обеспечить и полное заполнение рабочего объема цилиндра горючей смесью. Газы горения выбрасываются из цилиндра еще до того, как они отдали всю содержащуюся в них энергию. Все это и снижает коэффициент полезного действия двигателя.

Но, может быть, главным недостатком двигателя внутреннего сгорания является наличие у него кривошипно-шатунного механизма с его возвратно-поступательным движением. Мы уже говорили о том, что именно стремление отказаться от бесчисленных толчков и ударов, неизбежных при работе этого механизма, вызвало появление паровых и газовых турбин. Это же обстоя-

тельство привело и к появлению роторно-поршневого двигателя внутреннего сгорания.

Паровые турбины за полвека стали основным двигателем в большой энергетике. Газовые турбины в последнюю четверть века властно завоевывают все новые позиции. Первые конструкции роторно-поршневого двигателя появились около шестидесяти лет назад. И хотя этого времени, казалось бы, было достаточно, для того чтобы новый двигатель, теоретические преимущества которого несомненны, воплотился в практически работоспособную конструкцию, этого еще не произошло. Не произошло именно потому, что чисто конструктивное исполнение ряда его деталей оказывается чрезвычайно сложным. А ведь только в СССР, ГДР и Чехословакии в последнее десятилетие на роторно-поршневые двигатели было выдано более двухсот патентов и авторских свидетельств.

В чем же главная техническая сложность создания роторно-поршневого ДВС? В том, что «поршень» в нем движется в кольцевой камере. Поршень же паровой машины и двигателя внутреннего сгорания движется в цилиндре, и уплотнение здесь обеспечить сравнительно просто, вставив в пазы поршня упругие кольца, которые так и называют — кольца уплотнения. В изогнутом цилиндре, в кольцевой камере добиться уплотнения чрезвычайно трудно.

Чего только не предлагали изобретатели! Набирали пластинчатые уплотнения из ряда отдельных элементов, каждый из которых имел отдельную пружину. Применяли разнообразные пары сопрягающихся материалов. Использовали для уплотнения жидкость, под влиянием центробежных сил заполняющую зазор между «цилиндром» и «поршнем». Вставляли уплотняющие элементы в «поршень», переставляли их в «цилиндр». Делали «поршень» изменяющим свою форму и размер. Но достичь успеха — и то не окончательного — удалось лишь в самые последние годы. Одну из любопытных конструкций предложил польский инженер Густав Ружицкий. Еще в 1939 году он начал строить опытную модель своего двигателя, однако завершить эту работу ему удалось только в 1947 году: помешала война.

В 1960 году он построил двигатель под названием «Рогус». Вал его делал 10 тысяч оборотов в минуту и

развивал мощность в 60 лошадиных сил. Топливо в нем сгорало полностью, и газы работали до полного расширения. Двигатель работал почти бесшумно. И по коэффициенту полезного действия, и по весу на одну лошадиную силу новый двигатель значительно превосходил все существующие автомобильные моторы.

Последняя модель двигателя Ружицкого развивала мощность в 1500 лошадиных сил.

Наиболее перспективный тип роторно-поршневого двигателя сконструировал немецкий инженер Феликс Ванкель. Более 30 лет заняли поиски и эксперименты. И, наконец, в 1957 году появился первый роторно-поршневой двигатель этого изобретателя. Модель весила всего одиннадцать килограммов, но имела мощность в 45 лошадиных сил при 17 тысячах оборотов рабочего вала в минуту.

Ротор двигателя Ванкеля, вращаясь вокруг своей оси, одновременно обкатывается вокруг неподвижного зубчатого колеса. В результате внешние грани треугольного ротора совершают сложные движения по математической кривой эпитрахоиде. По этой математической кривой описана и внутренняя полость корпуса двигателя, в которой вращается ротор.

При вращении ротора его грани образуют с полостью корпуса меняющиеся по величине объемы. В них и осуществляется четырехтактный цикл сгорания. За один оборот ротора на трех его гранях осуществляется три полных четырехтактных цикла.

Двигатель Ванкеля по простоте, экономичности и надежности в работе оказался одним из самых перспективных. Американские и немецкие фирмы уже готовятся к его серийному производству.

Так или иначе роторно-поршневые двигатели внутреннего сгорания самые перспективные для техники будущего.

Паровозы вымирают

Это было лет десять назад на выставке новинок железнодорожного транспорта. Экспонировалась последняя модель паровоза. Могучий красавец с холодным котлом стоял на путях среди своих собратьев. И знакомый инженер сказал мне:

— Со странным чувством смотрю на эту машину. Испытываю такое же ощущение, как если бы мне пришлось видеть мамонтов и знать, что скоро они все до единого вымрут. И только в слоях вечной мерзлоты будут изредка встречаться их поросшие рыжими волосами огромные туши. Ведь и эти гиганты,— он указал на паровозы,— последние представители вымирающего племени. Скоро и в их железных телах погаснет огонь, они остынут, заснут и лишь немногие экземпляры уцелеют в музеях истории техники...

Это прозвучало, как реквием.

А после продолжительной паузы инженер начал подробно объяснять, почему паровозы обречены на вымирание:

— Паровозу отроду ни много ни мало почти полтора-ста лет. В самом начале прошлого века паровоз начал учиться ходить. Р. Тривитик, У. Хедли и многие другие изобретатели пытались поставить его на ноги, нередко в буквальном смысле. История знает несколько моделей паровозов, снабженных ногами. Ведь паровоз должен был заменить лошадь, а лошадь имела ноги. Поэтому и изобретатели первых паровозов пытались снабдить их несколькими парами ног. Вряд ли нужно говорить, что это нелепые устройства только мешали паровозу.

Первый, кто научил паровоз ездить, был в начале своей карьеры — погонщик лошадей, в конце — всемирно известный изобретатель Дисордж Стефенсон. Построенный им паровоз — он назвал его «Ракета» — с паровой машиной мощностью в 12 лошадиных сил — на пробных испытаниях между Манчестером и Ливерпулем в 1829 году развил скорость в 22 километра в час. «Летел, как ветер», — писали английские газеты.

В 1833—1834 годах отец и сын Черепановы — крепостные механики — построили первый русский паровоз. Он был тихоходнее «Ракеты» Стефенсона — делал всего около 14 километров в час, но исправно работал, перевозя поезда груженных рудой вагонеток.

Современный паровоз, оставшийся еще на второстепенных железнодорожных линиях, так же отличается от паровозов Стефенсона и Черепановых, как грозоотметчик Попова от современного супергетеродинного двенадцатилампового приемника. Если паровоз Черепановых тащил груз всего в 3,2 тонны, то нынешний паровоз лег-

ко тянет за собой состав весом в 3500 тонн — заметьте, рост более чем в тысячу раз. Если «Ракета» Стефенсона делала 22 километра в час, то современные экспрессы на специальных линиях развивают скорость свыше 200 километров в час — почти в 10 раз больше. Но вот еще по одному показателю, пожалуй самому главному, рост будет совсем не таким значительным. Этот показатель — экономичность.



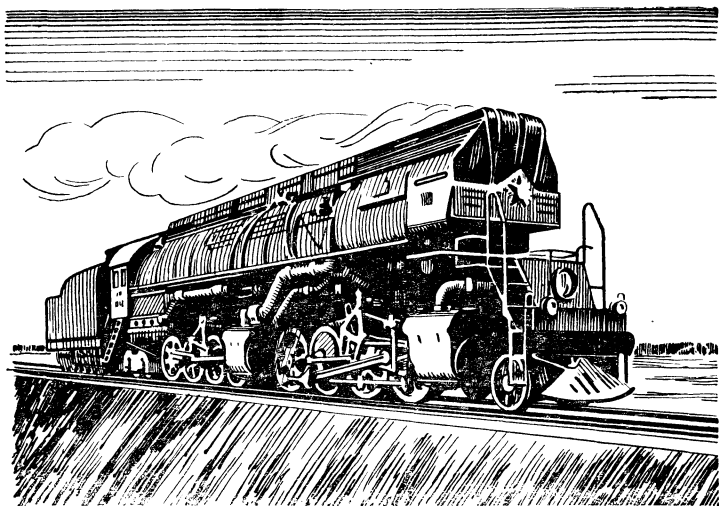
Один из первых в мире паровозов — знаменитая «Ракета» Стефенсона...

По подсчетам коэффициент полезного действия первых паровозов составлял 3—4 процента. У современного паровоза он равняется 5—6 процентам. Более чем за столетие с четвертью, несмотря на бесконечные ухищрения, ученые и инженеры не смогли поднять экономичность паровоза даже в три раза. Из каждой тонны добытого и сожженного в его топке угля паровоз 940 килограммов выбрасывает буквально на ветер.

Этим он и подписал себе смертный приговор.

У паровоза был ряд достоинств: он прост, безотказен, удобен в управлении, нас удовлетворяет его скорость, мощность, радует неприхотливость к пище, он может ра-

ботать в случае нужды и на дровах, и на низкосортном каменном угле, и на нефтяных отходах. Но нас не устраивает его расточительность, мотовство. И Директивы XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану ставят задачу: «Завершить в основном замену паровой тяги электрической и тепловозной».



... Один из последних в мире мощных паровозов — «Коломенский товарный»

Машины эти уходят с наших железнодорожных путей, хотя многие из них выпущены с заводов совсем недавно — в 1950—1951, 1952 годах. А ведь на пятьдесят лет безотказной службы рассчитали их инженеры!

— А знаете, мне все-таки не жалко паровозов, — инженер повернул ко мне взволнованное лицо, — ведь их смерть означает, что на смену им пришли еще более совершенные машины. Еще более могучие, стремительные, экономичные, не оставляющие за собой длинного облака черного дыма, из которого вам на голову сыплется недогоревший уголь, перекрывающие паровозы по всем показателям. Я имею в виду тепловозы и электровозы...

И мы перешли к другому участку выставки, где демонстрировались тепловозы.

Тепловозы

В течение ряда десятилетий двигатель внутреннего сгорания был монополистом в области безрельсового транспорта. Железная дорога была последним оплотом паровой машины — паровоза. Но двигатель внутреннего сгорания перешел в наступление и на этот последний оплот.

Появились тепловозы. Их главное преимущество — высокий коэффициент полезного действия, достигающий 28 процентов. Но это еще не все. Паровоз через каждые 80—100 километров пути должен набирать воду, тепловоз может обходиться без нее несколько тысяч километров. Через 180—200 километров паровоз обязательно возобновляет запас топлива, тепловозу его хватает на 600 километров. Паровоз ежедневно затрачивает на собственный «туалет» — заправку топливом, водой, песком, маслом — 2—2,5 часа, тепловоз — 30 минут.

После каждых 10 000 километров пробега паровоз нуждается в профилактическом ремонте, тепловоз встает на такой ремонт только через 75 000 километров пробега. И, наконец, решающий фактор — экономика, выраженная в рублях. На 10 000 тоннокилометров паровоз расходует топлива на 109 рублей, тепловоз всего на 16,6 рублей — в 6,5 раза меньше. Да и обслуживание паровоза на те же 10 000 тоннокилометров пробега обходится почти в два раза дороже.

Сухие цифры, но над ними стоит подумать. Особенно если распространить их действие на масштабы всей страны.

Ведь в 1955 году грузооборот всех наших железных дорог составил 970,9 миллиарда тоннокилометров. Произведя несложные подсчеты, можно определить, что если бы все эти грузы были перевезены не паровозами, а тепловозами страна сэкономила бы около 20 миллиардов рублей!

Сколько это новых жилых домов, школ, санаториев, заводов и фабрик!

Вот как устроен один из современных тепловозов ТЭ-3.

Снаружи — это красивый, обтекаемой формы вагон. Внутри — чрезвычайно удобная небольшая кабина машиниста с многими приборами и рукоятками управле-

ния, остальная часть вагона до предела заполнена машинами, механизмами, электроаппаратурой.

В середине его высится гигантский десятицилиндровый двигатель мощностью в 2000 лошадиных сил. Это — двухтактный дизель. У него два коленчатых вала: в каждом цилиндре движутся навстречу друг другу по два поршня. Валы соединены между собой зубчатой передачей. Двигатель вращает электрогенератор, вырабатывающий постоянный электрический ток.

Локомотив ТЭ-3 состоит из двух секций, в каждой из которых находится по такому двигателю и которыми можно управлять из одного места. Общая мощность тепловоза, таким образом, составляет 4000 лошадиных сил. Его коэффициент полезного действия равен 25 процентам.

Интересные конструкции тепловозов имеются за рубежом. Некоторые из локомотивов такого типа позволяют водить грузовые поезда со скоростью до 100—130 километров в час, а пассажирские до 130—160 километров в час.

Лет десять назад паровозостроительные заводы нашей страны перешли на выпуск тепловозов. В числе их Харьковский, Луганский, Коломенский и Брянский.

Как мы видим, поршневой двигатель внутреннего сгорания не только не собирается сдавать своих старых позиций, а скорее наоборот, — захватывает новые.

реки, приливы, волны

В сегодняшней большой энергетике основную работу выполняют двигатели двух типов: паровые турбины и турбины гидравлические. Гидроэлектростанции — их коротко называют ГЭС — вырабатывают в нашей стране примерно одну пятую часть всей электроэнергии. Мы уже говорили, что остальные четыре пятых вырабатывают тепловые электростанции — ТЭС.

Иногда задают вопрос: «Что же лучше, ТЭС или ГЭС?». Но легче задать этот вопрос, чем ответить на него.

Строительство крупной ГЭС — сооружение грандиознейшее. Это больше, чем построить город, который кстати возникает рядом с ГЭС, как один из элементов стройки. Так появились на карте Родины новые города: Братск, Новая Каховка, Волжск, Комсомольск и другие.

Строится крупная ГЭС лет пять-семь, а то и дольше. И стоит она очень дорого.

Если по этим показателям сравнивать ТЭС и ГЭС, то

ГЭС крупно проигрывают. Подсчеты показывают: для того чтобы построить ГЭС, надо вложить раза в три больше средств, труда, чем в строительство тепловой электростанции такой же мощности. Да и строить гидроэлектростанцию будут почти в два раза дольше, чем тепловую.

Правда, и гидроэлектростанция имеет свои преимущества. Вырабатываемая ею электроэнергия — очень дешевая. Ведь после того как станция построена, она работает практически почти без участия людей. Есть не очень, правда, пока еще крупные электростанции, которые работают вообще запертыми на замок. Управляет целой группой таких станций один дежурный инженер, находящийся от них на расстоянии многих километров.

Вот тут и отдай преимущество строительству тех или иных видов станций! Одни дешевле в строительстве, другие дают крайне дешевую энергию. Как же решается этот вопрос?

Каждый раз отдельно с учетом всех плюсов и минусов. При этом принимается во внимание и дальность подвоза угля, и стоимость его добычи, если речь идет о строительстве ТЭС, и ценность затопляемых водохранилищем земель, и возможность разведения в нем ценных рыб, если намечается строительство ГЭС. Разнообразнейшие проекты и решения сравниваются, и окончательный вывод делают экономисты.

В результате уже несколько десятилетий в нашем энергобалансе сохраняется примерно одно и то же соотношение производства электроэнергии тепловых и гидравлических станций — 4 : 1.

Чем будут отличаться гидростанции завтрашнего дня от тех, что работают и строятся сегодня?

В первую очередь — мощностями. И отдельных агрегатов, и в целом станций. Конечно, далеко не все новые ГЭС будут соперничать с Волжскими гигантами, но среди них окажутся и значительно большие. Встанут эти гиганты на великих реках Сибири.

Уже построена на Ангаре Братская ГЭС мощностью 4500 тысяч киловатт. Сооружаемая уже сейчас Нурекская ГЭС будет иметь мощность 2700 тысяч киловатт. Но всех мощнее окажется Красноярская ГЭС на реке Енисее. Ее мощность — 6000 тысяч киловатт!

И таких гигантов будет много. Уже намечается строительство Нижне-Обской электростанции мощностью в 6000 тысяч киловатт, Енисейской, не уступающей ей в мощности. Проектируют инженеры сооружение и Нижне-Ленской ГЭС мощностью в 20 000 тысяч киловатт. Эта электростанция сможет вырабатывать в год 100 миллиардов киловатт-часов — столько же, сколько вырабатывали все электростанции Советского Союза в 1950 году!

Конечно, и турбины этих электростанций будут подставлять им! Мощности отдельных агрегатов будут составлять 800 тысяч, а то и 1 миллион киловатт!

Вот, пожалуй, и все изменения в гидроэнергетике, которые мы можем ожидать сегодня. Что же касается основных принципов устройства ГЭС, конструкций их турбин, то они, по всей вероятности, не изменятся. Да и для чего им измениться? Ведь крупный гидроагрегат превращает в электрический ток более 95 процентов энергии проходящей сквозь него воды. О такой высокой экономичности даже и мечтать не смеют строители тепловых электростанций!

Но в этой главе мы будем говорить не только о гидроэлектростанциях, использующих энергию текущей речной приподнятой плотиной воды, а и об использовании энергии морских волн и приливов. Об обуздании энергии вод великого океана.

Энергия струй и волн

Рождаясь в небольшом болотце, маленьким ручейком изливаясь из пруда, на дне которого бьют холодные ключи, или с шумом вытекая из-под сползающего по горному ущелью ледника, начинаются обычно реки. Сливаясь друг с другом, обходя препятствия или прокладывая сквозь них свое русло, они, становясь все шире и полноводнее, текут к морям и океанам.

И в стремительных прыжках с уступа на уступ горных ручьев, и в медлительном разбеге степных рек скрыта энергия. Ее запасы, если учитывать только крупные реки нашей страны, составляют 300 миллионов киловатт — реки могут «вырабатывать» за год более 2000 миллиардов киловатт-часов электроэнергии.

Человек давно уже научился использовать энергию рек для своих целей. Крутые каменные стены сжали узкий залив океана. Внизу неумолчно бьют о скалы зеле-

ные холодные волны. Приглядевшись к выступам скал, находящимся на десятиметровой высоте над водой, можно увидеть гирлянды водорослей. Появились они здесь совсем недавно: их стебли еще не успели завясть, они еще влажны от соленой морской воды. Откуда они?

Их принес прилив. Дважды в сутки его волна, бегущая навстречу вращению Земли, заходит в этот залив, многократно усиливается и поднимает уровень воды на десятиметровую высоту. И дважды в сутки отступает волна прилива, оставляя на скалах эти зеленые косы водорослей.

Не везде так высок прилив, но общая его мощность колоссальна. По грубым подсчетам она составляет на всем земном шаре около 8 000 000 миллионов киловатт, что в сто тысяч раз превосходит мощность всех работающих гидроэлектростанций земного шара.

В использовании этого гигантского неисчерпаемого источника энергии человечество делает только первые шаги.

... А волны... Неустанно плещутся они о морской берег. Набегают, ударяются грудью о камни и отступают, гремя галькой. Час за часом, день за днем, столетье за столетьем. То грозные черно-зеленые холмы, высотой с трехэтажный дом, то легкие, небольшие, словно шаловливо играющие. Но неустанные! Сколько энергии расточают они в своем бесконечном беге и плеске!

Но еще ни единой капли энергии не получает человек от бескрайней, вечно волнующейся поверхности моря.

Самый древний двигатель

Свыше трех тысяч лет тому назад в наиболее культурных тогда странах азиатского материка — Китае, Индии, где уже получило широкое развитие орошение полей, — появились водяные двигатели. Вначале это были большие бамбуковые или деревянные колеса с широкими лопастями, в которые и ударяла быстро текущая струя воды. А к бокам колес привязывали специальные ковши или черпаки. При вращении колеса они зачерпывали воду, поднимали ее и, достигнув верхней точки, выливали в специальный желоб. Устройства такого рода и сегодня еще можно найти в некоторых странах юго-восточной Азии.

Постепенно водяное колесо совершенствовалось, находило новые применения. Древние гидротехники заметили, что нижнебойное водяное колесо работало хорошо только в быстротекущей воде. Река с медленным течением не могла повернуть его. Чтобы использовать энергию медленно текущих рек, их русла стали перегораживать плотиной, оставляя в ней узкий проход, в котором и устанавливали водяное колесо. Плотина создает разницу уровней — так называемый «подпор» воды. Благодаря этому течение в проходе убыстряется и колесо может работать.

Позднее лопасти у колеса стали делать не плоскими, а с углублениями в виде ковшей. Для таких колес строили сплошные плотины, пересекающие все русло реки. Разница уровней воды до и после плотины здесь еще больше. Вода текла через такую плотину по специальному желобу и падала в ковш колеса. Под действием тяжести воды колесо поворачивалось, подставляя под струю следующий пустой ковш. А наполненные ковши постепенно поворачивались вместе с колесом, и вода из них выливалась.

Такие водяные колеса были названы верхнебойными или верхненаливными. Они работали лучше нижнебойных, полнее использовали энергию воды. Применялись они уже не только для подъема воды, но и на мельницах, в шахтах и т. д.

Более усовершенствованным типом по сравнению с нижнебойными были и среднебойные водяные колеса. Здесь вода действует как своим весом, так и ударом в лопасти.

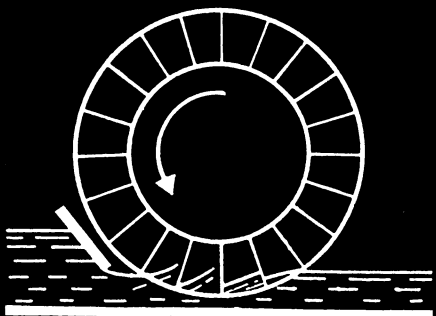
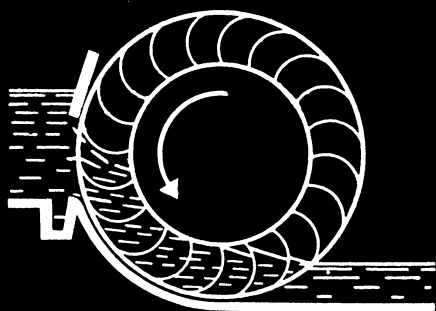
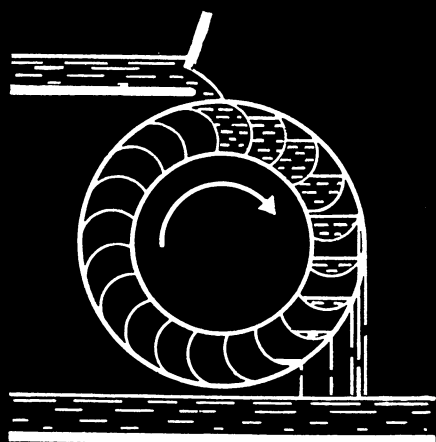
Расширялась и область распространения водяных колес по земному шару. Во времена Юлия Цезаря водяная мельница из Малой Азии перекочевала в Рим, а оттуда и в другие страны Западной Европы.

Давным-давно начали использовать водную энергию и в нашей стране. Первые сведения о наличии на Руси водяных мельниц относятся еще к XI веку.

О высокой технике гидротехнического строительства, существовавшей издавна в нашей стране, свидетельствует и попытка еще во второй четверти XVI века поставить

Различные виды водяного колеса (снизу вверх):
нижнебойное, среднебойное, верхнебойное





на службу людям энергию бурного многоводного Волхова. В новгородской летописи рассказывается о «хитреце от Псковские стороны» Невеже, задумавшем перегородить Волхов плотиной и поставить на нем мельницу. Невежа осуществил свой проект. Весной 1529 года мельница была построена и в течение нескольких месяцев отлично работала. Однако небывало высокий паводок, на который не рассчитывал строитель, прорвал плотину и разрушил мельницу.

О том, насколько дерзкой была эта попытка покорить Волхов и насколько совершенной, следовательно, была гидростроительная техника наших предков, говорит тот факт, что только через четыре столетия, в 1926 году, была, наконец, осуществлена мечта «хитреца от Псковские стороны» — построена белая стена плотины Волховской ГЭС, навсегда сковавшая непокорный Волхов.

В XVI и XVII веках вместе с перемещением на Урал основных центров русской металлургической промышленности появляются там и водяные мельницы. К этому времени уже очень широким становится диапазон выполняемых ими работ. Энергией воды приводятся в действие пилы лесопилен, песты крупорушек, меха доменных печей, молоты кузниц и т. д. Водяное колесо являлось в то время основным и, пожалуй, единственным универсальным двигателем, применявшимся буквально во всех отраслях промышленности.

Выдающимся образцом гидротехнического строительства XVIII века являются гидросиловые установки в Шарли, приводившие в действие насосы, которые питали водой фонтаны Версаля. Там работали подливные колеса диаметром в 12 метров.

Еще более удивительной была гидросиловая установка, построенная русским «водяным мастером» К. Д. Фроловым на Змеиногорском руднике в 1785—1786 годах.

Здесь в огромных подземных камерах, вырубленных в сплошном монолите скалы на глубине 25—45 метров, вода вращала гигантские водяные колеса высотой с пятиэтажный дом — 16—18 метров в диаметре! Система валов, рычагов, тяг и кривошипов приводила в действие многочисленные рудничные устройства и механизмы. Это была первая в мире подземная каскадная гидросиловая установка, уникум, равного которому не было ни в одной другой стране.



Глубоко в недрах земли, в гигантских пещерах соорудил водяных дел мастер Кузьма Фролов огромные водяные колеса. Это было чудом техники для своего времени!

Однако водяное колесо имеет много органических недостатков, которые, бесспорно, были очевидны уже и мастерам XVII—XVIII веков.

Прежде всего, водяное колесо чрезвычайно громоздкое сооружение. Мы уже говорили о восемнадцатиметровом диаметре водяных колес, созданных гением Кузьмы Фролова. Да и рядовые водяные колеса не многим уступали этим гигантам. 10—12 метров — был обычный диаметр водяных колес того времени.

Водяные колеса чрезвычайно тихоходные. Всего 4—10 оборотов в минуту делало обычное водяное колесо. Это часто не устраивало производство — приходилось делать сложную и дорогую передачу, ускоряющую движение. Регулировать число оборотов водяного колеса было трудно и неудобно.

Но, пожалуй, самым главным недостатком водяных колес была невозможность увеличения мощности. Было два способа ее повышения: увеличение диаметра колес и увеличение емкости водоналивных ковшей. И тот и другой были исчерпаны практически до предела. И все же максимальная мощность, снимаемая с одного колеса, не превышала 450 лошадиных сил. Коэффициент полезного действия водяных колес также был не очень высок: у подливных колес он вообще едва достигал 30—40 процентов, у наливных верхнебойных редко превосходил 50—60 процентов. Большое количество энергии терялось на трение осей тяжелых колес, в осях происходили большие утечки воды и т. д.

Все это ставило на повестку дня вопрос о создании нового, более совершенного гидравлического двигателя — более компактного, быстроходного, мощного, имеющего высокий коэффициент полезного действия.

Еще в XVI—XVIII веках, когда гигантские водяные колеса были единственным общепринятым двигателем промышленности, получили широкое распространение быстроходные, так называемые мутовчатые мельницы. Стремительная струя воды падала в этих мельницах на наклонные лопасти водяного колеса, насаженного на вертикальный вал. Ударяя в углубления в деревянных лопатках, вода вращала водяное колесо с большой скоростью.

Не трудно рассмотреть в этом двигателе прадеда современной активной гидравлической турбины.

Однако прошли века, прежде чем идея нашла свое окончательное конструктивное воплощение, прежде чем был создан водяной двигатель нового типа.

Первые гидравлические турбины появились в тридцатых годах прошлого века. Их изобретателями по праву могут считаться два человека: французский инженер Фурнейрон и русский крепостной изобретатель Игнатий Сафонов.

Новый двигатель появился тогда, когда в промышленности уже существовали универсальные двигатели других типов, в частности паровая машина. Гидравлическая же турбина по-прежнему заставляла заводы жаться к берегам рек. Но когда электрическая энергия стала основной формой энергии, потребляемой промышленностью, начался истинный триумф гидравлической турбины, ее новый великолепный расцвет. И сегодня имеются гидравлические турбины самых различных типов и мощностей.

Первые гидроэнергетики

Гидравлическая турбина была первым типом двигателя, который сначала был математически рассчитан и только затем воплощен в металле. Предсказал возможность создания гидравлической турбины и рассчитал ее человек, о котором, когда он умер, сказали, что он «перестал вычислять и жить».

В этом была доля правды. Хотя великий математик не гнушался и чисто практической работы — принимал экзамены у «машинных дел подмастерьев», проверял точность ювелирных весов и т. д., — главным в его жизни были расчеты. К решению любой задачи, которую ставили перед ним жизнь или наука, он подходил с точными методами математического анализа.

Имя этого ученого, академика Российской академии наук, жившего в середине XVIII века, известно сегодня всему миру — Леонард Эйлер.

Он вывел первую точную математическую формулу движения Луны и формулу зависимости скорости полета снаряда от сопротивления воздуха, он разработал теорию ахроматических линз оптических приборов и теорию трения, не утратившие своего значения и сегодня. Но невозможно перечислить все вопросы, которые его интересова-

ли и были им решены. Достаточно напомнить, что из-под его пера вышло 865 научных трудов!

Много занимался Эйлер и исследованием законов движения так называемых сплошных сред — жидкостей и газов. Он заложил первые камни фундамента важнейших наук сегодняшнего дня — гидродинамики и газодинамики.

В математических формулах, описывающих различные случаи движения жидкостей, Леонард Эйлер и рассмотрел первые приблизительные контуры гидравлического двигателя нового типа — водяной турбины. Еще не был изобретен этот двигатель, еще рудой в недрах уральских гор лежал металл, из которого отлили потом части первого такого двигателя, а ученый уже дал его математический расчет и приблизительное описание. По предложениям ученого, новый двигатель должен был состоять из вращающегося колеса с косыми лопатками и специального неподвижного устройства, направляющего на них под углом струи воды.

* * *

Однако почти столетие прошло, прежде чем сбылось изумительное предвидение Эйлера. Идею блистательно-го петербургского академика, выраженную им в стройных рядах математических формул, независимо от него воплотил в осязаемых деревянных и металлических конструкциях крепостной, «водяных дел мастер» Игнатий Сафонов. В 1837 году им была построена и пущена в ход на Алапаевском металлургическом заводе первая русская гидравлическая турбина.

Этот замечательный научный подвиг совершил талантливый уральский мастер Игнатий Егорович Сафонов почти сто тридцать лет тому назад — в 1837 году. Как и большинство русских изобретателей того времени, он творил на свой страх и риск, не имея никакой поддержки со стороны царского правительства, опираясь только на замечательный опыт многих поколений русских мастеров. Мало того, до самой своей смерти гениальный изобретатель оставался крепостным.

Родился Игнатий Егорович Сафонов в 1806 году в Алапаевске на Урале в семье крепостного мастерового Нижне-Алапаевского завода. Грамоте — «чтению и письму» — научился в Алапаевской «словесной школе».

Затем будущий изобретатель работал «слесарем учеником». Видимо, здесь и получил он те навыки обработки металлов, которые такгодились ему потом при изготовлении металлических гидравлических турбин.

Егор Сафонов — отец изобретателя — был «плотинным мастером». Это была одна из ответственных заводских профессий того времени, требовавшая очень высоких знаний, больших навыков, мастерства. Подобно своему отцу, Игнатий Сафонов скоро стал «плотинным мастером». Но узкий круг обязанностей — наблюдение за сохранностью, ремонт водяных колес и плотин — не удовлетворял его. Громоздкие, скрипучие водяные колеса, покрывавшиеся зимой толстым слоем льда, терявшие без пользы почти половину воды, которой и так не хватало на сезон заводскому пруду, казались ему очень несовершенными. И пытливый изобретатель задумался над задачей улучшения водяного двигателя.

В 1835 году идея создания гидравлического двигателя нового типа окончательно созрела, и Игнатий Сафонов предложил управлению Алапаевских заводов законченный проект устройства «горизонтального водяного колеса».

После сравнительно непродолжительной бюрократической волокиты в 1836 году разрешение на постройку турбины было дано. Изобретатель был настолько убежден в правоте своих идей, в работоспособности двигателя, что, минуя стадию строительства опытных мелких моделей, сразу же приступил к созданию турбины большой мощности для привода в движение прокатного стана.

Немалые трудности пришлось преодолеть русскому мастеру, пошедшему по никем до него не хоженному пути. Надо было создать совершенно новые по конструкции — целесообразные, работоспособные, достаточно прочные и в то же время не слишком тяжелые. Ведь математических методов расчета деталей машин тогда еще не было. Соппротивление материалов как практическая наука не существовала вовсе. Все решалось на глазок, интуицией и опытом мастера.

Новые конструкции не только надо было придумать, но и воплотить в металл. А для этого следовало разработать никогда не существовавшую до этого технологию изготовления кривых лопастей, направляющего аппарата,

рабочего колеса, вертикального металлического вала и т. п. Здесь Сафонов, подобно Ползунову, предстает перед нами и как замечательный технолог. Уже к началу 1837 года, первая в мире практически действующая водяная турбина, была построена. По свидетельству Рожкова, в 1842 году опубликовавшего в «Горном журнале» подробное ее описание, она показала в работе отличные результаты.

Турбины Игнатия Сафонова были сделаны из металла. Вода поступала в центральное пространство, проходила через лопатки направляющего аппарата и ударяла в лопасти рабочего колеса, приводя его во вращение. Число оборотов и мощность турбины регулировалась большим или меньшим пропуском воды в направляющий аппарат. Специальный цилиндрический засов мог уменьшить площади сечения входных отверстий этого аппарата.

Такой способ регулирования широко применяется для гидравлических турбин небольшой мощности и в настоящее время.

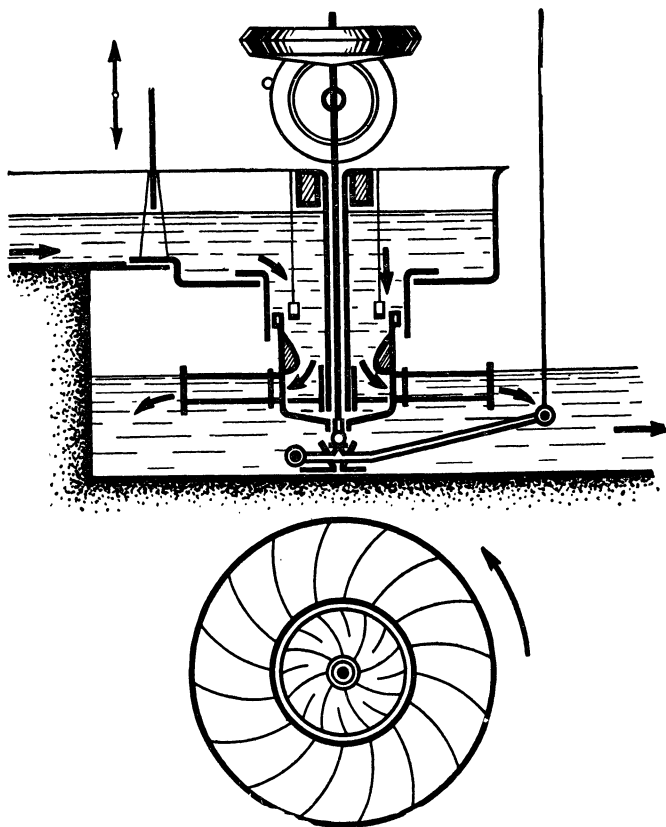
Трудно переоценить изумительную инженерную смелость Игнатия Сафонова, изменившего все современные ему конструктивные формы гидравлического двигателя, положившего вертикальное водяное колесо горизонтально, применившего принцип действия кинетической энергии струй воды через направляющий аппарат сразу на все лопасти колеса, а не на часть их. В истории техники можно найти не так уж много примеров такого смелого принципиального изменения существующих конструктивных форм.

* *
*

Одновременно с Сафоновым над созданием гидравлической турбины работал известный французский ученый Бенуа Фурнейрон. Ему удалось на три года раньше Сафонова построить практически работоспособную модель гидравлической турбины. Но, конечно, Сафонов не знал о работах француза, о которых во всей русской печати того времени появилась всего одна маловразумительная заметка.

Современников Игнатия Сафонова в России, как и современников Фурнейрона во Франции, поразили изумительные достоинства нового двигателя — его малые

размеры, высокий коэффициент полезного действия, возможность точного регулирования мощности и числа оборотов. Первая турбина Сафонова имела диаметр лишь



Турбина Фурнейрона

немногим более двух метров — в несколько раз меньше диаметра водяного колеса, которое она заменила. К тому же расход воды через нее оказался вдвое меньшим, чем через водяное колесо.

Вслед за первой водяной турбиной Сафонов строит вторую, третью. Каждая новая турбина оказывается совершеннее предыдущей. Так, если коэффициент полезного действия первой построенной им турбины был равен все-

го 53 процентам, то в более поздних его машинах он достигает 70—75 процентов.

Окрыленный успехом своей первой машины Игнатий Сафонов строит все новые и новые турбины. Вторая турбина была создана им в 1839 году на Ирбитском, третья в 1841 году на Нейво-Шайтанском заводах. Коэффициент полезного действия турбины Сафонова был значительно выше, чем у водяного колеса, достигая приблизительно 70—75 процентов. Он стремится распространить свое изобретение возможно шире, заменить им водяное колесо, упрочить энергетическую и промышленную мощь нашей Родины. И каждая новая водяная турбина Сафонова оказывается более совершенной, чем предыдущая.

Блистательным был и дебют созданных Фурнейроном гидравлических турбин в странах Западной Европы.

Так родилась гидравлическая турбина. У ее колыбели мы видим гениального петербургского академика, математика Леонарда Эйлера, французского инженера Фурнейрона и талантливую уральского изобретателя Игнатия Сафонова. А за ними длинный ряд ученых, смелых инженеров, изобретателей, совершенствовавших и доводивших ее отдельные узлы и агрегаты.

Турбины сегодня

Познакомимся с гидравлическими турбинами наших электростанций.

В каждом кубометре воды, подпертой плотиной, заключается определенное количество энергии. Это количество зависит от высоты подпора, от высоты, с которой может «упасть» вода. Представление об этих величинах могут дать такие цифры. Представим себе, что имеется гидравлическая турбина, вращающая электрогенератор. Сквозь лопасти ее рабочего колеса проходит каждую секунду один кубический метр воды. Разница уровней воды до турбины и после нее равна 12,5 метра. (Короче, турбина работает при расходе 1 кубометра воды в секунду и перепаде 12,5 метров). В этом случае энергии, вырабатываемой генератором, хватит на то, чтобы зажечь полным накалом 1000 стоваттных лампочек, или привести в движение 20 металлорежущих станков, или, наконец, обеспечить работу трех электротракторов. Само собой разумеется, что чем больше расход воды через турбину

и перепад, тем большую мощность может отдать вода, тем больше электроэнергии выработает генератор.

Гидравлические турбины самых различных конструкций и систем делятся на две большие группы: активные и реактивные. Примером активной турбины может служить ковшовая турбина, рабочее колесо которой может вращаться прямо в воздухе. В его изогнутые лопасти с силой ударяет струя воды, вылетающая с большой скоростью из специальных сопел. Скорость воде сообщается высоким давлением ее перед входом в сопла, давлением, вызываемым подпором воды. Вылетающая из сопла струя воды движется в воздухе и, значит, имеет атмосферное давление. Достигнув лопастей, она скользит по их углублениям, изменяя направление движения. При этом вода, нажимая на стенки ковшей, отдает свою энергию рабочему колесу турбины, заставляя его вращаться.

Регулирование мощности турбины осуществляется специальными иглами, вдвигаемыми внутрь сопла. При вдвигании этих игл в сопла площадь выходных отверстий сопел уменьшается, сокращается расход воды, а значит, уменьшается и мощность. Если иглы плотно войдут в сопла, истечение воды вообще прекратится, турбина остановится. При открытых до предела отверстиях сопел турбина будет развивать максимальную мощность.

Ковшовая турбина может иметь от одного до шести сопел. Такие турбины больших мощностей применяются при очень больших напорах воды перед соплами — от 250 до 1800 метров. Они являются в настоящее время единственным типом турбин, способным работать при таких высоких напорах. Поэтому ковшовые турбины обычно используются на горных реках, стремительно бегущих и падающих с крутых склонов. Расход воды в них обычно невелик, но высота, с которой они падают, огромна. Ковшовые турбины малой мощности могут работать и при значительно меньших напорах.

Однако несравненно шире распространены у нас реактивные турбины. Объясняется это тем, что большинство рек нашей страны имеет равнинный характер и на них трудно создавать большие напоры, выгодные для работы активных турбин.

В реактивных турбинах используется не только кинетическая энергия удара воды, но и реактивная сила. Турбина устроена так, что втекающая в нее сравни-

тельно медленно вода развивает в турбине большую скорость. Вытекая с лопастей рабочего колеса турбины в одну сторону, она отталкивает их в другую сторону, поворачивая рабочее колесо.

Распространенным типом реактивной турбины является радиально-осевая. Называется она так потому, что вода в ней меняет направление своего течения с радиального — по радиусам к центру — на осевое — вдоль оси. Этого типа турбины установлены на Днепровской ГЭС имени В. И. Ленина.

Рабочее колесо такой турбины находится внутри кольца, образованного направляющим аппаратом. Электрогенератор устанавливают обычно сверху, над рабочим колесом.

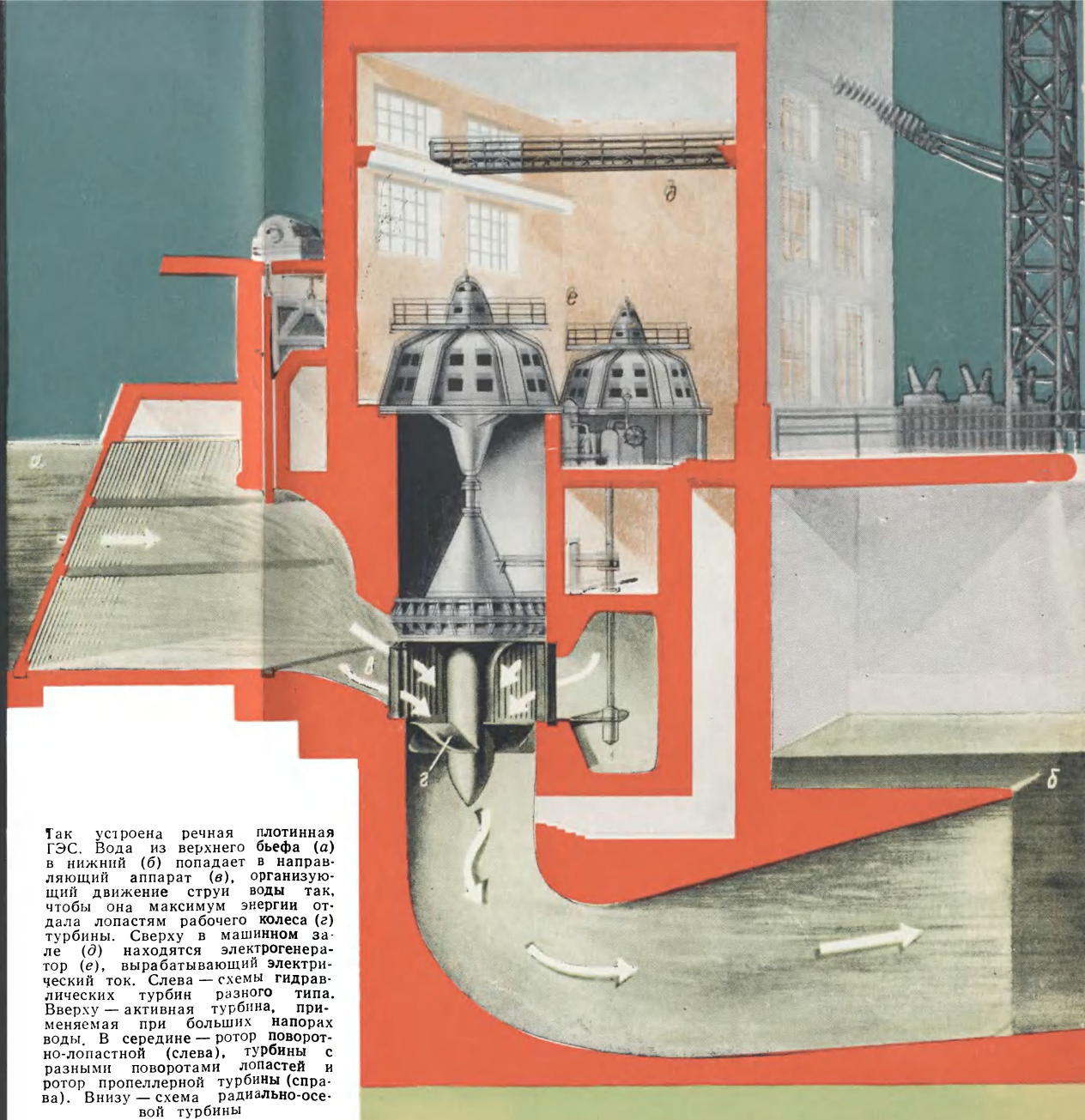
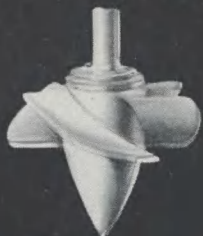
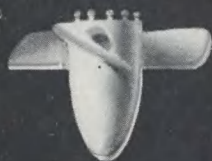
Вода поступает сначала в направляющий аппарат, который «направляет» течение струй воды на лопасти рабочего колеса. Лопатки направляющего аппарата могут поворачиваться. Таким путем регулируют количество воды, проходящей сквозь турбину, а значит, и ее мощность. При определенном положении лопаток направляющего аппарата просвет между ними закрывается полностью и турбина останавливается.

Лопастни рабочего колеса турбины имеют сложный изгиб. Этот изгиб обеспечивает плавное изменение скорости и направления течения воды между лопастями рабочего колеса. Если лопасти рабочего колеса сделаны неправильно, плавность течения струи нарушится и возникнут завихрения. На образование их станет расходоваться энергия, и коэффициент полезного действия турбины уменьшится.

На лопастях рабочего колеса происходит изменение скорости и направления течения воды в связи с отдачей энергии воды рабочему колесу турбины. «Отработавшая» вода уходит в трубу, находящуюся под рабочим колесом.

Реактивные радиально-осевые турбины хорошо работают при напорах средней величины. При больших напорах скорость вращения их рабочих колес становится слишком большой и на лопастях турбины возникает крайнее вредное явление — кавитация.

Сущность этого явления заключается в следующем. Если вода обтекает лопасти рабочего колеса слишком быстро, то давление в некоторых местах резко падает и вода «закипает» (при низком давлении вода «закипает»



при невысоких температурах). Внутри жидкости образуются крохотные пузырьки пара. Попадая в область более высоких давлений, пар мгновенно сгущается и в появившиеся пустоты с большой скоростью устремляется вода. При этом происходит местное разрушение поверхности лопастей рабочего колеса. Кавитацией разрушаются даже прочные турбинные лопасти.

Неудобно применять радиально-осевые турбины и при малых напорах воды, когда число оборотов рабочего колеса становится слишком небольшим. В этом случае — при напорах меньше 6 метров для небольших турбин и меньше 30—35 метров для очень больших турбин — пользуются пропеллерными и поворотными лопастными реактивными турбинами.

Рабочее колесо пропеллерной турбины напоминает винт судна, укрепленный на вертикальном валу. Оно состоит из толстой втулки, к которой прикреплено несколько лопастей-крыльев. Над рабочим колесом находится направляющий аппарат. Пройдя через него, вода попадает на лопасти рабочего колеса и, отдав им свою энергию, уходит. Преобразование энергии в пропеллерных турбинах и регулирование их мощности происходит так же, как в радиально-осевых.

Пропеллерные турбины быстроходны, просты и дешевы, поэтому они широко применяются на небольших колхозных ГЭС. Однако и у них есть существенный недостаток: такая турбина имеет наибольший коэффициент полезного действия только при максимальном расходе воды, т. е. когда мощность ее используется полностью. При меньших расходах воды коэффициент полезного действия пропеллерных турбин уменьшается.

Этого недостатка лишены поворотные лопастные водяные турбины реактивного действия.

Поворотная лопасть отличается от пропеллерной тем, что лопасти ее рабочего колеса не закреплены неподвижно. С помощью специального механизма, находящегося внутри втулки рабочего колеса, лопасти могут поворачиваться, причем поворачиваются они одновременно с поворотом лопаток направляющего аппарата. Таким образом, как бы ни изменилось направление и скорость потока воды, выходящего из направляющего аппарата, лопасти рабочего колеса этой турбины всегда бывают повернуты наиболее выгодным образом. Коэф-

фициент полезного действия такой турбины остается высоким при различном расходе воды.

Поворотно-лопастные турбины — самые распространенные турбины наших крупных ГЭС. Они строятся мощностью в 100 тысяч киловатт и выше. Такого типа турбины мощностью по 40 тысяч киловатт, изготовленные на Ленинградском металлическом заводе имени XXII съезда КПСС, установлены на Цимлянской ГЭС. Их рабочие колеса диаметром в 6,6 метра имеют по шесть поворотных лопастей. Вся работа таких турбин полностью автоматизирована. Это значит, что машинный зал гидростанции, в котором они установлены, может работать без людей.

Вот несколько цифр, дающих представление о крупных радиально-лопастных турбинах, установленных на гигантской Куйбышевской электростанции имени XX съезда КПСС.

Расстояние от лопастей рабочего колеса ротора до верхней точки генератора равно 20 метрам. Диаметр статора 17,5 метра. Начертите цилиндр, взяв за основу эти размеры. Получится башня высотой с восьмизэтажный дом. Такова примерная величина гидротурбинного агрегата!

Невелико, на первый взгляд, число оборотов ротора этой турбины — всего 68,3 в минуту. И, однако, линейная скорость крайних точек ротора достигает при этом числе оборотов 180 километров в час — скорости, с которой совсем недавно летали пассажирские самолеты и которая считалась просто чудом стремительности.

Вращается ротор турбоагрегата могучим водопадом волжской воды. 1800 тысяч кубических метров воды проходит через турбину за каждый час — целое озеро площадью в квадратный километр и глубиной почти в два метра!

Вместе с тем гигантский турбоагрегат чрезвычайно точная машина. При изготовлении их на Ленинградском металлическом заводе для замера диаметра статора генератора применяется штихмасс, с помощью которого можно измерять диаметры от 4500 до 8200 миллиметров с точностью до 0,1 миллиметра. А для измерения втулки ротора был изготовлен «микрометр» размером в 2700 миллиметров, позволявший производить замеры с точностью до 0,01 миллиметра.

Таковы могучие стальные «сердца» крупной современной гидроэлектростанции.

С плотинами и без плотин

Два новых автомобиля «Волга» во всем подобны друг другу. Части их взаимозаменяемы. Их невозможно отличить друг от друга.

Не так обстоит дело с электростанциями. На земном шаре нет двух электростанций во всем подобных друг другу. Это и понятно: на земном шаре нет и двух подобных рек, а каждая ГЭС строится с учетом конкретных условий своей реки. Однако существует целый ряд признаков, по которым все гидроэлектростанции могут быть отнесены к тем или иным группам. Они подразделяются по мощности — на крупные (свыше 50 тысяч киловатт), средние (от 5 до 50 тысяч киловатт), малые (до 5 тысяч киловатт); по величине напора — низконапорные (при напорах ниже 25 метров), средненапорные (от 25 до 75 метров), высоконапорные (свыше 75 метров) и т. д. Надо заметить, что все эти разделения и границы очень относительны, условны.

Гидроэлектростанции, сооружаемые на реках по схеме основных гидротехнических сооружений, можно разделить на плотинные и деривационные.

В плотинных ГЭС сосредоточение падения водопотока осуществляется посредством плотин. Здание гидроэлектростанции располагается вблизи плотины. К гидроэлектростанциям этого типа относятся Волховская ГЭС, Днепрогэс и многие другие.

Плотины таких ГЭС весьма различны по высоте, длине, материалу. Всем известна по многочисленным рисункам и фотографиям образующая пологую дугу величественная бетонная плотина Днепрогэса. Плотина запроектированной на реке Сулак (Дагестан) электростанции будет иметь высоту более 200 метров. В мировой гидротехнической практике известны и еще более высокие бетонные плотины.

Однако обычно из железобетона сооружается только наиболее ответственная часть — водосливная часть плотины. Большая же часть делается из земли. Земляные плотины достигают в некоторых случаях высоты в несколько десятков метров и длины в несколько километров. «Комбинированные» — частично железобетонные,

частично земляные — плотины имеют, например, волжские ГЭС.

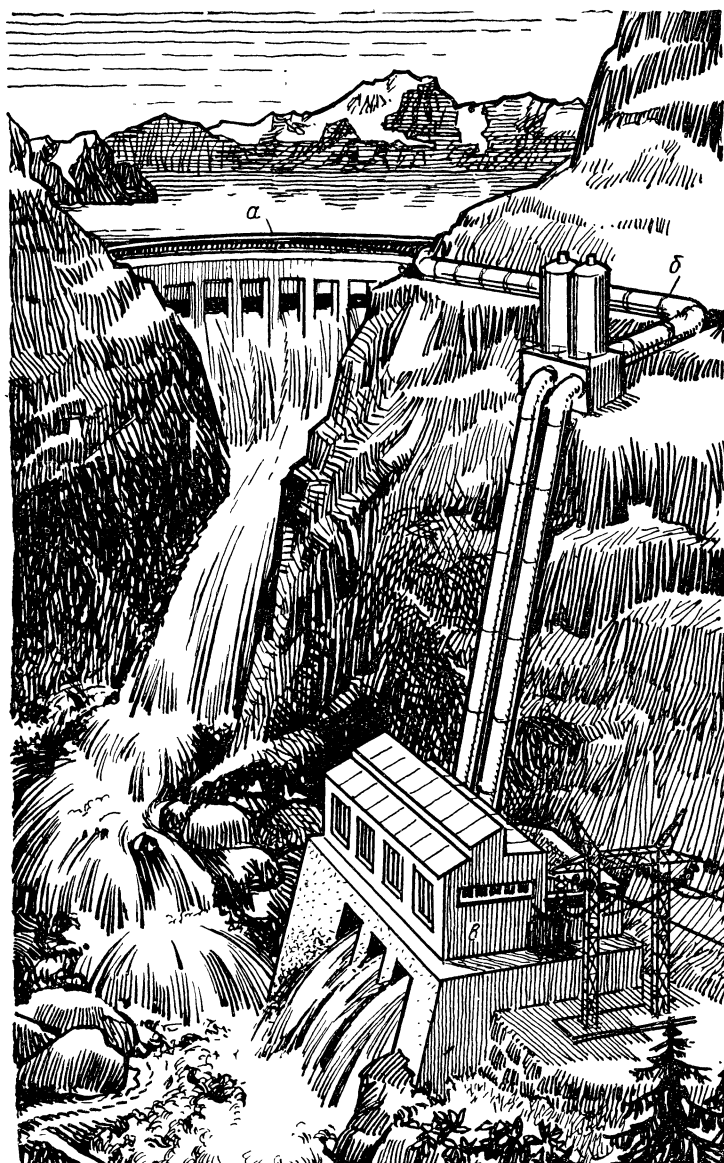
Для того чтобы уменьшить величину железобетонной части плотины, советские инженеры разработали типы так называемых совмещенных ГЭС. У таких ГЭС водосбросные сооружения для сброса избыточных вод размещаются в зданиях ГЭС рядом с турбинами. Разработаны также проекты ГЭС, у которых гидроагрегаты размещены в самом теле железобетонной плотины.

В деривационных ГЭС большая часть напора создается при помощи обводных водоводов. Эти водоводы идут приблизительно параллельно руслу реки, причем уклон их значительно меньше уклона реки. Плотина, которая перекрывает русло реки у входа в деривационный канал или туннель, имеет обычно небольшую высоту и служит в основном не для создания напора, а для того чтобы направить воду в деривационные водоводы.

У конца деривационных водоводов сооружается здание гидроэлектростанции. К гидроэлектростанциям этого типа относятся Криванская, Рионская, Ферхадская и другие ГЭС. Они сооружаются обычно на горных стремительных реках, имеющих большой уклон и напор воды. Так, у одной из запроектированных деривационных ГЭС напор достигает 1650 метров. Плотинные ГЭС, наоборот, обычно сооружаются на равнинных реках, где уклон русла небольшой.

Интересным примером деривационной ГЭС является Канадская электростанция, использующая энергию Ниагарского водопада. Пусковая ее мощность составляет 1070 тысяч киловатт. Вода для работы турбин этой электростанции забирается в 3,5 километрах выше водопада, проводится по двум подземным пятнадцатиметрового диаметра туннелям на глубине 100 метров под канадским городом Найагара Фоллс и открытому каналу двадцатиметровой глубины, из которого вода поступает в двенадцать трубопроводов, подающих ее к турбинам. Высота падения воды равна 78,5 метрам, мощность каждой турбины — 73 600 киловатт.

Деривационная ГЭС. Плотина (а) закрыла воде возможность течь по старому руслу и вода устремилась по трубам (б) в турбины электростанций (в). Плотина у электростанций этого типа не имеет задачи поднять уровень воды, как это бывает у электростанций плотинного типа



Однако, помимо энергетического значения, Ниагарский водопад интересен и как прекрасное и удивительное явление природы. Упрятав его в трубы, канадцы и американцы лишились бы потока туристов, едущих туда со всех концов мира. Поэтому было принято решение: во время туристского сезона с 8 до 2 часов дня электростанция практически выключается. Действует водопад. Зато в остальное время «выключается водопад».

В свободной струе

Плотина — самая дорогая часть гидроэлектростанции. Сооружение ее возможно только силами мощных организаций. Даже колхоз-миллионер не всегда может решиться на такое строительство.

Между тем, плотина вовсе не обязательная часть гидроэлектростанции. Небольшие ГЭС, мощности которых будет, однако, достаточно для электрификации школы или колхоза, могут обходиться и без плотины. Единственное условие для сооружения такой ГЭС — наличие реки со скоростью течения воды не меньше 1,5—2 метров в секунду.

Пригодными для таких электростанций типами двигателей считались до последнего времени гидротортор и горизонтальная пропеллерная турбина. Гидротортор представляет собой цилиндр со сдвинутыми стенками, располагаемый перпендикулярно к направлению течения воды. Вода, проходя сложный путь между стенками гидротортора, вращает его. Коэффициент полезного действия этого двигателя не превышает 18 процентов.

Значительно больше — раза в 3—4 — этот коэффициент у горизонтальной пропеллерной турбины, расположенной внутри поставленного горизонтально диффузора. Однако и тот и другой тип гидравлического двигателя не нашли распространения в бесплотинных ГЭС. Это и понятно.

Заполняющий своими лопастями большую площадь сечения потока гидротортор, однако, позволяет полезно использовать лишь незначительную часть его мощности. А имеющая высокую экономичность пропеллерная турбина захватывает слишком небольшое сечение потока. В случае же увеличения диаметра ее рабочего колеса, она становится громоздкой, неудобной.

Большой энтузиаст бесплотинной энергетики, смелый ученый, Б. Б. Кажинский предложил новый тип гидравлического двигателя, соединяющего в себе достоинство обоих вышеописанных устройств и лишенный их недостатков. Это гидродвигатель с рабочим колесом в форме «архимедова винта».

Возьмите обыкновенный шуруп покрупнее, чтобы была отчетливо видна его нарезка. Поверните его так, чтобы витки нарезки с одной стороны винта образовали сплошную стенку. Это будет при некотором наклоне оси

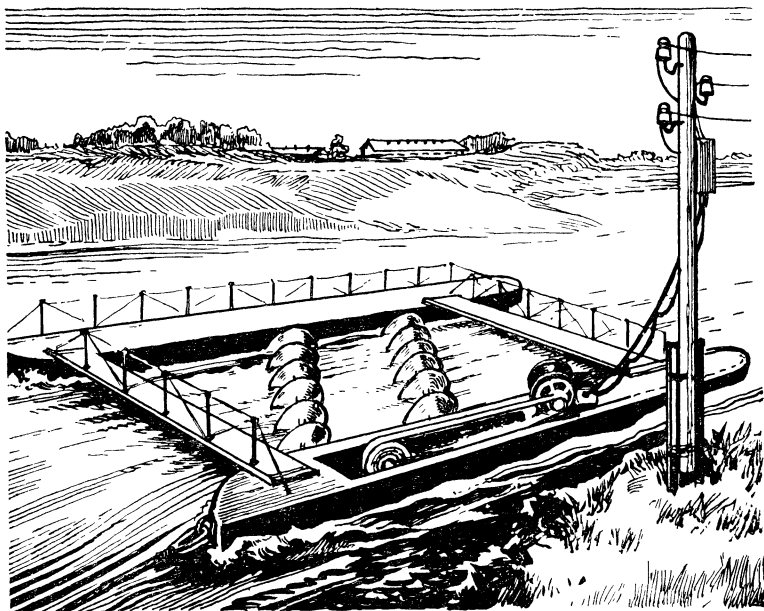


Схема плавучей электростанции Б. Б. Кажинского

винта к линии вашего взгляда. Под таким же углом поставлен к потоку «архимедов винт» нового гидродвигателя. Этой «стенкой» витков он и опущен в воду.

Гидродвигатель нового типа заслоняет своим сечением большую площадь потока, как и гидроротор, и имеет коэффициент полезного действия, приближающийся к КПД горизонтальной пропеллерной турбины.

По сделанному Б. Б. Кажинским расчету гидродвига-

тель нового типа, расположенный на реке со скоростью течения воды 2 метра в секунду и имеющий мощность порядка 50—60 киловатт, должен иметь «архимедов винт» диаметром в 3 и длиной в 25 метров.

При конструктивном оформлении такой станции целесообразно разделить «винт» на две части — в 11 и 14 метров — и расположить их друг за другом в одной раме.

Бесплотинная ГЭС Б. Б. Кажинского может работать и в зимних условиях, для этого ее надо покрыть тепляком, а воздух под ним подогревать небольшими электронагревателями, потребляющими энергию той же ГЭС.

Интересен гидродвигатель бесплотинной станции, предложенный в 1955 году изобретателем М. И. Логиным.

Его гидросиловая установка представляет собой деревянный понтон, закрепленный на якорях и канатах в русле реки. Лопатки двигателя закрепляются на длинных тросах, концы которых соединены с мотылевыми подшипниками коленчатого вала. Эти лопатки все одновременно на каждой тяге погружаются в воду, перемещаются под ее давлением и все одновременно извлекаются из воды. Пока извлеченные из воды лопатки движутся в обратном направлении, рабочее движение под водой совершают лопатки другой тяги. Всего таких тяг на двигателе должно быть не менее трех.

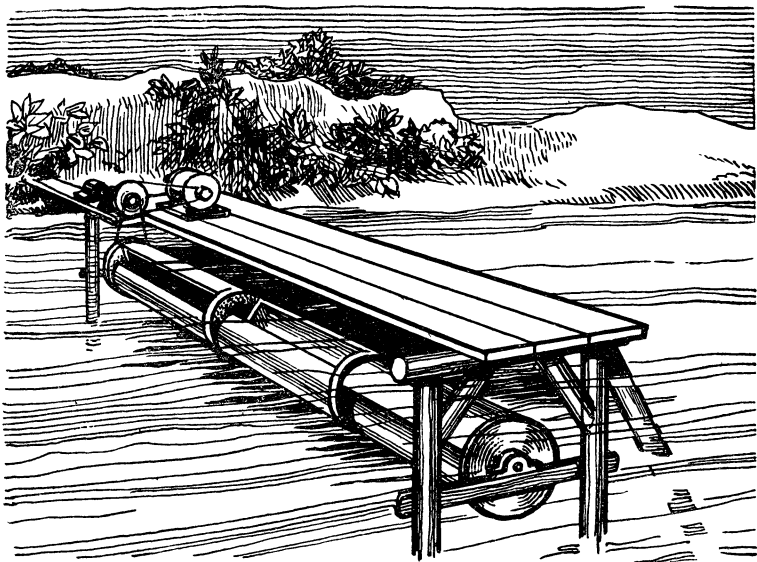
Бесплотинные гидроэлектростанции М. И. Логина построены и дают ток.

Однако, по-видимому, наиболее перспективны бесплотинные электростанции, предложенные инженером Б. С. Блиновым.

...Сначала это был воздушный змей. Он обладал своеобразными качествами и поэтому им интересовался известный самолетостроитель академик Юрьев, под руководством которого работал в те годы Блинов. Однако всю отработку его конструкции провел Блинов самостоятельно и даже получил авторское свидетельство.

Однажды, совершенно неожиданно, значительно позже того как последний из змеев покинул лабораторию, Блинову пришла в голову идея. А что, если опустить этот змей в воду? Ведь вода и воздух — с точки зрения газодинамики — очень сходные среды. И сходны по принципу действия многие механизмы, предназначенные для работы в этих средах: винт судна и пропеллер самолета, вентилятор и пропеллерный насос и т. д.

Начались опыты... Из консервных банок, из жести он смастерил странные цилиндрические устройства. Были они очень разные: узкие и длинные, наоборот, — приземистые и широкие, всяких соотношений. Вставив в раму, протаскивал их в наполненной водой ванне. Цилиндрики — их называли вингроторами — вращались током воды.



Роторная ГЭС. Что ж, осветить палатку геологов она вполне способна

Да, это был оригинальный тип турбины. Первое впечатление: больших перспектив от нее ждать нечего. Во-первых, существующие типы турбин имеют коэффициент полезного действия выше 90 процентов — с ними тягаться трудно. Во-вторых, трудно себе представить мощную турбину вингроторного типа: с тонкими стенками, огромную по величине. В самом лучшем случае удел вингроторов — карликовые мощности...

Так решили сам Блинов и его помощники по лаборатории. И цель поставили себе создать маломощную переносную гидроэлектростанцию для геологов.

Выглядела эта электростанция в первом варианте

очень просто. Жестяная банка вингродора опускается с рамой прямо с берега в поток воды. Гибкий валик передает вращение вингродора находящемуся на суше электрогенератору... Вся установка такой походной электростанции занимает несколько минут. И в палатках геологов вспыхивает пара электрических лампочек.

Гибкий валик... Может быть, с него-то все и началось! А почему бы не соединить несколько виногродоров гибким валиком, почему не нанизать их на стальной трос, который растянуть на всю ширину потока? Тут мощность можно снять уже не в несколько десятков ватт, а целые киловатты! Да и десятки киловатт, пожалуй, не предел для такого типа гидростанции.

Так был побежден главный недостаток вингродора — малая мощность. Эта победа и была по существу изобретением, ибо вингродоры как тип гидравлической турбины существовали и до Блинова.

На выставке достижений народного хозяйства СССР в Москве показана работа гирляндной электростанции Блинова. Как эта ГЭС отлична от всех других гидроэлектростанций.

Она не требует никаких подготовительных работ для своей установки. Ей не нужна ни плотина, ни водохранилище, ни турбинное здание. Просто с обеих сторон потока воды — реки, крупного ручья — закрепляются концы стального троса и гроздь виногродоров погружается в воду, к самому дну потока.

Она не мешает судоходству. Ей не страшен ни ледоход, ни сплав леса.

Знаете ли вы, сколько стоит киловатт установленной мощности крупной гидроэлектростанции обычного типа? В среднем более 150 рублей. А маленькой сельской до 1500 рублей.

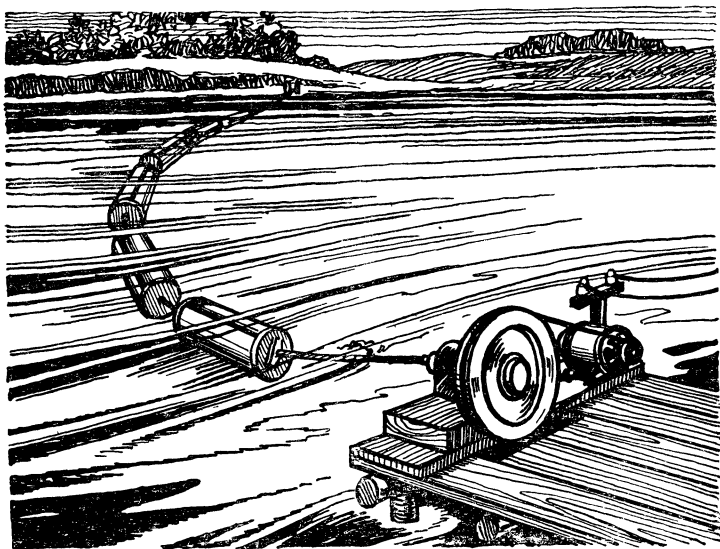
А киловатт мощности гирляндной электростанции обходится не более 35 рублей!

Гирляндная электростанция по существу не нуждается в обслуживании. При работе виногродоры самоустанавливаются на некотором расстоянии от дна, так что повредить себя ударами о камни они не могут.

Гирляндные электростанции можно изготовить на заводах с применением совершеннейшей техники. Но главное — их можно сделать и в школьной мастерской или колхозной кузнице. Единственная покупная деталь в этом

случае — электрогенератор. Но их выпуск у нас налажен широко, стоят они недорого...

По существу с рождением блиновских гирляндных ГЭС каждый колхоз, каждая деревня, если только они расположены на берегу подходящей речки, могут в течение не-



А это — вингаторная электростанция Б. С. Блинова. Гирлянда роторов при работе сама устанавливается на небольшом расстоянии от дна потока, так что не мешает проходу над ней судов

скольких дней при минимальных затратах средств и труда полностью себя электрифицировать.

...Когда Блинов показывал мне поблескивающие цинком звенья гирлянд, я подумал, что в руках своих этот широкоплечий человек держит энергию нескольких, а может быть, и нескольких десятков гигантских Волгоградских ГЭС!

Уже немало таких сверкающих гирлянд крутятся в струях рек Карелии, Сибири, Камчатки и Алтая, рождая электрический ток и для колхозного молокозавода, и для походной лаборатории геологов, и просто для бытовых нужд наших людей. Они появились и за рубежом, в ев-

ропейских и азиатских странах. И будет их все больше и больше...

Автоматы управляют

В нашей стране немало гидроэлектростанций, работающих без людей. Наблюдение за правильностью работы механизмов на таких станциях производится с центрального пульта, на который автоматические устройства сообщают все необходимые сведения о работе сразу нескольких станций. Только изредка появляются на таких гидроэлектростанциях люди, чтобы проверить машины, провести их профилактический ремонт и снова запереть станцию на замок.

Автоматическое регулирование турбин, в общих чертах, осуществляется следующим образом.

Представим себе, что значительно снизилось потребление электрической энергии, вырабатываемой гидроэлектростанцией. Это сразу же вызовет увеличение числа оборотов ротора гидроагрегата, состоящего из рабочего колеса водяной турбины, вращающейся части электродвигателя и связывающего их вала. Ускорение вращения ротора произойдет потому, что количество воды, проходящей через рабочее колесо водяной турбины, не изменилось, а сопротивление вращению ротора уменьшилось вместе с уменьшением потребления электрического тока. Избыток «водной» энергии и расходуется на увеличение числа оборотов ротора.

Увеличение числа оборотов ротора вызывает увеличение числа оборотов специального центробежного регулятора, вращаемого электродвигателем.

Как только число оборотов вала центробежного регулятора увеличится, грузы расходятся и поворачивают через ряд промежуточных механизмов лопатки направляющего аппарата таким образом, что пропуск воды через турбину уменьшается. Специальные устройства поворачивают при этом в поворотно-лопастных турбинах и лопасти рабочего колеса.

Как только пропуск воды через турбину падает, падает и число оборотов ротора гидрогенератора, а значит, и центробежного маятника. Грузы маятника опускаются до нормального положения.

Если, наоборот, потребление электрической энергии, вырабатываемой гидроэлектростанцией, возрастет и

грузы регулятора опустятся, то та же цепь автоматического регулирования сработает так, что лопатки направляющего аппарата раскроются шире.

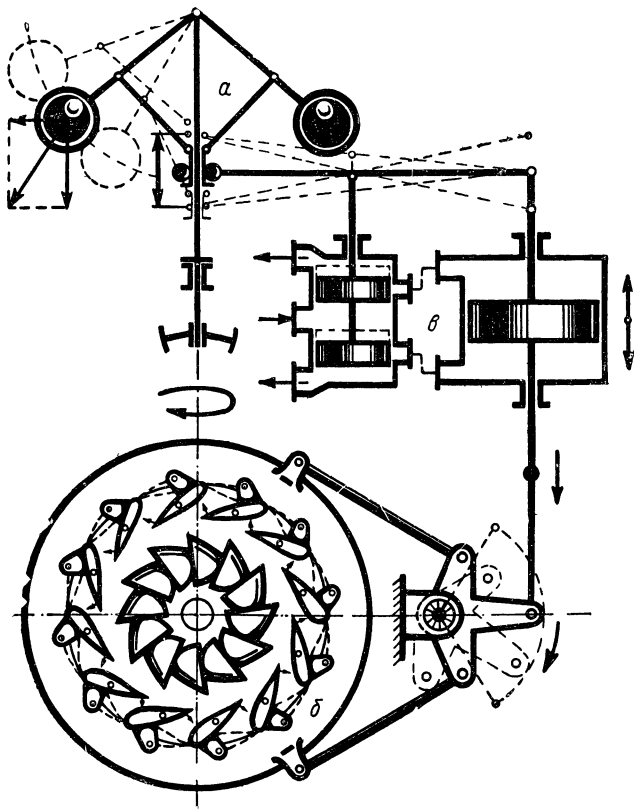


Схема регулирования поворота лопаток направляющего аппарата. Датчиком служит центробежный регулятор (а), изобретенный еще Джеймсом Уаттом. Однако усилие разбегающихся от центробежных сил шаров было бы недостаточно, для того чтобы, преодолевая потоки воды, повернуть лопатки направляющего аппарата (б). Поэтому между регулятором и направляющим аппаратом включен довольно сложно устроенный гидравлический механизм (в), увеличивающий и передающий усилие центробежного регулятора

Конечно, принцип регулирования здесь дан в самых общих чертах. Система автоматического регулирования,

да и сам гидроагрегат, значительно сложнее. Кроме того, он включает многочисленные вспомогательные устройства, обеспечивающие смазку, контроль, регулирование, ремонт всего агрегата и его отдельных узлов.

В 1940 году была автоматизирована работа лишь весьма незначительной части гидроэлектростанции (0,2 процента). Теперь автоматы работают практически на всех гидроэлектростанциях страны.

О том, как важно для экономии человеческого труда их внедрение, убедительно говорит следующий пример. Пущенная в 1932 году самая крупная в то время в Европе Днепровская ГЭС, построенная по последнему слову техники, не была автоматизирована. И обслуживало ее 230 человек. Это, впрочем, немного, учитывая громадные размеры электростанции.

...Прогрохотали взрывы, взбрасывая фонтаны воды, глыбы камня и бетона. Взорванная руками ее же создателей, не пожелавших отдать станции фашистским захватчикам, казалось, навсегда умерла Днепровская ГЭС. Обнажились пороги, о которых пели в песнях, рассказывали в легендах и которые прикрывала поднятая плотиной вода.

Кончилась война, и еще прекраснее возродилась из руин гидроэлектростанция на Днестре. В машинном зале встали в ряд еще более мощные и совершенные агрегаты и механизмы. Станцию автоматизировали. И сегодня всю рабочую смену этой ГЭС составляют шесть человек.

Автоматическая ГЭС по существу не требует вмешательства человека в свою работу. Только в исключительных, большей частью аварийных, случаях должен прийти он на помощь машинам. Скучна бывает работа дежурных на такой станции: им часто нечего делать.

Освободить людей от этого «нужного ничегонеделания» позволяют телемеханические устройства, которые дают возможность следить за работой агрегатов электростанций и управлять ими, находясь на значительном расстоянии от самой электростанции. Так управление полностью автоматизированными агрегатами Угличской и Рыбинской ГЭС осуществляется из Москвы на расстоянии в 200 километров. В Узбекистане есть гидроэлектростанции, управление которыми осуществляется на расстоянии 170 километров.

Взлет советской энергетики

Многие изобретения, позволившие человеку начать широкое использование гидравлической энергии для получения электрического тока, сделали русские изобретатели. И. Е. Сафонов изобрел гидравлическую турбину, В. В. Петров открыл электрическую дугу и предсказал возможность ее применения для металлургии и освещения, Ф. А. Пироцкий впервые передал электрическую энергию на расстояние до километра, Б. С. Якоби создал первый электродвигатель. Лодыгин и Яблочков практически применили электричество для освещения. Славянов и Бенардос для электросварки, Шиллинг и Попов для связи. Усыгин изобрел трансформатор, без которого невозможна передача электрической энергии на дальние расстояния.

И все-таки царская Россия, обладавшая колоссальными запасами гидравлической энергии, по использованию их стояла на одном из последних мест в мире. В 1912 году мощность всех электростанций царской России была в 20 раз меньше мощности электростанций США и в 3,5 раза меньше мощности электростанций Германии. К 1917 году в России было всего только семь небольших гидростанций, самые крупные из которых — на реке Мургаб в Туркмении и на реке Сатка на Урале — имели мощности всего по 1200 киловатт. А общая мощность всех гидросиловых установок дореволюционной России едва достигала 100 000 лошадиных сил, причем две трети этой мощности принадлежали по-прежнему водяным колесам.

Коренной перелом произошел только после Октябрьской революции. Уже в апреле 1918 года в указаниях о направлении основных работ Академии Наук Владимир Ильич Ленин призвал ученых направить внимание «на электрификацию промышленности и транспорта и применение электричества к земледелию».

А в декабре 1920 года на VIII Всероссийском Съезде Советов уже был принят знаменитый план ГОЭЛРО, названный В. И. Лениным второй программой нашей партии. Этот план предусматривал, в частности, строительство в течение ближайших 10—15 лет 10 гидроэлектростанций. Мощность гидроэлектростанций, строительство которых было намечено планом ГОЭЛРО, должна была составить 640 тысяч киловатт.

План ГОЭЛРО был выполнен досрочно.

В годы первой и второй пятилеток развернулось строительство первых мощных гидроэлектростанций. Перед Великой Отечественной войной общая мощность всех действующих гидроэлектростанций Советского Союза достигла уже 1 600 000 киловатт. В дни Великой Отечественной войны строительство не прекращалось. В послевоенные годы оно развернулось еще шире.

В 1965 году всеми электростанциями Советского Союза уже было произведено огромное количество электрической энергии — 507 миллиардов киловатт-часов; электростанции давали каждые восемь часов столько электрической энергии, сколько ее было произведено у нас за весь 1920 год!

Луна в рабочей упряжке

Многие, конечно, помнят изумительную картину бушующего океана, нарисованную пером Виктора Гюго в «Тружениках моря» — картину, родственную гордой и мятежной душе художника. Вот несколько строк из этой книги — описание прилива, с которым должен вступить в единоборство Жильят:

«Пройдет несколько часов, и возрастающий прилив, взбухая, ринется в дуврскую теснину и возьмет ее с боя. Уже шумели первые волны. Вслед за бурлящим валом, посланцем Атлантического океана, будто собирались хлынуть сюда все его воды. Ни шквала, ни урагана, просто могучая волна, в ней движущая сила, волна, отхлынувшая от берегов Америки и одним броском в две тысячи лье докатившаяся до Европы. Эта волна — исполинский рычаг океана — натолкнулась бы на разверстый зев рифа и прижатая к Дуврам, к двум сторожевым башням, двум столбам ущелья, вздуваясь от прилива, вздуваясь от препятствия, отбрасываемая утесом, подхлестываемая ветром, насильно овладела бы рифом и, преодолев преграду, вся в водоворотах, с бешенством скованной стихии ворвалась бы в ущелье между двух стен...»

«Дыханием океана» называют приливную волну, дважды в сутки с точностью часового механизма обтекающую вокруг земного шара навстречу его вращению.

По расчетам, максимальная величина прилива долж на иметь в открытом океане около 0,77 метра. Однако в открытом океане на глубоком месте измерить такое колебание уровня его поверхности практически невозможно. Поэтому величину прилива — расстояние от наинизшего положения воды до самого высокого ее уровня — измеряют вблизи островов. Расположенные в открытом океане одинокие скалы не очень искажают величину и форму приливной волны. Измеренная на острове Святой Елены в Атлантическом океане величина прилива оказалась равной 1,1 метра, на Гавайских островах в Тихом океане — 1 метру, на Маскаренских островах Индийского океана — 0,8 метра.

Приближаясь к берегу, в зависимости от его очертаний и рельефа дна приливная волна нередко вырастает в десятки раз. В Магеллановом проливе она достигает 13,5 метров, в Ла-Манше — 12,3 метра, в Бристольском заливе (Англия) превышает 14 метров. На нашем Дальнем Востоке, в одном из заливов Охотского моря — губе Пенжинской — приливы достигают 12,3 метра.

Волны прилива врываются в устья впадающих в океаны рек и нередко пробегают по их руслам сотни километров. «Идет бар», — говорят в таких случаях жители прибрежных мест и спешат укрепить челноки в безопасных местах. И, действительно, по руслу со скоростью летящей во весь опор лошади движется двухметровой высоты зеленая стена воды с ключьями белой пены на гребне. Грохот и шум сопровождают ее.

Энергия приливов и отливов — один из немногих видов энергии, не обязанных своим происхождением теплу солнечных лучей. Подъем волны вызывается силой тяготения Луны и Солнца. Эта сила в каждой точке океана в шесть миллионов раз меньше силы тяжести, но суммированная по всей его поверхности составляет колоссальную величину. Из 0,77 метра теоретической величины прилива 0,53 сантиметра вызывается влиянием Луны и 0,24 сантиметра влиянием Солнца.

Энергия приливов — возобновляемый вид энергии. Она не иссякнет, по крайней мере, до тех пор, пока не замедлится заторможенное бегущей навстречу волной прилива вращение Земли и она не станет всегда повернутой к Луне одной стороной.

Глядя, как клокочет и пенится, расплескивается о

гранитные стены каскадами брызг и свивается водоворотами, стремительно поднимаясь, подступившая к берегу материка волна океанского прилива, энергетик думает о миллиардах киловатт-часов энергии, которые растрчивает природа на это эффектное зрелище.

8 000 000 миллионов киловатт — такова мощность приливной волны на земном шаре. Она более чем в сто тысяч раз превосходит мощность всех гидроэлектростанций земного шара.

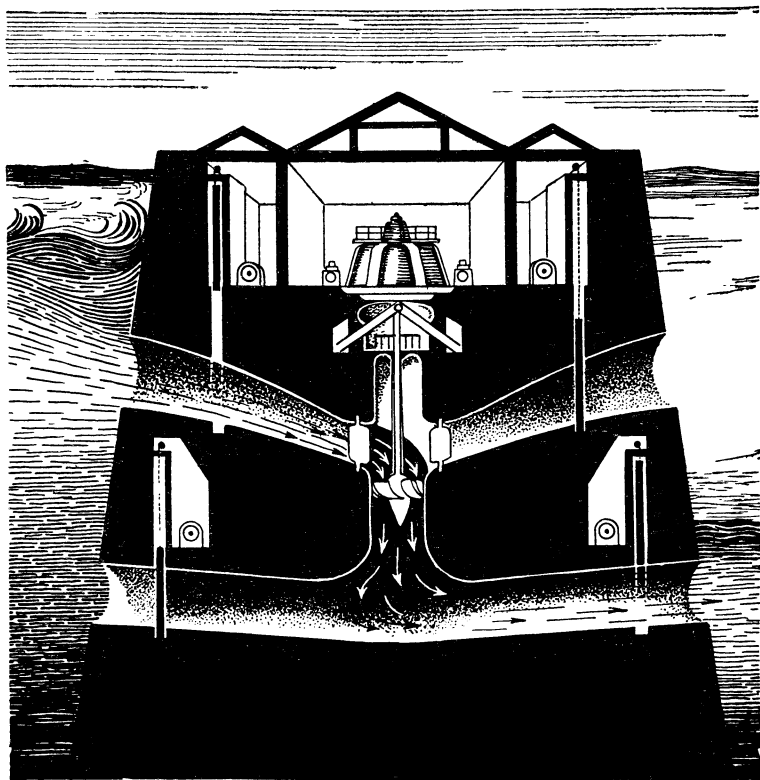
Энергетические ресурсы приливов у берегов нашей страны составляют 72 миллиарда киловатт-часов в год.

Конечно, не может быть и речи о том, чтобы надеяться использовать всю энергию приливов: она слишком раздроблена по всем океанам. В этом отношении ее принято сравнивать с золотом, растворенным в морской воде: общее количество его огромно, но невозможно перекачать через цеха фабрики всю воду океанов. И точно также невозможно представить себе устройства для улавливания этой энергии, охватывающие две трети поверхности нашей планеты, покрытые зыбким зеркалом океана. Но там, где энергия приливной волны концентрируется условиями побережья и рельефом морского дна, как стекло линзы концентрирует параллельный луч света, — в таких местах, как залив Фэнди на восточном берегу Северной Америки, где прилив достигает рекордной на земном шаре величины — 18 метров, как наша губа Пенжинская или побережье Ла-Манша — могут быть построены электростанции огромной мощности.

Надо сразу же сказать: идея эта не нова. Мысли использовать энергию приливов для работы мельниц высказывались еще в XI веке. Были попытки и практического претворения этой мысли. В Англии, в Будбридже, работает древнее колесо, вращающее четыре мельничных жернова. Устройство этой гидроэнергетической установки очень просто, даже примитивно, но все позднейшие проекты по существу повторяют ее принцип. Во время прилива вода заполняет бассейн, во время отлива, вытекая, она вращает колесо. Мощность этого колеса всего около 12 лошадиных сил, продолжительность работы не более 6 часов в сутки.

Современные проекты гидросиловых установок, использующих силу прилива, отличаются в первую очередь тем, что в них используются обе фазы — и прилив и от-

лив. Во время прилива вода проходит сквозь турбины в бассейн, вращая их роторы, во время отлива — из бассейна в море, вращая те же турбины!



Приливная электростанция. Вряд ли целесообразно рассказывать, в какие периоды открываются те или иные затворы — в этом можно разобраться без труда. В современных приливных электростанциях турбогенератор устанавливают в горизонтальных капсулах. Впрочем, может быть и это техническое решение не будет окончательным

Однако и эта схема неизбежно должна иметь периоды, когда оба уровня находятся в равновесии и выработка энергии станцией прекращается. Чтобы избежать этих «мертвых» периодов, предлагается сооружать целую се-

рию бассейнов с разными уровнями воды, включать в систему насосные установки и т. д.

По одной из таких непрерывно действующих схем построена гидростанция в устье Сены во Франции. Она состоит всего из двух бассейнов, причем оба имеют возможность сообщаться с морем. Турбина установлена в плотине, разделяющей бассейны. В момент прилива вода впускается в один из бассейнов — назовем его верхним — и двери в него закрываются. Набранная вода перетекает, приводя во вращение ротор турбины, в нижний бассейн, ворота которого открываются во время отлива. Отработавшая вода выбрасывается в море и ворота снова закрываются. Во время прилива снова открываются впускные ворота первого бассейна и цикл снова повторяется.

Небольшие гидросиловые установки, работающие по разным схемам, сооружались в разные годы второй четверти нашего века в Германии, Англии, Аргентине, США. Однако расчеты показывают, что только очень крупная установка сможет давать достаточно дешевую энергию.

В настоящее время дает ток приливная электростанция мощностью в 342 тысячи киловатт во Франции, в бухте реки Ранс.

Устье реки перегорожено плотиной длиной в 725 метров, высотой в 15 метров и шириной у основания в 48 метров. Максимальная величина прилива достигает здесь 13 метров. В этой плотине вмонтированы турбины мощностью по 7 тысяч киловатт и все вспомогательные механизмы. Годовая производительность этой станции составляет 800 миллионов киловатт-часов.

На Французской промышленной выставке в Москве несколько лет назад демонстрировалась одна из турбин этой электростанции — пропеллерного типа с горизонтально расположенной осью двигателя. Именно такие турбины целесообразны при малых перепадах воды до и после турбины.

Разработаны проекты приливо-отливных электростанций в бухте Мон Сен-Мишель и в других пунктах французского побережья. Началось сооружение приливной электростанции мощностью в 2 миллиона киловатт в США.

Проектируются такие станции и на некоторых побережьях нашей страны.

Первая приливная электростанция в нашей стране будет построена на Кольском полуострове. Ее мощность не превысит 1000 киловатт. По предварительным планам, года через два, она уже должна будет дать промышленный ток. В ближайшие десятилетия вероятно сооружение и еще одной электростанции там же, на Кольском полуострове, в районе наиболее мощных приливов, достигающих высоты в 7 метров. Мощность ее составит уже 400 тысяч киловатт, а за год она сможет вырабатывать до 1 миллиарда киловатт-часов. Плотина этой станции проектируется длиной более 4 километров.

Инженер Бернштейн составил ряд интересных проектов приливных станций и для других пунктов побережья нашей страны. Самый интересный и грандиознейший из них может быть осуществлен в Белом море. По этому проекту надлежит перегородить плотиной длиной более 100 километров весь Мезенский залив. Мощность электростанции, которая может быть здесь сооружена, должна составить 25 миллионов киловатт.

Конечно, сооружение этой станции, главным образом ее гигантской плотины, дело не простое. Но и оно рано или поздно окажется по силам советскому народу.

Конечно, все это только начало. Использование энергии приливов и отливов — энергии постоянно возобновляемой — дело более отдаленного будущего. Оно станет по настоящему успешным только тогда, когда будут открыты принципиально новые методы получения энергии приливов и отливов, отличные от тех, которые применяются для использования энергии рек, а ведь именно эти методы, лишь слегка модернизированные, и переносятся сегодня из речных плотин в плотины приливо-отливных гидроэлектростанций.

Удары прибоя

Если бы мы попытались собрать все, что написано поэтами от Гомера и до наших дней о волнах, «умирающих в песке», «грохочущих камнями», «бьющихся о гранитные скалы» и т. д. и т. п., получилась бы библиотека не в одну сотню томов. Немалое внимание уделяли волнующейся поверхности морей и океанов и художники. Бесчисленные картины под названиями «Прибой», «Море в бурю», «Гибель судна», «Девятый вал» и т. д. можно

увидеть в любом музее. Среди художников есть даже целая группа специалистов по изображению волн — так называемые маринисты. Не раз вдохновлял говор волн, шум прибоя и композиторов. Вспомним хотя бы дивное «Итальянское каприччио» Чайковского.

К сожалению, значительно позже заинтересовались волнами энергетики. И значительно меньше они интересуются ими сегодня.

А жаль. Ибо энергия волн поистине безгранична! Она неисчерпаема, как неисчерпаем океан.

В мелководных замкнутых со всех сторон сушей морях, таких как наше Балтийское, волны редко бывают выше 4—5 метров. Но зато в открытом океане, особенно в Южном полушарии, где водяное кольцо охватывает весь земной шар и волнам есть где разгуляться, а западные ветры дуют и дуют не меняя направления, не редкость волны и в 12—18 метров высотой. Это целые гряды изумрудно-зеленых и синих холмов, бегущих вперед и вперед, словно в тщетном порыве догнать друг друга.

Колоссальная энергия волн проявляется в прибое. Водяные глыбы бегут на берег и бьются о его скалы. «Морские камешки» — обточенные, гладкие, похожие на обмылки, — плоды работы прибоя. Обрушенные в море глыбы скал, перемолотые в мелкий песок пляжей, — это тоже работа прибоя.

Но ведь это сделано волнами за века и тысячелетия. А в такие промежутки времени и капля камень точит.

Этого, конечно, не скажут видевшие сильный прибой, когда волны одна за другой бегут на берег. Все круче и круче становится их наклон и вдруг, словно ринувшись головой вперед, обрушиваются они на береговую скалу. И вы чувствуете, как под ногами после каждого удара колеблется земля. А белые фейерверки брызг взлетают на десятки метров.

Отмечены случаи, когда удары прибоя подбрасывали на десятки метров вверх многотонные глыбы. На Шотландских островах находят обломки гнейсовых скал весом до 13 тонн, заброшенных прибоем на высоту до 20 метров. В Бильбао, в Испании, прибой перевернул бетонную глыбу весом в 1700 тонн.

Такова энергия волн.

И все же она практически совершенно не использует-

ся. Те немногие маломощные установки, которые в настоящее время существуют в ряде стран, не имеют никакого промышленного значения.

Использовать энергию волн мешают два обстоятельства!

Первое состоит в том, что этот источник энергии крайне непостоянен. Сегодня рычит и грохочет море, швыряет один за другим зыбкие холмы волн, словно тараном ударяя в несокрушимую стену берега. Казалось бы, не угмонится оно. Никогда. А назавтра только легкая зыбь рябит его ровную сверкающую серебром поверхность. Через день или через месяц вскипит оно снова и снова покроется бегущими синими рядами волн? Жди у моря «погоды»!

Но ведь есть побережья, где волны бушуют почти всегда, где почти никогда не бывает спокойным море. А, кроме того, если включить «волновые ГЭС» в общую энергосеть, в периоды затишья их могли бы компенсировать другие типы электростанций. И их работа могла бы быть рентабельной. Так что первое обстоятельство нельзя считать решающим.

Значительно важнее второе обстоятельство: современная техника не знает устройств, с помощью которых можно было бы достаточно легко, полно и экономично превращать энергию волн в электрический ток. Еще не изобретен «волновой гидрогенератор». А существующие на сегодня предложения не выходят за пределы самых первых идей, приходящих в голову инженеру, который в течение рабочего дня посидит над листом ватмана.

Так, есть предложение использовать для этой цели поднимающиеся и опускающиеся поплавки, движение которых передается насосам, накачивающим воду в расположенные на возвышенностях водохранилища, вытекающая из которых она и будет приводить турбины в действие. Другие предлагают установить раскачивающиеся буи и энергию их качания также тягами передавать на берег. Видимо, целесообразно применить заякоренные поплавки с «эластичными» стенками или поршнями, вдавливаемыми внутрь набегающей волной и выдвигаемых вновь пружиной с генератором, работающим от этих движений поршней.

Совершенно на ином принципе основаны так называемые «таранные волновые станции».



Может быть, примерно так будет выглядеть электростанция, использующая энергию прилива. Волны, ударяя в концентраторы энергии, будут взбрасывать струи воды в водохранилище, а оттуда обратно в море она будет проходить через роторы турбины

Они представляют собой широкие диффузоры, открытые навстречу ударам прибоя, постепенно сужающиеся и переходящие в тонкую и длинную трубу. При ударе волны часть ее попадает во внутренний сужающийся участок диффузора и приобретает значительную скорость, которой оказывается достаточно, чтобы вода взлетела по трубе на значительную высоту и излилась в расположенный там бассейн. Принцип действия этого устройства в значительной мере подобен действию водяного тарана, служит оно, как и водяной таран, для накачивания воды в расположенные выше бассейны. А уже выливаясь из этих бассейнов вода и приведет в действие обычные водяные турбины.

Этот проект интереснее и разработаннее всех других, но...

...Обыкновенный столовый нож является отличным, хорошо зарекомендовавшим себя орудием для резания хлеба, мяса, пирогов и прочих вкусных вещей, которыми мы питаемся. Но нелепо выглядел бы человек, который взял бы столовый нож и, установив его в державку токарного станка, пытался им резать железо. Каждому ясно, что для этой цели нужен принципиально другой инструмент, хотя речь идет о процессе «резания».

Вероятно так же нелепо, как сегодня столовый нож в токарном станке, будет выглядеть, с точки зрения техники завтрашнего дня, эта попытка приспособить гидравлическую турбину, только потому, что она хорошо зарекомендовала себя как гидравлический двигатель речных электростанций, к электростанциям приливным и волновым.

Не при ее помощи будут решены эти задачи. Не при помощи столового ножа точим мы сегодня металл на токарных станках.

Резец уже открыт, многократно усовершенствован. Принцип устройства электростанций, использующих энергию волн и приливов, может быть, еще даже неизвестен.

Надо искать его!

атом-топливо электростанций

Чем выше поднимался человек по лестнице прогресса, тем все более мощных помощников находил он.

Вначале он научился использовать силу животных. Но много ли лошадей можно запрячь в одну повозку? Да и зачем их запрягать много? Они будут попросту мешать друг другу. Наверное, русская тройка — самое оптимальное соединение в единый «двигатель» этих животных.

Затем пришел на помощь ветер. Могучую силу тайфуна, урагана и сегодня человек еще не умеет заставить работать на себя. Во все времена в крыльях мельниц и парусов работали воздушные потоки весьма и весьма средней силы.

Человек научился сжигать дрова. Их теплотворная способность 2450 калорий на килограмм. Энергетик скажет: «Топливо низкой калорийности».

Человек стал использовать энергию рек. Но гигантская мощность наших сибирских ГЭС объясняется в пер-

вую очередь гигантской величиной водяных потоков. А емкость энергии, скажем, в одном литре воды очень невелика: при перепаде уровней в 20 метров — всего 20 килограммометров! Пустяк! Ведь только одна килокалория равноценна 537 килограммометрам.

Пришла пора ископаемых топлив. Первые паровые машины потребляли каменный уголь. В килограмме каменного угля содержится 7000 килокалорий энергии.

Позже наступило время нефти. Это уже более энергоемкое топливо: при сжигании килограмма нефти выделяется 11 000 килокалорий.

Весь путь — от мускульной силы животных к нефти и газу — был медленным восхождением. И вот человечество готовится совершить и уже совершает гигантский прыжок.

Оно овладевает энергией урана.

Один килограмм урана содержит 22 300 000 киловатт-часов энергии!

Оно овладевает энергией термоядерного синтеза.

Один килограмм «водородного топлива» содержит 177 500 000 киловатт-часов.

Поговорим об электростанциях нового типа — урановых и термоядерных.

Они зажгли зарю атомной эры

Начало новой эры в энергетике запротokolировано в отчете Парижской Академии Наук за 24 февраля 1896 года.

Вот эти записи.

«Заседание 24 февраля 1896 года. Сообщение Анри Беккереля «Об излучении, возникающем при фосфоресценции»: «Фотографическую bromo-серебряную пластинку Люмьера обертывают двумя листами очень плотной черной бумаги... На положенный сверху лист бумаги накладывают какое-либо фосфоресцирующее вещество (бисульфат урана и калия), а затем все это выставляют на несколько часов на солнце.

При проявлении фотопластинки на черном фоне появляется силуэт фосфоресцирующего вещества.

Если между фосфоресцирующим веществом и бумагой поместить монету или узорный металлический экран, то на пластинке появится силуэт этих предметов».

В научной точности описания, в ненужной, на наш сегодняшний взгляд, детализации опыта — дыхание времени, атмосфера лаборатории, волнение ученого, еще не осмыслившего новое явление и только дающего его точную характеристику.

Следующее сообщение Анри Беккерель сделал 2 марта этого же года: «Лучи, испускаемые этим веществом, ...проникают не только сквозь черную бумагу, но и сквозь различные металлы, например пластинку алюминия или лист меди толщиной приблизительно 0,1 мм».

Сообщение 3 марта «Невидимые лучи, испускаемые солями урана, имеют способность разряжать тела, обладающие электрическим зарядом».

Интересно, что с 3 по 7 марта, то есть по истечении 72 часов, интенсивность излучения, происходящего в темноте, не изменилась сколько-либо заметно».

Через 2 года в отчете заседания 12 апреля 1898 года зафиксировано первое сообщение Марии Склодовской-Кюри, относящееся к радиоактивности: «Я изучала открытое Беккерелем явление изменения проводимости воздуха под действием лучей урана и пыталась выяснить, могут ли какие-нибудь другие вещества, помимо производных урана, сообщить воздуху способность проводить электричество... Активность окиси тория превосходит даже активность металлического урана».

Дальнейшие работы супруги Кюри ведут вдвоем. Из отчета о заседании 18 июля 1898 года: «Мы стремились выделить это вещество из урановой смоляной руды... Мы полагаем, что вещество, выделенное из окиси урана, содержит неизвестный до сих пор металл, близкий по своим свойствам к висмуту... Мы предлагаем назвать его полонием в честь родины одного из нас». И, наконец, заседание 26 декабря 1898 года:

«Во время наших исследований мы встретились с еще одним весьма сильным радиоактивным веществом, по своим химическим свойствам резко отличающимся от полония...

Демаркей подверг наше новое вещество спектральному анализу и обнаружил линию, не свойственную ни одному известному элементу. Интенсивность этой линии возрастала по мере возрастания радиоактивности хлористых соединений, обогащающихся этим веществом, которое мы предлагаем назвать радием».

Такова краткая протокольная запись этих первых открытий. Кончается XIX и начинается XX век. Что рассказать об этих людях, первыми вступивших в область неизвестного? Они целиком отдавали себя науке.

Антуан Анри Беккерель родился в 1852 году. Он был третий в славной династии физиков, носящих эту фамилию, династии, продолжающейся и по сегодня профессором Жаном Беккерелем, сыном Анри Беккереля, умершего в 1908 году. Непременный секретарь Парижской Академии Наук, профессор Политехнической школы, Анри Беккерель занимался исследованиями в оптике, магнетизме, фотохимии, электрохимии, метеорологии, фосфоресценции. Уже один этот перечень наук, в которых Анри Беккерель оставил заметный след, характеризует широту его научных интересов.

Пьер Кюри в 1880 году, когда ему шел всего двадцать первый год, открыл пьезоэлектрические явления. Он много занимался исследованием законов намагничивания, позже, вместе с женой работал над исследованиями радиоактивности. Трагический случай в 1906 году оборвал его жизнь в самом расцвете. Он умер в тот момент, когда, наконец, начали сбываться мечты, открылась возможность работать в хорошо оборудованных лабораториях. Ни слава, ни деньги, ни карьера не волновали его душу. Когда ему, уже всемирно известному ученому, предложили орден Почетного легиона — высшую награду Франции, — он ответил: «Соблаговолите передать господину Министру мою благодарность и уведомить его, что у меня нет никакой потребности в ордене, но большая нужда в лаборатории».

Всю жизнь он прожил в нужде. Но разговор с женой о том, запатентовать или нет открытый ими способ получения радия (а этот патент мог принести миллионы), занял не более десяти минут. Патент не был взят. Все открытое им принадлежало не ему — человечеству.

Мария Склодовская-Кюри родилась в Варшаве в 1867 году. Еще с детских лет началась ее трудовая жизнь гувернантки, домашней учительницы. Чуть не половину заработанных денег посылала она сестре, учившейся в Париже. Затем годы голодной, в самом прямом смысле студенческой, жизни во Франции. (В России получить высшее образование женщина тогда практически не могла). Обмороки от голодного истощения. Затем трудная,

но прекрасная жизнь ученого — друга и соратника Пьера Кюри. Нетопленный сарай с протекающей крышей. тонны руды, из которых удалось получить долю грамма радия. Руки в ожогах лучами радия, о губительной силе которых тогда ничего не знали. Затем годы всемирной славы и годы неустанного непрерывного труда.

И смерть от болезни, которую только теперь смогли бы определить врачи и которую только значительно позже называли лучевой.

Как и Пьер Кюри, Мария Склодовская-Кюри отказалась от ордена Почетного легиона.

Когда погиб Пьер Кюри, она отклонила предложенную пенсию. Но она приняла кафедру в Сорбонне, приняла как наследство из рук мужа. Она была первой женщиной, допущенной во Франции к должности профессора.

Она была первой женщиной, получившей высшую награду для ученых — Нобелевскую премию. Вторую присужденную ей Нобелевскую премию вместе со всеми золотыми медалями она отдала во время первой мировой войны в фонд помощи раненым. Всемирная слава не принесла ей богатства. У нее, открывшей промышленный способ получения радия, на котором другие заработали миллионы, в течение многих лет затаенной сердечной мечтой было иметь хотя бы один грамм этого металла. Нет, не для себя, а для научных работ. И когда женщины Америки подарили ей этот грамм, она тотчас же завещала его институту.

Завещание это было написано в тот же самый день, когда в торжественной обстановке она взяла в руки красиво украшенный ларец, символизирующий бесценный подарок. «Откладывать нельзя, а вдруг что-нибудь случится», — сказала она.

Таковы были эти люди, открывшие новую эру.

Надежды и опасения человечества

Энергия расщепляющегося атома.

С ней связаны великие надежды и великие опасения человечества. Судьбы народов земного шара во многом зависят от того, куда будет направлена эта могучая сила — на дело созидания и жизни или для целей смерти и разрушения.

Если эту могучую силу разумно применить для мир-

ных целей, вся земля может стать сплошным цветущим садом, раем для всего человечества. Применяя эту могучую силу, люди смогут переделывать природу в масштабах целой планеты: сносить горные хребты и менять направления океанских течений, реконструировать климат целых материков и воздвигать искусственные острова.

Если она, вопреки усилиям народов, будет применена для черных дел войны и разрушения, трудно предвидеть, какой ущерб может нанести это мировой цивилизации Материки, которые могли бы быть садом, могут стать пустынями, самый воздух Земли станет гибельным для всего живого.

Герберт Уэллс как-то заметил, что сегодняшние дни, может быть, самые трагичные и самые страшные во всей истории: наука достигла такого развития, когда в руках одного человека может оказаться возможность уничтожить весь мир, а отставшее в своем развитии сознание еще не достигло того уровня, чтобы существовала уверенность, что эта возможность в каких-то случаях не будет использована.

Но мы верим в светлое будущее человечества. Мы верим, что в великой борьбе сил мира и сил войны победит мир. Что светлую зарю века атомной энергетики, а не всеистребляющий атомный пожар зажигают над миром величайшие победы сегодняшней науки.

Мы верим и боремся! За мир во всем мире!

Сверхгорючее

Всего тридцать лет назад уран считался почти бесполезным металлом. Добывали его руду главным образом для извлечения содержащегося там радия. Совсем иначе обстоит дело сегодня. Уран стал одним из драгоценнейших металлов. Его месторождения по всему земному шару ищут так же напряженно и страстно, как в прошлом веке искали в Клондайке золотые россыпи.

Уран не только взрывчатое вещество ядерных бомб. Уран, кроме того, первоклассное горючее для электростанций нового типа. Как концентрат энергии — мы только что отметили это — уран не имеет себе равных среди ископаемых топлив органического происхождения. Судите сами — современная тепловая электростанция мощностью в 600 тысяч киловатт сжигает в сутки пять эше-

лонов каменного угля. А электростанция такой же мощности, работающая на атомном горючем, потребует в год всего около одной тонны урана.

Исходя из этого ученые предсказывают на ближайшие десятилетия бурный и стремительный расцвет атомной энергетики. И действительно, атомная энергетика входит в жизнь уверенными шагами.

Летом 1954 года вступила в строй первая в мире атомная электростанция Академии Наук СССР. Через два—три года после этого заработали атомные электростанции в Англии, Франции, США. А в 1959 году дала промышленный ток крупная советская атомная электростанция. Ее первая действующая очередь имела мощность в 100 тысяч киловатт.

Сегодня уже во многих странах работают атомные электростанции. В нашей стране они строятся главным образом в тех местах, где нет близко расположенных залежей каменного угля, нефти или газа и невозможно по каким-либо причинам строительство гидроэлектростанций. Ведь атомные электростанции не нуждаются в непрерывном подвозе огромных количеств топлива.

Опыт эксплуатации первых атомных электростанций показал, что чем мощнее атомная электростанция, тем выше ее экономические показатели. И уже на первом этапе развития атомной энергетики, при строительстве опытно-промышленных электростанций, отдается предпочтение мощным блокам и системам. Такой была запроектирована Нововоронежская АЭС, такова и Белоярская АЭС на Урале, первый блок которой пущен в 1964 году (сейчас сооружается второй).

Советские ученые разрабатывают и другое перспективное направление атомной энергетики — создание небольших, транспортабельных атомных электростанций. Ведь одно из главных преимуществ атомной энергии — небольшое количество потребляемого топлива. Это преимущество становится решающим, когда встает вопрос о снабжении электроэнергией отдаленных, труднодоступных районов.

Советские ученые уже создали и испытали такие электростанции. Одна из них — атомная электростанция с органическим теплоносителем «Арбус». Перенос тепла из атомного реактора вместо воды осуществляет здесь чистый газойль. Он характерен тем, что не приобретает

радиоактивности под влиянием облучения в атомном реакторе. Благодаря этому сразу же несравненно более легкой, компактной становится вся электростанция. Бетонные стены биологической защиты остаются только у самого реактора. И весит такая электростанция мощностью в 750 киловатт всего 360 тонн.

Транспортабельная атомная электростанция ТЭС-3 смонтирована на четырех транспортерах. Ее мощность 1500 киловатт. Расход топлива в сутки всего 14 граммов.

Чрезвычайно перспективно использование атомной энергии для решения проблемы получения пресной воды, которая сегодня стоит перед многими странами, в том числе и перед промышленно развитыми.

Это чрезвычайно важная проблема. Ее экономическое значение огромно. Ведь во многих районах и нашей страны развитие промышленности, сельского хозяйства тормозится из-за недостатка пресной воды. Вспомним Донбасс. Пресной воды здесь остро не хватает. И одновременно инженеры не знают, куда девать огромное количество засоленной воды — около 600 миллионов кубометров в год, — которую насосы откачивают из шахт. Обсуждается вопрос о строительстве двух каналов: одного для подачи пресной воды из Днепра, другого для сброса засоленных вод в Сиваш. Стоимость только первого канала составит около 250 миллионов рублей.

Вспомните полуостров Мангышлак на восточном берегу Каспийского моря. Недра его богаты нефтью, но там совершенно нет воды. Был предложен проект подачи на этот полуостров пресной воды по трубопроводу, проложенному по дну Каспийского моря. Стоимость его составит свыше 200 миллионов рублей. А между тем, здесь же имеется неограниченное количество соленой воды. Вот только два примера, когда в нашей стране строится вопрос об опреснении воды. Таких примеров можно привести значительно больше.

Ученые предложили использовать для опреснения воды атомные электростанции. Расчеты показывают, что атомная электростанция мощностью в 510 тысяч киловатт сможет параллельно обеспечить работу опреснительной установки производительностью в 180 тысяч кубометров воды в сутки. Вода получается достаточно дешевой — 2—3 копейки за кубометр. И стоит такая электростанция вместе с опреснительной установкой бу-

дет 150—160 миллионов рублей. Две такие электростанции смогут с успехом заменить на Мангышлаке проектируемый трубопровод. Пресная вода, полученная на них, будет раза в два-три дешевле, чем подаваемая по трубопроводу. Учитывая все эти выгоды, нельзя не прийти к решению о целесообразности строительства на Мангышлаке атомных электростанций с опреснительными установками.

Перед крупными атомными опреснителями открывается великолепное будущее. Расчеты показывают, что с ростом мощности установок улучшается их экономичность. При тепловой мощности в 10—20 тысяч мегаватт пресная вода оказывается столь дешевой, что может быть использована для орошения.

Особенно большие преимущества имеет ядерное горючее в транспорте. Вспомните, какие огромные помещения в трюмах пароходов приходится занимать под склады угля. А первый в мире атомный ледокол «Ленин» совсем не имеет помещений для запасов горючего. Того, что находится в его атомном реакторе, хватает ему на целый год плавания.

Так почему же не строятся повсеместно атомные электростанции? Почему сооружаются до сих пор громоздкие тепловые и гидроэлектростанции?

Решающими оказываются соображения чисто экономического характера.

В настоящее время строительство атомной электростанции обходится дороже, чем даже гидроэлектростанции. А вырабатываемая атомными электростанциями энергия дороже, чем электроэнергия, отпускаемая тепловыми электростанциями.

Причин этому несколько. Главная — еще недостаточно отработана технология производства атомного горючего. Дорог еще и уран, специально подготовленный для «сжигания» в атомном реакторе. Недостаточно совершенны и конструкции реакторов, в которых происходит это «сгорание».

Но это все временно. Первые килограммы алюминия стоили баснословно дорого. Из этого металла делали украшения, ценившиеся выше золотых. Тридцать лет назад титан — стремительно дешевеющий сейчас металл — был почти недоступен для практического применения. Дешевеет и горючее для ядерных электростанций.

Недаром записано в Программе Коммунистической партии Советского Союза: «По мере удешевления производства атомной энергии развернется строительство атомных электростанций, особенно в районах с недостатком других источников энергии...».

Экскурсия на АЭС

Ну а как же устроена и работает атомная электростанция?

Есть несколько схем ее работы, точнее — есть несколько типов реакторов атомных электростанций. Мы познакомимся с одним.

...Мы стоим в круглом зале атомной электростанции. Под полом, выложенным чугунными плитами, находится ее сердце — атомный реактор. Он окружен толстым слоем бетона, поглощающим губительные излучения радиоактивного металла. Конечно, мы не сможем увидеть этот гигантский стальной баллон, похожий на баллон для хранения сжатого газа. Только схему его, чертеж, повешенный на стене, могут показать нам инженеры, сопровождающие нас.

В центре этого баллона, в так называемой активной зоне, помещаются выделяющие тепло урановые стержни. Ядерные реакции, идущие непрерывно в их телах, — источники тепла.

Представим себе, что в наших руках оказался фантастической силы микроскоп, сквозь который можно видеть даже элементарные частицы. «Положим» на его предметный столик атом урана. Вспомните в ядро — переплетение нейтронов и протонов, связанных внутриядерными силами. Ядро окружено туманными облачками, создаваемыми стремительно движущимися электронами.

Вот в поле зрения нашего микроскопа появился стремительно летящий нейтрон. Он пронизывает туманные облачка электронов и ударяет в ядро урана. Какую-то долю мгновения оно колеблется, вытягивается, приобретает грушеобразную форму и вдруг разрывается. Сверкает рожденная в разрыве искра гамма-лучей. Две половинки ядра отделяются друг от друга на расстояние, на котором внутриядерные силы уже не действуют, но зато действуют могучие электрические силы оттал-

кивания. Разрывая электронные оболочки, увлекая за собой облачка электронов, с чудовищными скоростями разлетаются в разные стороны осколки бывшего ядра урана...

А наперегонки с крупными осколками летят мелкие — два или три нейтрона. Летят, чтобы попасть в ядра соседних атомов урана и вызвать их взрыв. После этого уже не два, а четыре нейтрона ринутся в разные стороны, после следующего взрыва — восемь, шестнадцать, затем — тридцать два и т. д. Количество взрывающихся ядер урана растет, как растет снежная лавина, низвергающаяся с горной вершины. Такой ход реакции и называется лавинообразным, цепным.

...Конечно, все это происходит настолько быстро, что ни в какой микроскоп рассмотреть эту реакцию невозможно. Надо было бы еще изобрести специальный механизм, который замедлил бы весь ход процесса в миллионы раз. Но ни такого микроскопа, ни замедлителя нет. А о том, как это происходит, ученые догадались по косвенным данным...

Итак, в разные стороны разлетаются с огромной скоростью новорожденные атомные ядра. Они сталкиваются с другими ядрами и частицами, передают им часть своей энергии, а сами замедляют движение.

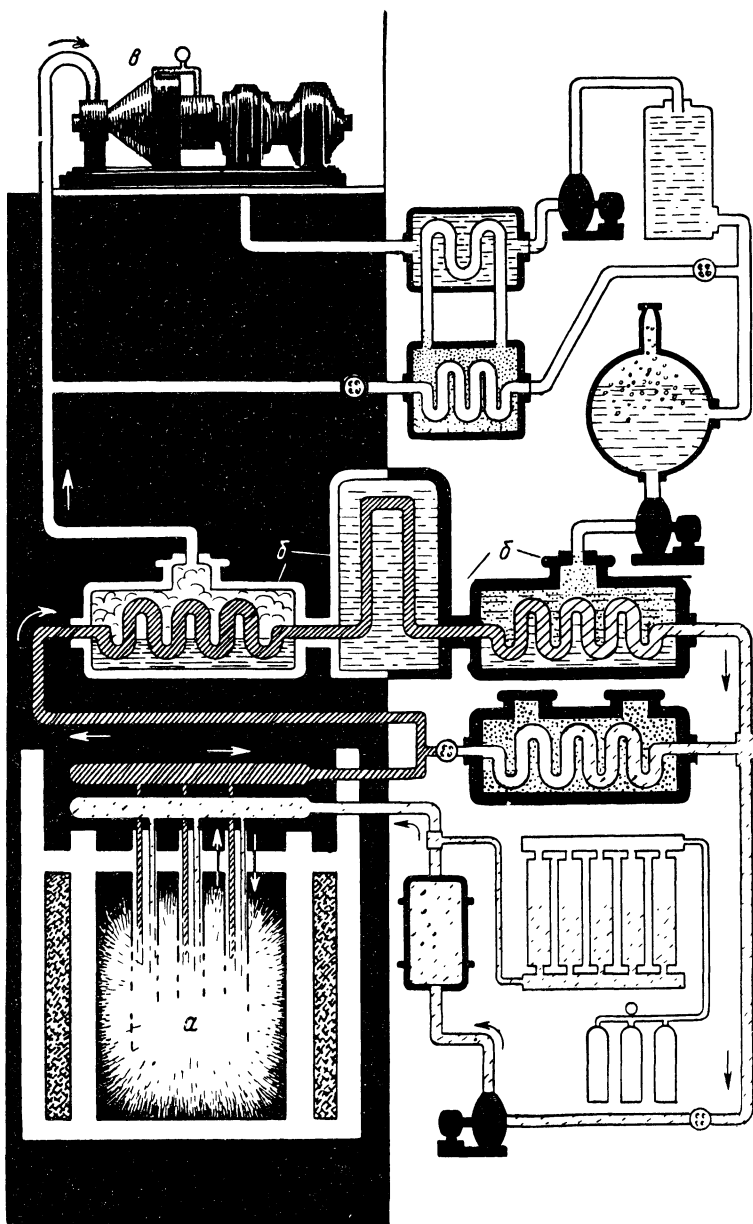
Степень нагретости тела, его температура — вы помните это — определяется скоростью движения его молекул. При взрыве ядра урана осколки его приобретают скорости, соответствующие температурам в миллионы градусов. Если все ядра уранового стержня взорвутся сразу, будет ядерный взрыв.

Цепная реакция, если ее не остановить, и ведет к такому взрыву. А как управлять этой реакцией, как сделать, чтобы взрывалось столько ядер урана, сколько нам надо, для того чтобы поддерживать температуру, скажем, в 800 градусов?

Ученые нашли этот способ.

—>

Это схема атомной электростанции. Из атомного реактора (а) перегретая вода поступает в теплообменник (б), а образовавшийся пар из него идет в паровую турбину (в). Вода, циркулирующая в первом контуре, связанном с реактором, нигде не смешивается с водой, пар которой работает в турбине. Эти два контура имеют вспомогательные устройства для очистки воды от примесей, от растворенного воздуха и т. д.



— Надо, — сказали они, — регулировать количество нейтронов, взрывающих ядра. Надо лишние нейтроны извлекать из общей массы металла. Это можно сделать, вставляя между урановыми стержнями специальные стержни из металла, который хорошо поглощает нейтроны. Вдвинем эти стержни глубже в урановый монолит — они будут поглощать в себя больше нейтронов; выдвинем стержни — и число нейтронов, взрывающих ядра, увеличится, температура возрастет.

Именно так и регулируется температура урановых стержней в реакторе, находящемся под полом электростанции, в центре стального баллона.

А весь баллон заполнен водой под давлением свыше ста атмосфер. Вы знаете, что чем выше давление, тем при более высокой температуре закипает вода. Так вот, при таком давлении вода, только что прошедшая сквозь урановые блоки и имеющая температуру в 270 градусов, не кипит, не превращается в пар.

Пройдя реактор, эта вода направляется по системе труб в теплообменник. Это огромный котел, наполненный почти до верха водой под давлением всего в 33 атмосферы. Сквозь этот котел по змеевику и проходит вода из реактора. Она отдает свое тепло через стенки змеевика воде в котле, и та закипает. Ведь она находится под значительно меньшим давлением, а значит, и кипит при меньших температурах. Пар, образующийся в котле, имеет температуру 232 градуса.

Вот пар и поступает в обыкновенные паровые турбины. А вода, прошедшая змеевик и охладившаяся здесь, возвращается обратно в реактор.

Эта вода содержит в себе отдельные пылинки радиоактивных веществ, и поэтому она также радиоактивна. Пар, образовавшийся в теплообменнике, нигде с радиоактивными веществами не соприкасается. Поэтому он совершенно безопасен. И турбинный зал атомной электростанции по существу ничем не отличается от турбинного зала электростанции, работающей на угле или нефти...

Атом превращается в ток

Вот опять какая длинная цепь превращений! Сначала кинетическая энергия разлетающихся ядерных обломков переходит в тепловую, затем эта тепловая энергия

передается воде, омывающей стержни, — пару в теплообменнике, затем тепловая энергия превращается в механическую энергию вращения ротора турбины, а механическая — в генераторе — в электрический ток. По существу в этой электростанции лишь паровой котел заменен урановым реактором, да поставлен промежуточный теплообменник, а все остальное оставалось прежним.

Что ж? Так и всегда бывало в истории техники. Первые автомобили поразительно походили на извозчицьи пролетки. Только не было у них оглобель, чтобы запрягать лошадей. Первые паровозы изобретатели снабжали «ногами», чтобы переступать по шпалам. Пройдет соответствующее время — и атомная электростанция примет свой, и только свой, специфический облик. И, по всей вероятности, она откажется тогда и от турбин, и от электрогенераторов. Несомненно, ученые найдут пути прямого перехода ядерной энергии в электрическую.

И первые результаты этих поисков вполне обнадеживают.

В 1964 году в Женеве состоялась III международная конференция ООН по мирному использованию атомной энергии. На этой конференции особый интерес привлекли доклады, представленные советскими учеными. Они рассказали и об опыте эксплуатации первого в мире атомного ледокола «Ленин», и о первом в мире опытном реакторе, работающем на промежуточных нейтронах при водяном замедлителе, и о реакторе, предназначенном для получения трансурановых элементов. Но наибольший интерес вызвало сообщение об установке, в которой атомная энергия непосредственно превращается в электрическую.

О поисках путей прямого превращения атомной энергии в электрическую, как об одной из важнейших проблем современной науки, говорится в новой Программе Коммунистической партии Советского Союза.

И вот советские ученые первыми в мире сконструировали установку, в которой атомная энергия непосредственно превращается в электрический ток. Понятно, почему с таким вниманием и интересом отнеслись ученые всего мира к сообщению об этой установке.

Да, она более соответствует представлениям о прекрасной, ажурной технике атомного века, чем все пре-

дыдущие конструкции атомных электростанций. Более соответствует даже с точки зрения людей, далеких от ядерной физики. С точки же зрения специалистов, она просто прекрасна. В ней сочетается все новое — новый вид энергии, новое превращение, новые, свойственные только второй половине XX века, материалы. Сосуд, в котором заключено незримое колыхание атомного огня, сделан из крылатого металла — бериллия. Драгоценные камни бериллы всего лишь руда, из которой может быть получен этот удивительный металл XX века, равно желанный и для конструкторов космических ракет, и для строителей атомных реакторов. А вокруг бериллиевого сосуда лепестками цветка распластались тысячи кремнийгерманиевых пластин — термоэлектрических преобразователей. Надо ли напоминать, что и кремний, и германий также принадлежат к числу элементов, ставших символом новейшей техники... Вот из этого-то сочетания сверхсовременных материалов, связанных в единую прекрасную конструкцию, и возник мирный атомный цветок, поэтично названный «Ромашка». Недавно принадлежавшее лишь ботанике и поэзии слово вошло в научно-технические словари всех языков мира.

Невелика мощность — всего 500 ватт — первой в мире атомной электростанции, в которой нет ни единой движущейся части, в которой творение электрического тока осуществляется на уровне элементарных частиц, где движутся лишь осколки расщепляющихся ядер и потоки электронов. Но так же не поражала дальностью первая радиопередача А. С. Попова, так же невысоко взлетали первые самолеты... И год 1964 по праву может гордиться тем, что в его днях расцвела первая атомная «Ромашка».

Работает она так. В активной зоне реактора за счет деления урана-235 температура поднимается до 1770 градусов. Чтобы обеспечить ход цепной реакции с наименьшим количеством урана, активную зону окружают бериллиевым отражателем. Бериллий отличается тем, что почти не поглощает и не пропускает нейтронов, он как зеркало солнечные лучи, отражает их потоки назад, в массу урана! Регулируется ход реакции бериллиевым же стержнем...

Этот раскаленный бериллиевый кубок, наполненный пылающим атомным огнем, окружают термоэлектриче-

ские элементы из кремнийгерманиевого сплава. Одна сторона термоэлементов нагревается, другая — охлаждается. И в термоэлементах, последовательно соединенных друг с другом, возникает электрический ток силой в 88 ампер.

В нашей стране ведутся исследования и других способов прямого превращения атомной энергии в электрический ток. В частности, изучается, кроме термоэлектрического, термоэмиссионный и магнитогидродинамический методы. О принципах и того и другого превращения мы рассказывали в главе о паровых турбинах.

* *

*

Но, возможно, истина окажется и не на этих кажущихся сегодня более перспективными путях. Может быть, эти пути прямого превращения атомной энергии в электрический ток будут более специфическими, пригодными только для атомной энергии. Кстати, первые намеки на возможность таких превращений уже сделала природа ученым.

Вот примеры. Уже более 50 лет назад английский физик Мозли построил простейший прибор, состоящий из колбы, из которой выкачан воздух, а дно выложено металлической фольгой, и крохотного кусочка радиоактивного вещества, подвешенного в центре этой колбы. Кроме того, в состав прибора входили две проволоочки, подсоединенные к клеммам гальванометра и к находящимся в колбе пластинке фольги, и крупинке радиоактивного вещества.

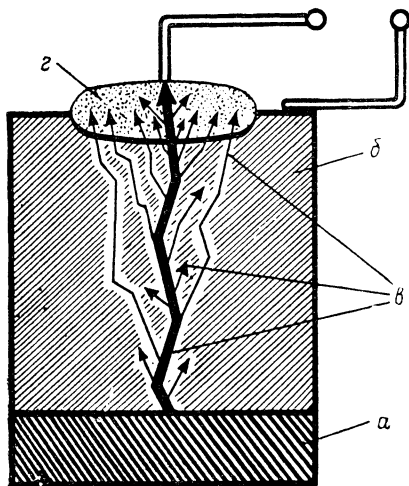
Радиоактивное вещество выбрасывало во все стороны электроны. Они попадали на фольгу и тем самым вызывали в цепи, в которую включен гальванометр, электрический ток.

Эта старая игрушка не может иметь, конечно, никакого практического применения. Она просто доказывает, что прямое превращение ядерной энергии в электрическую возможно.

Но в настоящее время существуют и более совершенные приборы для специфического прямого превращения ядерной энергии. Это так называемые атомные батарейки. Кстати, они очень удобны для карманных

фонарей: вставил одну такую батарею — и двадцать лет можешь не задумываться о замене. Сколько лампочек перегореть успеет, прежде чем истощится энергия этой батарейки.

А устроена она так. В основе ее — тоненькая пластинка из радиоактивного элемента стронция. Стронций



Атомная батарейка. На тоненькую пластинку стронция-90 (а) положена пластинка кремния (б), а еще дальше кремний с примесью сурьмы (г). Излучаемые стронцием электроны вызывают лавину электронов в кремнии (б), но полупроводниковый слой (г) пропускает их только в одну сторону. И возникает электрический ток

отличается тем, что при радиоактивном распаде он выбрасывает только электроны, от которых очень легко заслониться, в то время как другие радиоактивные вещества излучают и другие более вредные лучи и частицы. На эту пластинку стронция накладывают пластинку кремния. Выброшенные стронцием электроны попадают в кремний и вызывают там появление новых электронов. В среднем по подсчетам ученых, каждый электрон, попавший в кремний из стронция, «выбивает» из атомов кремния около 200 тысяч вторичных электронов, которые беспорядочно мечутся по всему объему кремниевой пластинки.

Надо только организовать теперь движение этих электронов, заставить их двигаться в одном направлении, и тогда пойдет электрический ток. Для этого на пластинку кремния накладывают другую пластинку — кремния с примесью сурьмы. Этот слой имеет удивительное свойство: он пропускает электроны только в

одном направлении. И тем самым создает электрический ток.

Кажется, очень несложно устройство такой батарейки. Так почему же нет их в продаже во всех магазинах электротоваров? Да потому, что очень еще дорог сверхчистый кремний и полупроводящая пластинка, которые входят в состав батарейки. И электроэнергия, вырабатываемая ею, получается бешено дорогой: до 10 рублей за 1 ватт-час. В 100 000 раз дороже той, что мы получаем на самых неэкономичных тепловых электростанциях. Да, конечно, выпускать такие батарейки для карманных фонарей пока еще не имеет смысла.

Но в некоторых случаях они уже могут найти применение. Например, для питания радиоаппаратуры долгоживущего искусственного спутника или автоматической космической станции. В этих случаях можно будет и примириться с дороговизной электрического тока.

А для нас с вами эта батарейка еще одно свидетельство того, что прямое превращение ядерной энергии в электрическую возможно.

Кому выпадет высокая честь открыть его?

Неиссякаемый источник

Несколько десятков лет назад, когда началось широкое использование ископаемых топлив, геологи вместе с энергетиками прикинули величину разведанных запасов угля и нефти, проанализировали кривые стремительного роста добычи этих ископаемых и перед ними возникла страшная картина.

...Первыми иссякнут источники нефти. Произойдет это уже в ближайшие годы. В поисках ее люди вернутся к уже использованным пластам, из которых в настоящее время удастся получить едва половину заключенных в них сокровищ. Применяя новые методы, накачивая ли в скважины горячий пар, разогревая ли пласты электрическим током, нефтяники смогут выжать из них последние капли нефти. Но и это не надолго отсрочит катастрофу. Придет день, когда застынут без капли горячего в баках автомобили и тепловозы, не смогут взлетать в синее небо стремительные самолеты, не выйдут в открытый океан навстречу бурям теплоходы.

Конечно, некоторое количество синтетического жидкого горючего можно будет получать из каменного угля, но ... иссякнут и его месторождения. Пустые угольные копи зальет вода. Куски каменного угля — вымершего ископаемого — можно будет увидеть только в музеях, рядом с чучелом мамонта и разрозненным скелетом мастодонта. Произойдет это в течение десятилетий. И тогда застынут на рельсах холодные паровозы, остановят свой бег поршни паровых машин и роторы турбин. Настанет время низкосортных топлив — горючих сланцев, торфа. В топки машин будет брошено все, что имеет хотя бы малейшую способность гореть. Но иссякнут запасы и этих топлив. На Земле настанет чудовищный энергетический голод. И цивилизация, главной энергетической основой которой является ископаемое топливо, умрет...

С той поры, когда впервые были высказаны эти мрачные прогнозы, прошло немало лет. Давно должны бы были сбыться предсказания насчет нефти, значительно приблизиться сроки истощения залежей каменного угля. Но весело ездят многомиллионные армии автомобилей, режут в поднебесьи самолеты, острые носы белоснежных лайнеров режут волны океанских просторов. Еще стремительнее, чем предполагали предсказатели, растет добыча ископаемых топлив, но обгоняя и эту устремленную ввысь кривую, растет количество разведанных его запасов. И все дальше и дальше, на многие столетия и тысячелетия вперед отодвигается роковая дата, когда человечество станет перед вопросом истощения кладовых солнечных лучей, за многие миллионы лет накопленных в недрах земли.

Так что же, значит запасы ископаемых топлив на Земле неисчерпаемы и призрак энергетического голода — это вымысел, не более грозный для судьбы человечества, чем Кощей Бессмертный из детских сказок?

Здесь заданы сразу два вопроса и отвечать на них надо отдельно.

Нет, запасы ископаемых топлив на Земле ограничены. В настоящее время, по всей вероятности, не восполняются за счет естественных процессов образования горючих ископаемых ни залежи угля, ни месторождения нефти. И, несмотря на их грандиозность, запасы эти рано или поздно могут иссякнуть.

И все-таки энергетический голод не грозит человечеству. Безусловно, только на определенном этапе развития человеческой культуры основным источником энергии являются ископаемые топлива. В течение многих тысячелетий своего развития человечество обходилось без них. Бесспорно, много тысячелетий будет оно обходиться без них и в будущем. Будущее человечество, задолго до того как реальной угрозой станет истощение запасов ископаемого топлива, научится без затруднений получать энергию для своих нужд из еще более обширных складов.

Самым неиссякаемым из этих складов является вода рек, озер, морей и океанов.

Вода в качестве горючего?!

Да, именно о воде идет речь!

Всем, конечно, известно, что каждая молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Но еще не все, наверное, знают, что среди атомов водорода имеются необыкновенно тяжелые, имеющие двойной атомный вес. Такие атомы называются атомами дейтерия. Встречаются они очень редко — один атом дейтерия приходится в среднем на 6 тысяч атомов обычного водорода. И еще реже встречаются сверхтяжелые ядра водорода, имеющие тройной атомный вес. Такой сверхтяжелый водород называют тритием.

Ядра водорода, дейтерия и трития при известных условиях могут соединяться, образуя ядра более тяжелого элемента — гелия. Как видим, и здесь осуществляется ядерная реакция, только происходит не расщепление тяжелых ядер, как в урановом реакторе, а наоборот, слияние легких ядер в более тяжелое.

Эта реакция также сопровождается выделением колоссальных количеств энергии. Вспомним снова, что килограмм нефти содержит 13,5 киловатт-часов энергии. И сравним с этим энергию, выделяющуюся при образовании 1 килограмма гелия из более легких ядер. Она равна 177 500 тысячам киловатт-часов.

Энергии килограмм бензина едва достает на то, чтобы двигать легковой автомобиль в течение 10 минут. А энергии 1 килограмм водорода хватит для того, чтобы поднять гору весом в 1 миллиард тонн на высоту в 65 метров!

Правда, для использования в качестве термоядерного горючего годен лишь дейтерий и тритий. Но все равно, энергия дейтерия, содержащегося в 1 литре обыкновенной воды (хотя его там всего около трети грамма),



Вряд ли нужны комментарии к этому сравнению энергоемкостей разных горючих

равна энергии 350 литров бензина! Представляете себе, сколько энергии содержится в воде всех океанов, морей и озер земного шара!?

Вот простейший подсчет: если бы имеющаяся на Земле вода покрывала весь земной шар равномерным слоем,

глубина этого мирового океана равнялась бы примерно трем километрам. Содержащий столько же энергии океан из чистосортного бензина должен был бы иметь глубину более тысячи километров. Вряд ли остаются теперь сомнения в неисчерпаемости — и за миллионы лет! — фантастических количеств энергии, содержащейся в обыкновенной воде. Вряд ли встанет снова в воображении людей призрак энергетического голода!..

Но еще нигде и никто на Земле не получил ни кило- ватт-часа электроэнергии из этого неисчерпаемого источника.

Тайны „солнечной реакции“

...Мы в гостях у известного ученого академика Льва Андреевича Арцимовича. Он возглавляет в нашей стране работы по раскрытию тайн термоядерных реакций.

— Термоядерные электростанции? — переспросил ученый. — Да, конечно, они будут построены... Хотя это дело и очень не простое...

Главная трудность осуществления термоядерной реакции в создании и поддержании высокой температуры в зоне реакции.

Для того чтобы два ядра дейтерия или трития, слившись в одно, образовали ядро гелия и выделили при этом энергию, надо их сблизить. А сблизаться они «не хотят». Ведь оба ядра обладают положительными зарядами и потому в них действуют силы электрического отталкивания. Для того чтобы преодолеть эти силы, надо разогнать ядра, с очень большой скоростью столкнуть их. Это означает, что их надо нагреть до высокой температуры. Даже при температуре в миллион градусов термоядерная реакция почти не происходит, ядра почти не сталкиваются между собой. Только при температуре в несколько сот миллионов градусов выделение термоядерной энергии станет заметным.

Нагреть газ, состоящий из изотопов водорода, до температуры в несколько сот миллионов градусов — это только полдела. Надо этот газ — он имеет совершенно особые свойства, и поэтому его называют не газом, а плазмой — и удерживать при такой температуре, не дать ему охладиться. А плазма охлаждается удивительно легко

и быстро. Ее теплопроводность в миллион раз больше, чем у самого теплопроводного металла — серебра.

Конечно, ни одно из известных нам веществ не может выдержать, оставаясь в твердом состоянии, температуру, например, в 100 миллионов градусов. Уже при четырех-пяти тысячах градусов они плавятся и испаряются. Да если бы и нашлось твердое вещество, способное выдержать температуру в миллионы градусов, мы не смогли бы сделать из него сосуд для «хранения» высокотемпературной водородной плазмы. Ведь едва эта плазма пришла бы в соприкосновение со стенкой нашего сосуда, она сразу бы остыла, и термоядерная реакция в ней прекратилась. Как же быть? Из чего сделать сосуд для хранения плазмы, имеющей стомиллионноградусную температуру?

Советские ученые предложили применить для этой цели сосуд из электромагнитных полей — своеобразную магнитную бутылку.

Действительно, ведь плазма состоит из заряженных частиц, и можно создать такое замкнутое электромагнитное поле, сквозь которое ее частицы уже не смогут прорваться.

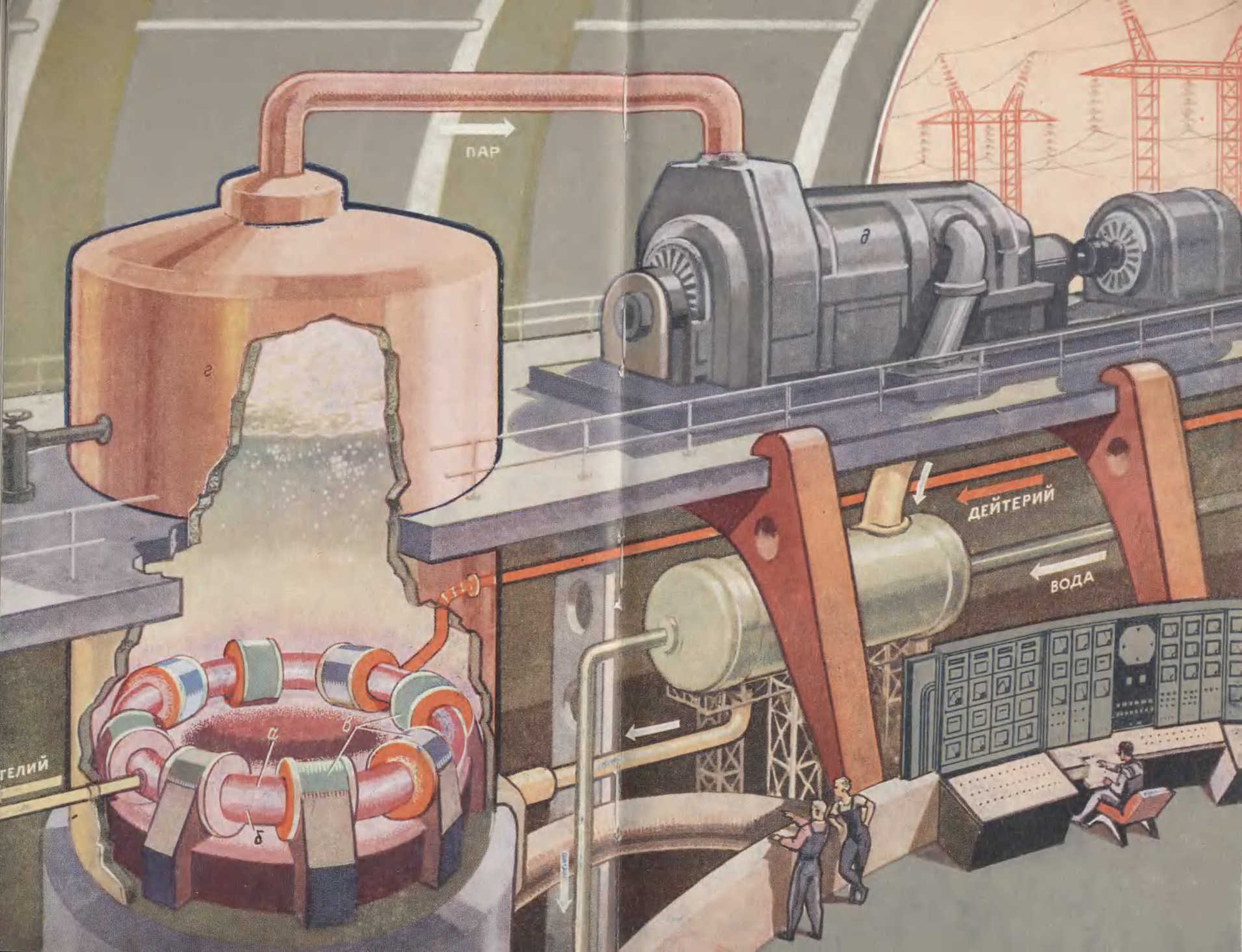
Представьте трубу, которая под очень малым давлением наполнена тяжелым водородом — дейтерием. Пропустим сквозь дейтерий вдоль оси трубы электрический заряд. Он не только раскаляет водород до состояния горячей плазмы, но и заставляет плазму сжаться, собирает ее к оси разрядной трубы в плотно стиснутый «шнур». Ведь при прохождении тока вокруг него возникает концентрическое электромагнитное поле. Оно-то и сжимает дейтерий в «шнур», отодвигает его от стенок трубы к ее центральной оси.

Нужно пропустить через плазму как можно более мощный электрический разряд за возможно более короткий промежуток времени. Тогда брошенные к оси цилиндра ядра водорода получают такой разгон, что смогут сблизиться, преодолеть силы взаимного отталкивания и слиться, вступить в термоядерную реакцию. До этого момента мы только тратим энергию, а с момента начала реакции будем получать ее.

Но тут возникают новые трудности.

Первая и самая главная — неустойчивость плазменного «шнура». Колоссальная теплопроводность и малая

На обороте этой страницы художник изобразил термоядерную электростанцию, как он ее себе представляет. Не такой ли она будет? В торовой «топке» (а) бушует плазменный шнур (б), в котором происходит синтез ядер гелия из ядер дейтерия. В топку непрерывно подается тончайшей струйкой дейтерий и образуется из него гелий. Торовая топка окружена системой катушек (в). Часть из них служит для стабилизации плазменного шнура и управления процессом, другая часть для прямого получения электроэнергии. Вся система погружена в воду, запертую в гигантском котле (г). Эта вода нагревается и кипит. Пар поступает в обыкновенные паровые турбины (д)



теплоемкость плазменного вещества приводят к мгновенному падению температуры, стоит только «шнур» коснуться стенки цилиндра.

Можно и постепенно наращивать величину тока.

Установка, в которой ток нарастает медленно, должна иметь вид не цилиндра, а бублика. Трубу согнули в кольцо.

Все шло хорошо до тех пор, пока от этих установок не потребовалась работа на полную мощность. В действие вступили новые факторы, которые нельзя было полностью предвидеть и учесть. Оказалось, что даже тогда, когда плазменный «шнур», казалось бы, должен быть полностью изолирован от стенок, энергия из него уходит. Потери эти настолько велики, что поднять температуру плазмы до того уровня, который нужен для хода термоядерной реакции, не удастся.

Но нет сомнения; магнитные системы — мешки, бутылки, называйте, как хотите, — которые смогут удержать в себе плазменную струю и не дадут ей остынуть, неизбежно будут созданы. И тогда станет возможным конструирование термоядерной электростанции.

Как она будет выглядеть? Рано пока еще говорить о ее деталях. Но представить себе ее общую схему уже можно.

Вероятно, это будет довольно компактная установка типа замкнутой, довольно сложной «бубличной» камеры. Внутри у этого «бублика» будет пылать сильно нагретый плазменный «шнур», а кругом его обступят сложные машины, подводящие к нему ток, а также питающие обмотку основного магнитного поля. Вокруг «бублика» расположится, очевидно, несколько обмоток, в том числе для создания дополнительной устойчивости плазменного «шнура». Все это будет погружено в водяную рубашку, поглощающую нейтроны, охлаждающую стенки «бублика». Это тепло также можно будет использовать на тепловых электростанциях обычного типа с теплообменниками и паровыми турбинами.

Если «бублик» сделать диаметром около 10 метров и толщиной 1—2 метра, то мощность электростанции достигнет примерно миллиона киловатт.

В принципе возможно и прямое превращение части термоядерной энергии в электрическую. Когда плазменная струя после сильного сжатия расширяется, она от-

жимает силовые линии магнитного поля к стенкам камеры. Они пересекают провода катушек, оплетающие «бублик». В них возникает ток. Пульсируя, плазма работает, как вращающийся ротор электрогенератора. Если удастся когда-либо перевести работу такой электростанции на чистый дейтерий (а это будет, видимо, не так скоро), можно ожидать, что половина энергии станции будет непосредственно превращаться в электрическую.

Год за годом идет шторм плазмы. Плазма оказалась твердым орешком!

Уже более десяти лет прошло с тех пор, как возникла смелая идея советских ученых, академиков А. Сахарова и И. Тамма использовать для изоляции плазменной струи электромагнитное поле. Тысячи раз ставились опыты. Кольца электромагнитного поля устремлялись к центру, сжимая, уплотняя дейтерий. Давление в плазменном «шнуре» выросло в миллионы раз. Под влиянием этого давления плазма начинала расширяться, раздвигая упругие кольца электромагнитного поля. «Шнур» плазмы начинал пульсировать. Процесс оказывался неустойчивым.

Нет, это было еще не то, что хотели получить ученые. Им нужен был спокойный, устойчивый «шнур» плазмы. Да и температуру им бы хотелось поднять раз в сто. И давление иметь побольше в несколько раз...

И вслед за первым прорывом началась планомерная длительная «осада» плазмы. Но уже с совершенно новых позиций.

Не просто «запрячь тигра» — заставить работать термоядерную реакцию. Тысячи препятствий встают перед учеными. Не имеющие заряда частицы — фотоны, кванты, нейтроны — уносят энергию из «пылающего шнура». Обладающая фантастической теплопроводностью плазменная струя внезапно остывает. Но больше всего неприятностей доставляет неустойчивость плазмы.

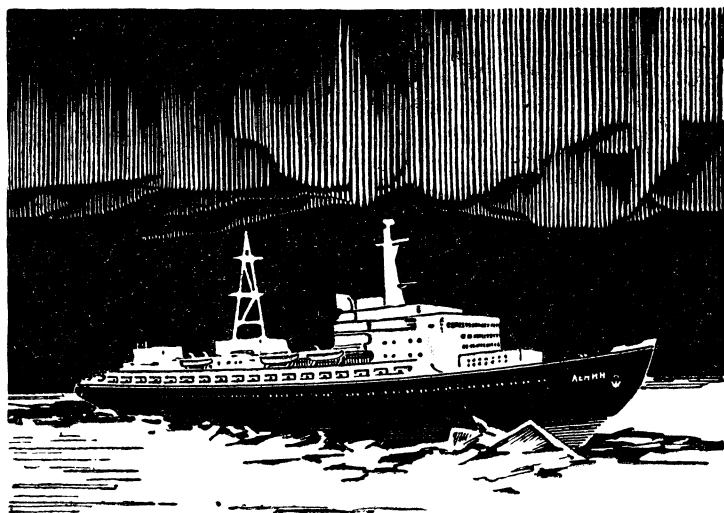
И все-таки «осада» развивается успешно. Растут достигнутые температуры. На советских установках они превышают уже 100 000 000 градусов! Удастся побеждать и неустойчивость. В 1963 году жизнь плазменного «шнура» в установке довели до сотых долей секунды. Это совсем не так уж мало! Ученые во всем мире высоко оценили это достижение советской науки.

Работы продолжаются,

Атомный транспорт

Бесконечно заманчива проблема создания атомоходов — снабженных атомными двигателями транспортных машин.

Автомашина «Волга» расходует на 100 тысяч километров 10 тонн бензина. На этот же пробег она, снабженная атомным двигателем, затратит всего 6 граммов урана.



Уже много десятков тысяч километров прошел во льдах Арктики атомный ледокол «Ленин»

Самолет с двигателями мощностью в 2 тысячи лошадиных сил расходует за час полета 500 килограммов бензина.

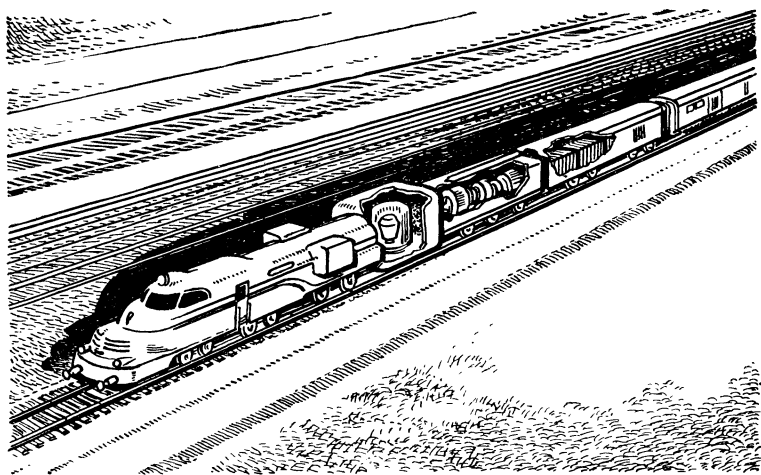
За этот же час полета самолет с атомным двигателем, имеющим коэффициент полезного действия всего 20 процентов, израсходовал бы 0,3 грамма урана.

Применение атомной энергии открывает возможность осуществления космических полетов к самым крайним пределам солнечной системы.

Именно поэтому столь интенсивно работают ученые и инженеры во всех странах мира над проблемами создания атомовозов, атомоходов, атомолетов. Первые успехи в этой области несомненны.

Уже плавают подводные лодки с атомными двигателями. Советский атомный ледокол совершил несколько крупнейших походов: его «спидометр» уже в 1964 году показывал более 100 тысяч километров пройденных ледовых путей. Испытываются в разных странах первые атомные самолетные установки, есть инженерно разработанные проекты атомных локомотивов.

Однако все эти проекты, рассчитанные на работу по той же схеме, что и атомные электростанции, т. е. попросту топка парового котла заменена в них урановым реактором. И все усилия создателей направлены лишь на то, чтобы сделать всю установку как можно более легкой.



Атомоход — локомотив будущего

Основной элемент, увеличивающий тяжесть атомных установок, — это бетонные стены биологической защиты, служащие для предохранения людей от губительных излучений, сопровождающих ход ядерных реакций. Инженеры работают над тем, чтобы уменьшить вес биологической защиты. В транспортных установках они предлагают отказаться от сплошной бетонной стены, окружа-

ющей реактор со всех сторон, оставив только стенку, отгораживающую машинное отделение от пассажирского. Именно таковы существующие проекты атомного самолета, именно так устроены современные атомные подводные лодки.

Особенные усилия ученых направлены на создание атомных реактивных и ракетных двигателей. Существуют проекты по существу всех типов реактивных двигателей — и прямоточный, и турбокомпрессорный, и турбовинтовой, — в которых нагрев воздуха осуществляется за счет энергии расщепляющихся ядер урана. Имеются проекты и ракетных атомных двигателей, в которых инертное вещество, выбрасываемое в сопло, нагревается до высокой температуры.

Конечно, все сведения об авиационных атомных двигателях государства держат в строгой тайне. И тем не менее нет никакого сомнения, что недалек тот час, когда взлетят с аэродромов атомные самолеты, способные без посадки и без дополнительной заправки горючим несколько десятков раз облететь вокруг земного шара, что ринутся в космические рейсы к Урану и Плутону атомные ракетные корабли.

И будет это в ближайшие годы и десятилетия...

Электрическая ракета

Как движутся все транспортные средства на Земле? Они обязательно отталкиваются от чего-либо. Автомобиль — колесами от асфальта шоссе, самолет — пропеллером от воздуха. Ну а в космическом пространстве «оттолкнуться» не от чего. Материя в космическом пространстве находится в слишком разряженном для этого состоянии и неподходящей форме. Как же летит, все ускоряя свое движение, ракета?

Она тоже отталкивается. Она отталкивается от тех материальных частиц, которые выбрасывает ее реактивное сопло, отталкивается от выхлопной струи. Частицы выбрасываемых газов летят в одну сторону, а «отталкивающаяся» от них ракета — в другую.

Основоположник космонавтики, великий русский ученый К. Э. Циолковский вывел формулу движения ракеты в космическом пространстве. Из нее следует, что скорость движения ракеты зависит, во-первых, от скорости, с кото-

рой вылетают из сопла ракеты выбрасываемые ею частицы топлива, во-вторых, от массы этих частиц. Для достижения одной и той же скорости можно сжечь и много топлива, при этом не очень заботясь о скорости реактивной струи, или, наоборот, обеспечить очень быструю скорость движения частиц газа в этой струе и сжечь значительно меньше топлива.

Конечно, инженеры-теплотехники, конструкторы ракетных двигателей стремятся достичь максимальной скорости реактивной струи. Ведь при этом ракета для достижения космической скорости потребует меньше топлива и сможет взять больше полезного груза. Но в обычных химических ракетах, к сожалению, придать реактивной струе скорость больше 4 километров в секунду не удастся. А при такой скорости для подъема 1 килограмма полезного груза на орбиту искусственного спутника приходится затрачивать более 50 килограммов топлива. Ракета превращается в цистерну с горючим, к которой прилепился крохотный полезный груз — космический корабль или искусственный спутник. И это понятно: могут оковы притяжения, нужны гигантские усилия, чтобы разорвать их. И нельзя не гордиться богатырской мощью советских ракет, поднимающих в заоблачные дали многотонные корабли!

Ну а нельзя ли еще увеличить скорость выхлопной струи, скорость тех частиц вещества, от которых отталкивается ракета? Оказывается, можно. Разгоняя эти частицы в электрическом поле.

Нам снова придется спуститься на Землю. Наверное, все помнят, все видели, как из соленоида — проволоки, скрученной в виде спирали — вылетает металлический стержень, когда в соленоид подают постоянный ток. Этот опыт можно поставить в физическом кабинете любой школы. Так вот этот соленоид уже можно использовать в качестве простейшего электроракетного двигателя. Представим, что он установлен на ракете, находящейся в космическом пространстве. С одного его полюса подаем, ну скажем, стальные стерженьки. Электрическое поле соленоида разгоняет их и выбрасывает в космос. И сам соленоид начинает двигаться с каждым выбрасываемым стерженьком все быстрее в другую сторону.

Эффектный опыт с соленоидом известен давно. Его даже пытались использовать. В начале нашего века была

предложена конструкция соленоидного транспорта — металлический вагон должен был лететь в трубе, окруженной соленоидами. Кажется, в каких-то воинственных странах проводили опыты с электропушками — вместо стволов у них были соленоиды. Но практическое применение это явление нашло главным образом в различных реле и переключателях, где включение в катушку соленоида слабого тока втягивает или вытягивает металлический сердечник, связанный с мощными переключающими устройствами.

Конечно, от рассмотренной нами схемы электроракетного двигателя до действительных его конструкций расстояние не меньше, чем от увеселительной пороховой «шутихи» до современной космической ракеты. И главное отличие состоит в том, что разгоняются в магнитном поле соленоида не металлические стерженьки, а плазма.

Мы говорили уже, что плазма — это вещество, нагретое до высокой температуры. Некоторыми своими свойствами плазма напоминает газ, но это не газ. Газ состоит из молекул и атомов, а плазма содержит значительное количество заряженных частиц — ионов и свободных электронов. Поэтому она хорошо проводит электрический ток и может сыграть роль стального стержня в электрическом поле соленоида. А ведь молекулам воздуха соленоид, с которым мы имели дело, не придавал ускорения, никакого заметного ветра внутри своих витков он не создавал.

Установив это, нетрудно представить себе и плазменный электроракетный двигатель. Главный его узел — почти обыкновенная камера сгорания, где в пламени электрической дуги ионизуется, превращается в плазму какое-либо вещество. Образовавшаяся плазма устремляется в обыкновенное реактивное сопло и разгоняется в нем за счет охлаждения и расширения. Но это сопло окружено витками электрической обмотки — соленоидом. Сквозь ионизованный газ пропускают электрический ток. Возникает взаимодействие с электромагнитным полем окружающего сопло соленоида и газ получает дополнительное ускорение.

В плазменных электроракетных двигателях можно обеспечить скорость истечения реактивной струи в несколько десятков раз большую, чем в обычных химических

ких ракетах, ну скажем, в 100 километров в секунду. Понятно, насколько можно сократить расход горючего, замененного здесь нейтральным веществом.

Так почему же такие двигатели не заменяют химических ракетных двигателей?

Да потому, что общая их тяга еще очень мала. Граммы, десятки граммов... Ну, килограмм... Это буквально несоизмеримо с тягой современных химических ракет, и, вероятно, никогда электрические двигатели не смогут соперничать с химическими на первом этапе полета — при взлете с Земли в космическое пространство.

А вот там — их царство. Там, далеко, не всегда требуется могучий кратковременный рывок. Там и небольшая, но постоянно действующая сила может сообщить космическому кораблю гигантское ускорение. Расчеты показывают, что полет химической ракеты к самой дальней планете Солнечной системы Плутому должен занять около 45 лет. А если в пути включить плазменный электроракетный двигатель весьма скромной мощности, продолжительность этого полета сократится в десятки раз.

Это — будущее электрореактивных двигателей. Прекрасное будущее — быть союзником и помощником химических ракет в завоевании человеком космоса.

Сегодня плазменные электроракетные двигатели делают первые «космические» шаги. Так, они работали на борту советской автоматической космической станции «Зонд-2». Они использовались в качестве органов управления точной ориентацией станции в пространстве...

Но может возникнуть вопрос: «Почему здесь, в главе об атомной энергетике, зашел разговор об электрической ракете?» Да очень просто: атомный реактор — наиболее вероятный источник энергии для электрических космических ракет. И вообще — атомный реактор чрезвычайно перспективный источник энергии в космическом пространстве.

Дело в том, что там ему не нужна биологическая защита. Ее может великолепно заменить расстояние. Реактор можно расположить на любом расстоянии от корабля, летящего под действием инерции и притяжения небесных тел. Хоть в ста метрах. Хоть в километре. Хоть в десяти километрах. Энергию от него можно получать по проводам. А мощность радиации, как известно, убывает пропорционально квадрату расстояния. Увеличим рас-

стояние до реактора вдвое — и радиации, падающая на корабль, уменьшилась вчетверо. Увеличим расстояние вдесятеро — и радиация снизилась в двадцать пять раз.

Видимо, такие атомные реакторы будут и обогревать, и освещать космические корабли, летящие к планетам Солнечной системы. Еще вблизи Солнца, скажем, в пределах орбиты Марса, с ними смогут соперничать гелиоэлектростанции. Но в окраинных областях Солнечной системы атомный реактор пока не имеет соперника.

Тем более это относится к межзвездным рейсам. В бесконечной черной бездне пространства, разделяющей планетные системы, только энергия атома — расщепляющегося ли, синтезирующегося ли — сможет обеспечить жизнь и труд космонавтов.

„Завоюет околосолнечное пространство“

Еще живы люди, читавшие самые первые статьи и брошюры К. Э. Циолковского сразу же после их выхода в свет. Тогда высказываемые там мысли казались мечтой далекого будущего. Да и сам автор относил сроки их осуществления во всяком случае за пределы нашего века. А сегодня...

Даже наиболее пессимистичные ученые, имеющие отношение к этой области науки, считают, что полет на ближайшие планеты — Венеру и Марс, не говоря уже о нашем естественном спутнике Луне, — совершится в пределах ближайшего десятилетия. Конечно, и здесь первыми разведчиками будут автоматы, и только по проложенным ими трассам отправятся будущие космонавты.

Каким средствам предстоит осуществить полеты на ближайшие планеты? Это будут, вероятно, ракеты, работающие на химическом топливе того типа, что используется сегодня для запуска космических кораблей. А более дальние рейсы — за пределы орбиты Марса, — вероятно, сделает возможными только ракетный двигатель, работающий на ядерном топливе. Однако создание таких двигателей — дело совсем не простое.

При ядерных реакциях возникают потоки чрезвычайно быстрых частиц, движущихся со скоростями в тысячи километров в секунду. Но непосредственное использова-

ние продуктов ядерного распада для создания реактивной силы невыгодно, практически невозможно: ведь масса этих частиц крайне невелика. Поэтому конструкторы ядерных ракет (их принципиальные схемы разработаны в ряде стран) чаще всего предполагают использовать для создания ракетной струи не эти легкие, хотя и стремительно движущиеся частицы, а какой-либо газ, разогреваемый за счет ядерных реакций до высокой температуры. Но каким способом передать энергию большой массе инертного вещества, которое должно быть помещено в ракету, а затем выброшено с большой скоростью?

Так как инертный газ будет находиться в ядерном реакторе весьма непродолжительное время, а теплопроводность газа очень мала, то, чтобы нагреть, его нужно пропустить через какое-то пористое вещество, имеющее температуру реактора. Технически осуществить это еще очень сложно, потому что с повышением температуры управление ядерным реактором становится все более затруднительным и возникает опасность взрыва ракеты. И к тому же существующие конструкционные материалы — жаропрочные металлы и сплавы — не позволяют поднять температуру в реакторе выше температуры горения обычных химических топлив.

Есть несколько способов обойти эти препятствия. Можно представить, например, такую систему, в которой газ — рабочее тело — будет нагреваться в реакторе, затем, проходя через длинное сопло, получит возможность расширяться, но будет постоянно подогреваться. При этом скорость его движения будет все более возрастать. Если это сопло — его называют изотермическим — окажется достаточно длинным, то газ приобретет нужную скорость — в десятки километров в секунду.

Однако создание такой конструкции очень сложно. Ведь газ обладает весьма малой теплопроводностью. Возможно, что внутри газа будет выгодно впрыскивать небольшими порциями радиоактивные элементы, которые будут его непрерывно подогревать. Возможно, вместо газа в качестве инертного тела применяют легкоплавкие и легкоиспаряющиеся металлы, которые будут вытекать с меньшей скоростью, чем газ, но вследствие более высокой теплопроводности лучшие поглотят тепло реактора. Так или иначе, атомная ракета возможна и она будет построена.

Конечно, сооружение ее — дело более трудное, чем постройка атомной электростанции или атомного ледокола. Можно привести такие цифры: для работы двигателя в течение около 400 секунд мощность ракеты (на килограмм веса) должна в десять раз превышать мощность современных реакторов. Чтобы запустить ракету весом в несколько тонн на Луну, нужно создать реактор мощностью в миллионы киловатт. Мощность самых крупных современных реакторов достигает лишь одного миллиона киловатт.

Атомная ракета будет способна развивать скорость в несколько десятков километров в секунду. Скорости в сотни, а тем более в тысячи и десятки тысяч километров в секунду для нее недостижимы. А это означает, что атомная ракета позволит осуществлять полеты лишь в пределах Солнечной системы. Плутон — последняя станция, которую смогут посетить эти ракеты.

Что же, так и остановится человек на рубеже своей планетной системы, озаряемый крохотным, похожим на звезду, Солнцем, перед великим океаном пространства, разделяющим звезды? Ибо пройденные им рубежи, разделяющие планеты, покажутся ему, по сравнению с этим великим океаном, узкими ручейками, через которые он перешагнул шутя!

Победить межзвездное пространство может только скорость. Луч света ближайшей к нам звезды достигает нашей планеты за четыре с небольшим года. Он движется со скоростью в 300 000 километров в секунду — наибольшей возможной в нашей части Вселенной. Чтобы стали возможными межзвездные полеты, наш корабль должен двигаться со скоростью, близкой к световой.

Расчеты показывают, что достижение околосветовой скорости возможно лишь в том случае, если вся материя «горючего», запасенного ракетой, будет превращена в световую энергию, в поток световых частиц — фотонов. Основные теоретические представления о такой ракете — ее назвали фотонной ракетой — дал недавно немецкий физик Е. Зенгер.

Вот основной принцип, на котором основана работа такой ракеты.

В последние годы ученые узнали о существовании так называемых античастиц и сумели некоторые из них получить искусственно.



Художник нарисовал звездолет будущего, работающий на энергии аннигилирующего вещества — антивеществе, таким, каким он сегодня представляется ученым

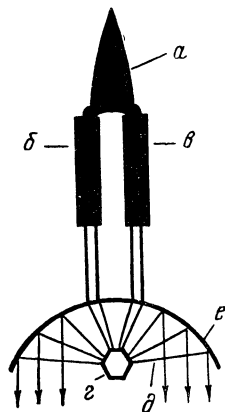
Античастицы — это такие элементарные частицы, заряд которых противоположен заряду обычных частиц той же массы. Например, электрон заряжен отрицательно, античастица электрона — позитрон — положительно. Протон имеет положительный заряд, а антипротон — отрицательный. Нейтрон, не обладающий электрическим зарядом, отличается от антинейтрона направлением своего вращения. Вещество, состоящее из антипротонов, антинейтронов и позитронов, и будет антивеществом.

В обычных условиях античастицы недолговечны. Жизнь их исчисляется ничтожными долями секунд. Столкнувшись с аналогичными себе обычными частицами, они «исчезают». При этом выделяется огромное количество энергии в виде фотонов, мезонов и других излучений. Их энергия в сотни раз больше, чем даже при термоядерной реакции.

Но, вероятно, в ближайшем будущем физики научатся получать антивещество и сохранять его значительное время. Если удастся, например, изготовить антижелезо, то его можно будет подвесить в постоянном магнитном поле — в абсолютном вакууме, так чтобы оно не соприкасалось со стенками контейнера. Этот контейнер и будет одним из баков с «горючим» нашей межзвездной ракеты. Из этого бака можно будет порциями выстреливать антижелезо в аннигиляционную камеру, где будет проходить реакция соединения антижелеза и обычного вещества с последующей аннигиляцией и выделением колоссальных количеств лучистой энергии. Невобразимых количеств энергии!

Конечно, образующиеся при этом фотоны, мезоны и другие частицы будут разлетаться во все стороны, как и при обычном взрыве. Серьезной проблемой будет организовать, дисциплинировать эти потоки, направить их в одну сторону, чтобы получить реактивную струю. Зенгер предложил использовать для этой цели электронное облако — сталкивающиеся плотные потоки электронов. Расчеты показали, что в некоторых случаях такое электронное облако может исполнять роль идеального зеркала, которое будет отражать все лучи в одну сторону и создавать тягу ракеты.

Трудно еще даже представить, как будет выглядеть межзвездная ракета. Прежде всего, она будет огромной — в сотни и тысячи километров длиной. Ведь зеркало должно помещаться на значительном удалении от экипажа, а запасы антивещества, вещества и разнообразнейших продуктов будут огромными. Даже при скорости в 280 000—290 000 километров в секунду такая ракета должна будет затратить на перелет только к ближайшим звездам годы.



А это — схема такого звездолета. Жилые помещения, лаборатория, склады (а) — впереди, подалее от двигателя. Вещество (б) и антивещество (в) подаются в точку сгорания (г) и там превращаются в яростные потоки лучей (д), отбрасываемые зеркалом (е). Давление лучей на это зеркало и двигает звездолет

Правда, положение несколько облегчается тем, что при таких скоростях наблюдается «Эйнштейнов парадокс» замедления времени. Это означает, что по часам ракеты перелет займет совсем немного времени — всего несколько месяцев, тогда как на Земле пройдут долгие годы. Это утешительное для экипажа ракеты обстоятельство отнюдь не является таким уж обнадеживающим для будущего человечества.

Фотонная ракета межзвездных рейсов, работающая на антиматерийном горючем — последняя высшая техническая задача, которую еще можно рассмотреть в вершинах современной науки.

* *
*

Ну а что дадут человечеству космические полеты, развитие астронавтики?

На первых этапах, не говоря о чисто утилитарных вопросах, вроде метеорологической службы, службы связи, ориентации кораблей и т. д., что уже осуществляется автоматическими спутниками, — огромный рост знаний о материи и о Вселенной.

Дает ли этот этап какие-либо открытия, которые преобразуют жизнь человечества — ну, скажем, привезут ли астронавты с Марса растения, которые превратят тундру в плодоносящие плантации, в житницу планеты, — сказать сейчас невозможно.

Гораздо определеннее можно сказать другое: дальнейшее развитие астронавтики откроет перед человечеством поистине безграничные перспективы развития. Навсегда и бесповоротно будут отброшены какие бы то ни было разговоры о «жизненном пространстве», о «перенаселении», об «убывающем плодородии» и т. д.

Ведь там, в космическом пространстве, как на это указывал еще К. Э. Циолковский, неизмеримое количество и вещества для постройки жилищ, и энергии.

И мне хочется закончить эту главу его пророческими словами: «Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством завоюет себе все околосолнечное пространство».

их время настанет

Мы говорили о машинах энергии, и одновременно о природных энергетических источниках. Ведь каждая машина, каждый агрегат используют определенный источник энергии.

Водяная турбина приспособлена для работы в струях воды, паротурбинный агрегат с котельной установкой — для преобразования химической энергии топлива в электрический ток. Мало этого, гидравлические турбины разных типов предназначаются для разных напоров воды, а топки котлов разных конструкций для сжигания разных ископаемых топлив. Не всегда можно заменить торф газом и тем более газ — дровами.

Надо заметить и другое. До тех пор, пока отсутствовали те или иные машины энергии, природный источник был бесполезен для человека. Без пользы утекали век за веком в моря и океаны воды рек, пока не изобрел человек водяное колесо, а затем водяную турбину. Без пользы миллионы лет лежали гигантские залежи каменного

угля, пока не появилась паровая машина и сменившая ее паровая турбина. И нефть и газ стали источником энергии только после изобретения двигателей внутреннего сгорания. И уран еще совсем недавно считался почти бесполезным металлом.

Но еще многие и многие источники энергии ждут, когда подберет человек к ним ключи, когда создаст он соответствующие машины.

О некоторых из таких источников мы уже говорили. Это и волны, вечно бегущие, и приливы, вздымающие грудь океана. Об остальных речь пойдет в этой главе.

Гигант в солнечном зайчике

Солнце...

Сколько посвящено ему стихов, восторженных описаний, научных трудов. Оно дает жизнь всему живому на Земле, да и на других планетах Солнечной системы, если на них есть жизнь.

Солнце... Находящееся на расстоянии ста пятидесяти миллионов километров от Земли, протянутой рукой лучей оно оказывает буквально на все происходящее на нашей планете огромное влияние.

Не будь Солнца Земля была бы холодным мертвым шаром. Температура на ее поверхности лишь на несколько градусов — за счет просачивающегося тепла недр — превышала бы абсолютный нуль. В голубовато-зеленых скалах из замерзшего азота и кислорода атмосферы дробился бы холодный отблеск далеких звезд. Удары метеоров и извержения редких вулканов — вот и все движение, которое оживляло бы ее поверхность.

А сейчас, когда каждое утро всходит Солнце... Пусть стоят возле Оймякона трескучие морозы в 60 градусов, разве не живут деревья, травы, насекомые, птицы, животные и стоящий здесь, покрытый серебром иней лес? Пусть страшная жара опалает среднеазиатские пустыни — и здесь, торжествуя, расцветает жизнь. Эту, в среднем почти на триста градусов выше абсолютного нуля, температуру на нашей планете, такой удобной для жизни, обеспечивает Солнце.

...Дует ветер. Легкий ли ветерок, в жаркий вечер прохладой овевающий лицо, крепкий ли бриз, плотно напол-

няющий паруса рыбацких шаланд, неукротимый ли ураган, выбрасывающий на берег суда, срывающий крыши, выворачивающий с корнем столетние деревья, сметающий все на своем пути, — это тоже работа Солнца. По-разному нагрелись различные участки земной поверхности, сместилось равновесие масс в атмосфере, и потекли бесчисленные воздушные течения, завихряясь, сталкиваясь, мешая и помогая друг другу.

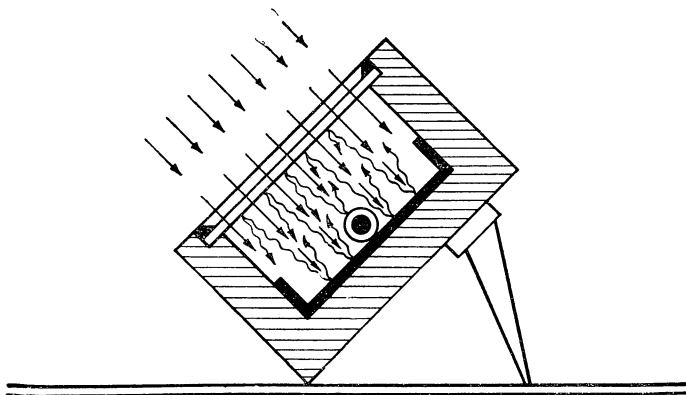
Могучая энергия ветра, морские волны, гигантские океанские течения — все это тоже явления, создаваемые Солнцем. А разве ископаемое топливо — уголь, нефть, природный газ — не является превращениями солнечного луча? Правда, не сегодня, а миллионы лет назад он озарял дремучие папоротниковые леса, из которых образовался каменный уголь, согревал воду лагун, в которых росли и гибли миллиарды живых существ, тела которых стали нефтью. И торф, и дрова — это превратившиеся в топливо солнечные лучи...

Все известные нам на земле энергетические источники, кроме атомной энергии, тепла земных недр да еще энергии приливов и отливов, имеют своим первоисточником тепло солнечных лучей. Но почему же должен человек пользоваться только брызгами могучего потока солнечной энергии, собирая их по каплям? Почему не подставить ему под этот водопад энергии свой кубок и не наполнить его сразу до краев?

— Отвечая на этот вопрос, обычно ссылаются на две причины, — говорит доктор технических наук профессор Валентин Алексеевич Баум, известный своими работами в гелиоэнергетике. — Во-первых, указывают, что энергия солнечных лучей слишком-де раздроблена, мало концентрирована, да к тому же еще ее интенсивность изменяется в зависимости от времени суток, года, широты, земной поверхности, погоды. Во-вторых, не существует пока устройств, с помощью которых можно было бы достаточно экономно, с достаточно высоким КПД превращать энергию солнечных лучей в электрический ток.

Вряд ли целесообразно подробно останавливаться на первом возражении. Да, действительно, количество солнечных лучей изменяется в данной точке земной поверхности в зависимости от многих причин. Но на территории нашей страны есть гигантские области, где Солнце светит ежедневно в течение 8—9 месяцев в году, где работа

гелиоэлектростанции может быть вполне устойчивой. Конечно, и там надо подключать на ночное время электростанции другого типа, но при работе их в единой высоковольтной сети это дело вполне осуществимое. Что же касается недостаточной концентрации солнечных лучей... На границу земной атмосферы они приносят мощность почти 1,4 киловатта на квадратный метр. Пусть



«Горячий ящик» — простейшее устройство для использования солнечных лучей

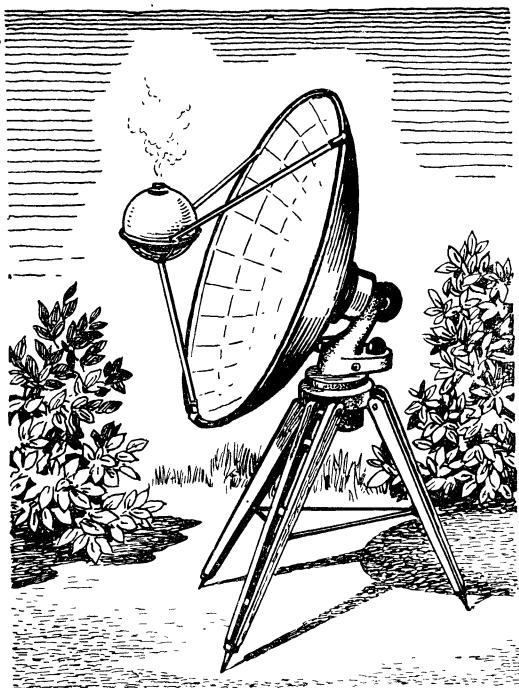
поверхность Земли вбирает всего половину этой мощности, и это не так уж мало. Действительно, мощность, равную мощности Волжской ГЭС имени В. И. Ленина, смогла бы развить гелиоэлектростанция с КПД всего в 10 процентов, используя энергию солнечных лучей с 12 квадратных километров среднеазиатской пустыни. Конечно, это ее максимальная суточная мощность и нельзя забывать, что в ночные часы станция эта не дает ни киловатт-часа...

Значительно труднее опровергнуть второе возражение. Да, действительно, устройства, имеющие достаточно высокий коэффициент полезного превращения лучистой энергии в электрический ток, существуют только в лабораториях. В широкое производство они еще не пошли и не скоро пойдут.

Рассмотрим некоторые из возможных путей использования энергии солнечных лучей.

Первый путь — превращение лучистой энергии в тепловую. Уже обыкновенный парник — устройство для

такого превращения. Солнечный луч легко проникает сквозь прозрачное стекло и нагревает дно парника. Нагретое дно тоже излучает энергию, но не в виде световых, а в виде невидимых инфракрасных лучей. Для этих лучей стекло не прозрачно, оно не пропускает их наружу.



Такая «солнечная кухня», право же, незаменима в местности, где всегда солнце и никогда нет туч

Стекло предохраняет грунт и от ветра, который выдувал бы тепло. Солнечный луч попал в ловушку.

Усовершенствуя такую ловушку, поставив несколько рядов стекол, можно поднять температуру воздуха в ней до пятидесяти и даже до ста градусов.

На таком принципе — его называют оранжерейным эффектом — работают у нас в южных районах страны бани, сушилки для фруктов, опреснители соленой воды.

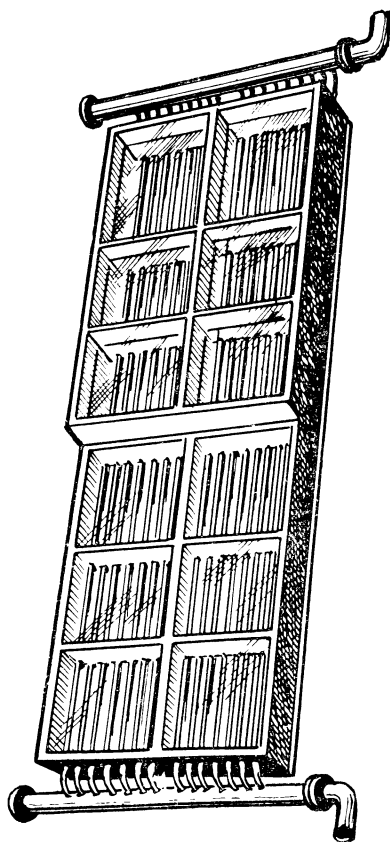
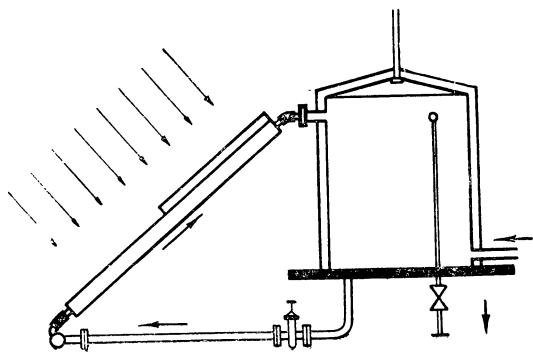
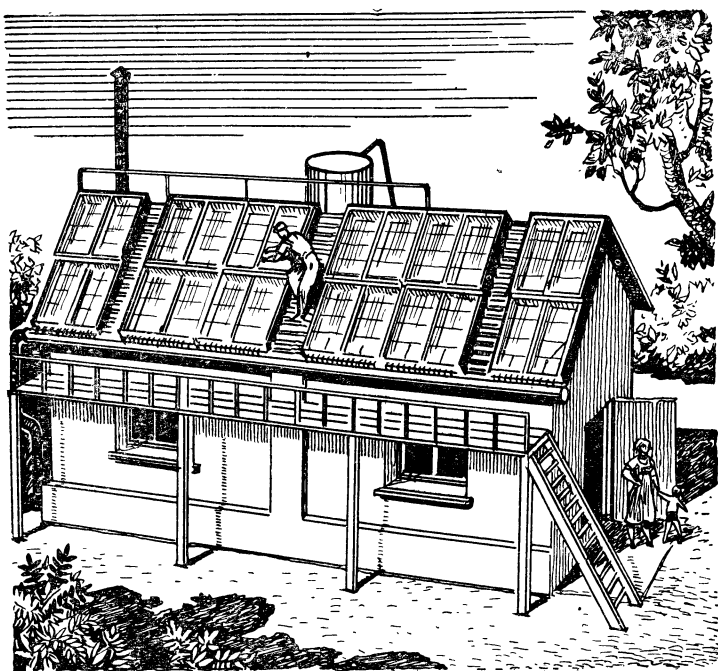


Схема солнечного нагревателя и секция его

Но, конечно, для целей большой энергетики эти солнечные ящики не пригодны. Будущее не за ними.

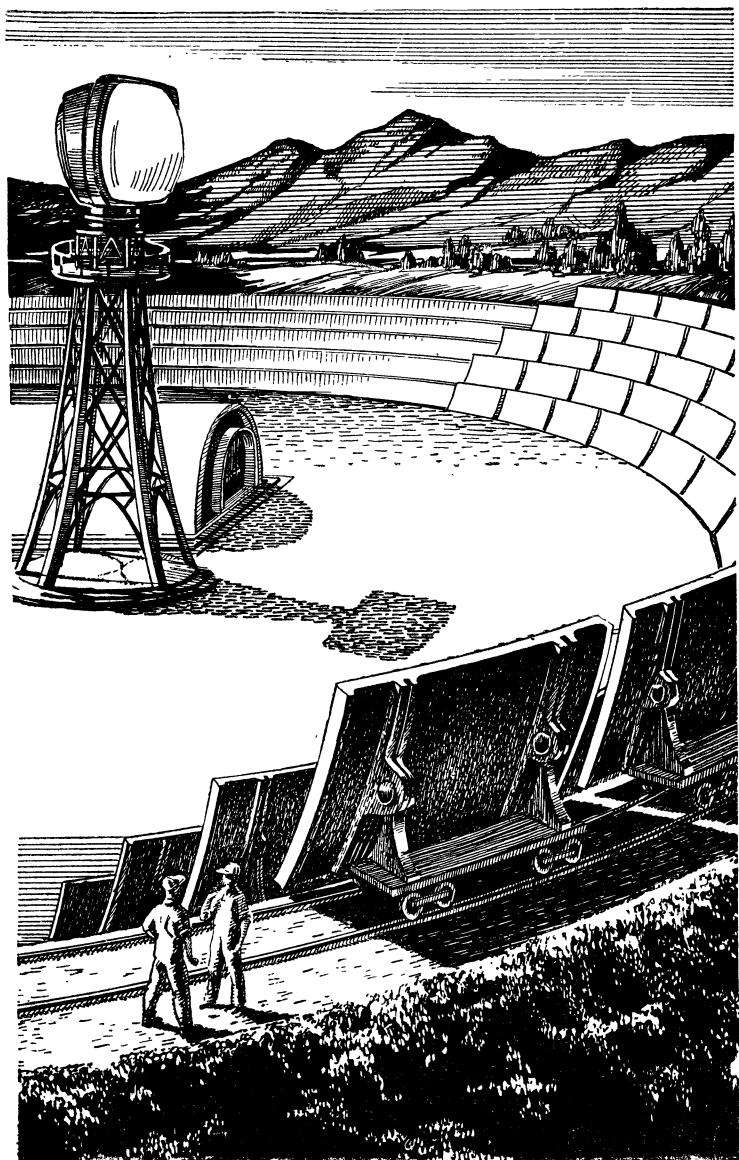
Второй путь — концентрация солнечных лучей с помощью больших зеркал для обогрева обычного парового котла. Такие установки существуют довольно давно. В некоторых странах с солнечным климатом начинают



Эту колхозную баню отапливает солнце. Весь уход за нагревателями заключается в протирке стекол от пыли

широко распространяться работающие на этом принципе солнечные кипятильники, солнечные кухни. История техники знает несколько энергетических установок небольшой мощности, действовавшие на том же принципе. И надо сказать, в ряде случаев они работали неплохо.

Спроектированная в гелиолаборатории Энергетического института им. Г. М. Кржижановского АН СССР солнечная теплосиловая электростанция мощностью 1200 киловатт использует этот принцип. Правда, в ее конст-



Проект гелиоэлектростанции для Араратской долины

рукции воплощен ряд оригинальных решений, значительно ее улучшающих, но не меняющих основного. И в ней 1300 «зайчиков», отраженных зеркалами размером три на пять метров, будут автоматически направляться на черную поверхность парового котла и кипятить в нем воду. Образующийся пар с температурой около 400—500° и давлением в 30—35 атмосфер приведет в действие турбину, связанную с электрогенератором мощностью 1200 киловатт. Отработанный пар давлением 2 атмосферы в количестве 13 тонн в час будет использоваться для технологических целей.

Мы надеемся, что эта электростанция будет построенная. На ее опыте можно будет проверить ряд различных схем. Ее расчетный КПД должен составлять 15—17 процентов. Это не так уж мало.

* *
*

Нет ли, однако, других возможных схем солнечных электростанций будущего с особым, своим собственным преобразователем тепла, а не заимствованным из старых котельных ТЭЦ?

Поиски такого преобразователя ведутся давно. В первую очередь логично обратиться к природе: не осуществляется ли где-нибудь в ее волшебных лабораториях необходимое преобразование? И оказывается, осуществляется и в огромных масштабах.

Делает это зеленое зернышко хлорофилла в клетке листа растения. Оно аккумулирует энергию солнечного луча, заковывает ее в длинные и прочные цепи органических молекул. Сжигая дрова в печи, мы разрушаем эти молекулы и освобождаем энергию солнечных лучей.

Ученые подсчитали КПД этого совершающегося повсеместно в природе превращения. Он оказался очень небольшим, для культурных растений 1—2 процента. Если прибавить еще все те потери, которые неизбежны при дальнейших превращениях энергии в тепловых электростанциях, в которых сегодня используют энергию топлива, то получится еще более мизерный результат. Биологи, растениеводы, работая над важнейшей задачей повышения КПД фотосинтеза, нашли, что очень интенсивно этот процесс идет у некоторых видов водорослей. Опыты с

ними проводились в Японии, США и других странах. В условиях максимально благоприятных температур, при повышенном содержании углекислого газа удавалось вырастить очень солидный урожай — до 50 и выше тонн водорослей на гектар бассейна. Подсчеты показывают, что если будет достигнут теоретически возможный КПД фотосинтеза, равный примерно 12,5 процента, и удастся снимать по 250 тонн водорослей с гектара, то в этом случае электроэнергия, вырабатываемая электростанцией, сжигающей в сухом виде водоросли или использующая полученный в специальных бродильных чанах метан, уже не будет слишком дорогой. Но пока фотосинтез может считаться перспективным только для получения пищевых продуктов, но не энергетического топлива.

Иногда говорят: «Как все совершенно в природе и как несовершенно в технике...» Так ли это?

Перед нами обыкновенный бык — это еще пока основной «двигатель» во многих слаборазвитых странах. Посмотрим на эту «машину» глазами инженера.

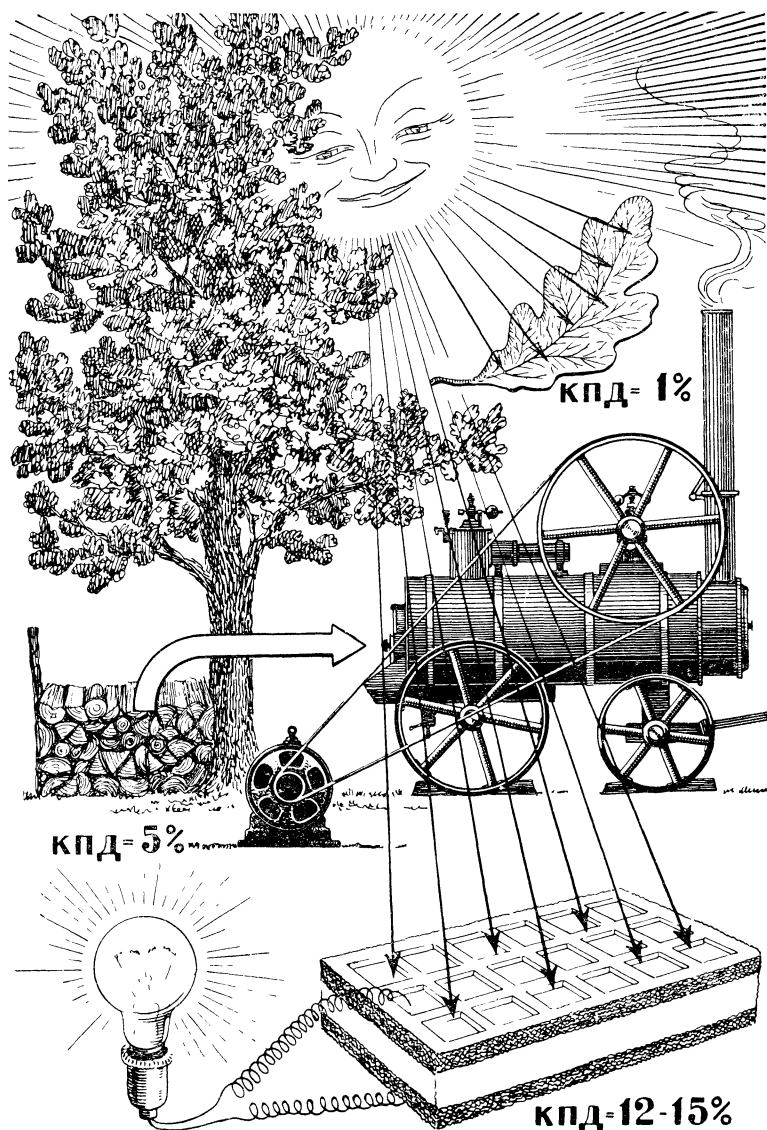
Велик ли его КПД? У растения — 1 процент, а у быка?.. Бык пожирает зелень и на пахоте отдает землепашцу всего 2—3 процента от той энергии, что была в съеденной зелени. 2—3 от 1 процента! Это 0,05 процента. Иными словами, бык пожирает почти все растения, которые помогает вырастить!

Физики сумели найти лучшие пути. И даже не один, а несколько.

Первый был открыт еще в 1821 году немецким ученым Т. Зеебеком, который, как мы уже говорили, установил, что если спаять концы двух проволок из разных металлов, а затем этот спай нагреть, то по проволочкам пойдет электрический ток. Мы обычно называем теперь такой ток термоэлектричеством, а устройство из двух проволок — термоэлементом.

Во времена Зеебека коэффициент полезного действия таких термоэлементов измерялся десятками и сотыми долями процента. Однако в последние годы его удалось поднять до 7 процентов. Вспомним, что это предельный практически достигнутый КПД паровоза.

Батареи термоэлектродвигателей могут также обогреваться солнечными лучами. Даваемая ими электрическая мощность будет в этом случае тем больше, чем большее количество лучистой энергии в единицу вре-



Разве можно сравнить коэффициент полезного действия, уже сегодня достигнутый в полупроводниковых гелиоэлектростанциях, с тем, которые обеспечивают включение в цепь превращений природного фотосинтеза

мени будет сконцентрировано на них. Сейчас мы не можем сказать, как скоро этого типа устройства станут рентабельными. Солнечный термоэлектрогенератор мощностью в 40 ватт, сконструированный в гелиолаборатории Энергетического института АН СССР, был опробован еще в 1955 году.

Второй путь был изучен в 1888 году русским ученым А. Г. Столетовым, работавшим с фотоэлементами. Суть фотоэлектрических явлений заключается в том, что под действием лучей света в некоторых веществах появляется электрический ток, энергия световых лучей превращается в электрическую.

На первых порах КПД этого превращения тоже был очень мал. Еще в 1953 году считали, что он вряд ли будет превосходить 0,6 процента. А уже в 1954 году кремниевые фотоэлементы позволили осуществлять такое превращение с КПД, равным 6 процентам. В настоящее время эта цифра более чем удвоена. Фотоэлементы сейчас производятся в СССР, США, ФРГ... Есть основания предполагать, что их КПД можно «дотянуть» и до 20 процентов.

Наверное, не надо добавлять, что эти-то вот фотоэлектрические превращения наряду с термоэлектрическими и являются перспективными для преобразования энергии солнечных лучей в электричество. Тоненьким пластинкам полупроводников, в которых возникает порождаемый солнечными лучами поток электронов, суждено заменить громоздкий, неудобный комплекс устройств, состоящий из парового котла, паровой турбины электрогенератора, конденсатора, насосных установок и т. д.

Что же надо сделать, чтобы открыть дорогу гелиоэнергетике. Прежде всего разработать технологию получения дешевого сверхчистого кремния и некоторых других химических элементов, свойства которых позволяют их применять в фотоэлектродгенераторах.

Может быть, кремний редкий элемент? Да ничего подобного! В одном ведре обычного речного песка содержится столько кремния, что его с избытком хватит на то, чтобы покрыть пластинками фотоэлемента несколько квадратных метров площади.

Все дело в технологии его получения. Сейчас этот

материал чрезвычайно дорог. Примерно в 100 раз дороже обычного получается «солнечное» электричество.

Первые шаги кремниевой энергетики

С тех дней, когда я, сразу же после встречи с профессором В. А. Баумом записал его слова, прошло несколько лет. Стремительно развивающаяся техника успела за эти годы подтвердить прогнозы ученого, в том числе и главный: будущее гелиоэнергетики в полупроводниковой технике. Ведь сегодня полупроводниковые гелиоэлектростанции уже работают, выполняют чисто практические задачи.

Первое применение они нашли в космическом пространстве.

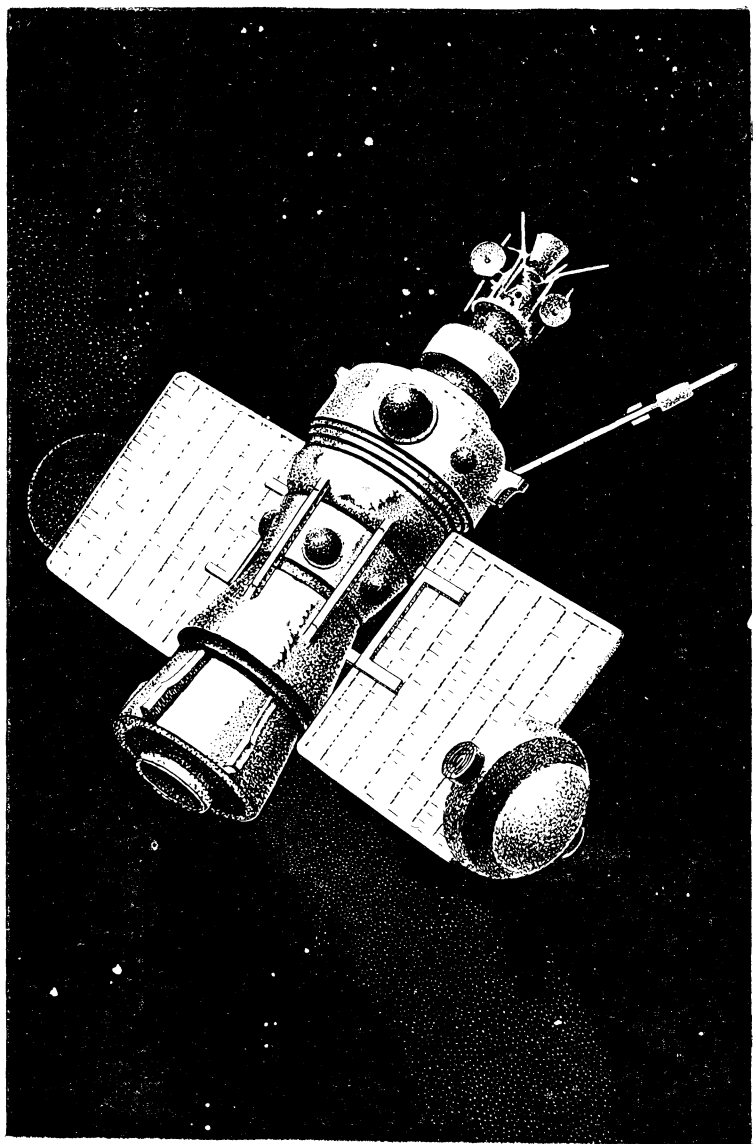
Кремниевые полупроводниковые электростанции применялись и на многих искусственных спутниках нашей планеты, и на многих автоматических станциях, отправленных на разведку соседних планет советскими и американскими учеными. Они показали себя с самой хорошей стороны.

Ученые полагают, что вообще будущее космической энергетики — в полупроводниковых пластинах, подставивших лучам Солнца, как паруса ветру, свои иссиня-черные поверхности. И под этими парусами будут осуществлять плаванья вблизи Солнца, скажем, не дальше марсианской орбиты, космические лайнеры землян.

Там, в космосе, идеальные условия для работы полупроводниковых гелиоэлектростанций. Там чуть ли не вдвое интенсивнее поток солнечных лучей. А ближе к Солнцу — он еще и еще возрастает. Там нет ни облаков, ни туманов, ни смены дня и ночи... Кроме того, там нет тяжести. И гигантской величины полупроводниковые стены, толщиной не больше конфетной фольги, можно ставить перпендикулярно солнечным лучам без всяких опор и креплений.

Может быть, с таких космических электростанций будет когда-нибудь снабжаться энергией и промышленность нашей планеты....

Впрочем, в самое последнее время кремниевые гелиоэлектростанции спустились и на Землю. Их мощности еще невелики — от 300 до 1000 ватт, — но они уже прак-



В бесконечном пространстве космоса, в потоках жарких лучей солнца уже не раз подтверждали свои великолепные возможности полупроводниковые гелиоэлектростанции

тически испытываются, отрабатываются лучшие конструктивные варианты.

Они и на Земле похожи на паруса — медленно поворачивающиеся навстречу Солнцу, словно гофрированные, сверкающие плоскости. Ребристость их поверхностей заранее рассчитана и продумана. Сами ребра — это зеркальные конденсаторы. Они в два с половиной раза увеличивают освещенность фотоэлементов, расположенных на «дне» панели. Панели установлены на специальных устройствах, которые могут поворачивать их в любом направлении и наклонять под любым углом, так чтобы они всегда были повернуты «лицом» к Солнцу. Общая мощность установки, о которой идет речь, равна одному киловатту. Площадь его фотопреобразователей должна составлять 6—8 квадратных метров, а площадь зеркальных поверхностей превосходить 10—13 квадратных метров.

Ночью установка электрического тока не вырабатывает. Зато с первыми лучами зари она поворачивается на восток. Но, скажем, насос, который она приводит в движение, еще не работает, он включается только после того, как электрическая мощность достигнет определенной величины. Ток тем не менее и под слабыми скользящими лучами Солнца вырабатывают кремниевые фотоэлементы. Этот ток используется для зарядки аккумуляторов, энергия которых питает устройство, поворачивающее паруса установки вслед за Солнцем, и переводит их из вечернего положения в утреннее.

Но вот огненный шар Солнца выкатился на небосвод. Количество вырабатываемой электроэнергии достигло заданной величины, и тут же автоматически включился электродвигатель насоса, качающего из скважины воду. Невелика вроде бы мощность установки — мы привыкли читать об агрегатах мощностью в тысячи, десятки и сотни тысяч киловатт. Но ее достаточно, чтобы подать за день из колодца или скважины глубиной в двадцать метров до пятидесяти кубических метров воды.

Еще выше поднялось Солнце. И избыток вырабатываемой электростанцией энергии снова полился в аккумуляторы управления...

Так работает эта опытная гелиоэлектростанция. Она полностью автоматизирована. Человеку нечего делать

около нее во время работы. Мало того, она вообще не требует ежедневного обслуживания. Обслуживающий ее мастер может не прикасаться к ней несколько дней.

Совершенно очевидно, в первую очередь найдут применение именно такие автоматические электростанции. В нашей стране около 300 миллионов гектаров пастбищ расположены в южных районах страны, там, где много дней в году полыхает в чистом-чистом небе яростное солнце. Воды же там, как правило, не хватает. Вода обычно находится глубоко под землей. Поднять ее на поверхность — вот благородная задача нашей гелиоэнергетики.

Ну, а стоимость ее? Стоимость пока высока. К тому же установка, о которой мы говорим, опытная. И все же уже сейчас поднятый ею кубометр воды обходится дешевле, чем если бы его поднимали вручную, без механизации. А стоимость такой электростанции ведь может быть снижена при серийном производстве в десять раз только за счет механизации и автоматизации. Может быть уменьшен и расход драгоценного сверхчистого кремния, если перейти к изготовлению «пленочных» элементов.

Ветер — буян и лентяй

Ветер...

Энергия пятого океана — так нередко называют воздушный океан — колоссальна. По подсчетам ученых, ветер может дать в 3000 раз больше энергии, чем человечество получает сейчас из угля, сжигаемого во всем мире. Так, может быть, надо пересмотреть наше отношение к этому источнику энергии?

Да, бесспорно, ветер может сыграть большую и полезную роль. Только надо найти способы борьбы с его непостоянством.

Такие способы существуют. Их несколько. Первый — применять энергию ветра для тех работ, которые не требуют особой непрерывности.

Отличительной деталью голландского пейзажа издавна является ветряная мельница. Их там много тысяч. Они медленно вращают свои крылья, приводя в большинстве случаев в движение насосы для откачки воды. Вот работа, которая отнюдь не требует обязательной непрерывности, результаты которой можно накапливать.

В нашей стране есть масса плодороднейших земель, обделенных водой. Воду для потребления людей и водопоя скота в таких местах можно получить только из колодцев глубиной нередко свыше 150—200 метров. Нелегко с такой глубины достать даже одну бадью воды! А если надо напоить целое стадо?

Вот в таком-то месте и может быть очень полезен ветродвигатель, приводящий насос. Есть ветер — он качает из-под земли воду в гигантский бак водокачки, а то и в пруд — про запас. Прекратился ветер — используется запасенная им вода.

Широчайшее применение может найти энергия ветра и для подачи воды на поля, молодые лесопосадки и т. д. Здесь тоже вполне можно мириться с неравномерностью энергии ветра.

Кстати, и в Целинном крае, в колхозах и совхозах, ветряк, качающий из скважины воду, стал обязательной деталью пейзажа.

Тысячи и тысячи дешевых в массовом изготовлении ветряков, приводящих в движение насосы, работают на полях нашей страны, снабжая их живой влагой.

Второй путь широкого использования ветра в качестве источника энергии заключается в создании емких, дешевых и удобных аккумуляторов, способных накапливать энергию в то время, когда он дует особенно сильно, и отдавать ее, когда нет ветра и крыльчатка ветродвигателя застывает неподвижно.

Советский ученый профессор В. П. Ветчинкин и талантливый изобретатель А. Г. Уфимцев пошли именно по этому пути. Ими были предложены аккумуляторы энергии как для компенсации мгновенных изменений силы ветра, его порывов, так и для суточных и более длительных периодов затишья.

Мгновенные порывы ветра и даже затишья, длящиеся в течение нескольких минут, по мысли этих изобретателей, было целесообразнее всего компенсировать инерционным аккумулятором — тяжелым маховиком, разгоняемым силой ветра. В Курске Ветчинкин и Уфимцев построили ветродвигатель, соединенный с генератором электрического тока. Мгновенные и минутные изменения в силе ветра компенсировались на этой установке именно инерционным аккумулятором. Применение его здесь было целесообразно.

Ну а как быть в случаях, когда в течение целых недель дым из труб поднимается серо-голубым столбом вертикально вверх, не шелохнутся ветви деревьев, воздух недвижим.

Для компенсации таких длительных затиший инерционный аккумулятор явно непригоден. Поэтому для компенсации длительных затиший Ветчинкин и Уфимцев рекомендуют запасать энергию в других формах — химической, тепловой или потенциальной. К сожалению, их рекомендации пока не воплотимы в жизнь. Судите сами.

Наиболее прост аккумулятор энергии последнего типа. Он представляет собой насосную установку, приводимую в действие от ветродвигателя в те периоды, когда ветер дует с силой, выше средней для этого района. Насосная установка перекачивает воду в расположенное на некоторой высоте водохранилище. В периоды безветрия эта вода спускается из водохранилища и вращает лопасти гидравлических турбин.

Как мы видим, аккумуляторы этого типа чрезвычайно громоздки и далеко не везде осуществимы. Чтобы применить их, надо обязательно иметь находящееся на возвышенном месте водохранилище, устанавливая насосы и гидравлические турбины, которые большую часть времени бездействуют. И все-таки есть случаи, когда такое аккумулирование может оказаться крайне выгодным. Кандидат физико-математических наук Б. Б. Кажинский предложил, в частности, использовать в качестве такого гидроаккумулятора озеро Севан, расположенное в горах Армении на высоте 1916 метров над уровнем моря. Вода, подаваемая в это озеро в периоды сильного ветра с помощью гигантских ветроэлектростанций, стекая, должна проходить через турбины Севано-Разданского каскада гидроэлектростанции.

Громоздкой получается и схема химического аккумулирования энергии ветра. По этой схеме предполагается направлять электрическую энергию, вырабатываемую ветроэлектростанцией, в специальные устройства для разложения воды на кислород и водород. Кислород поступает в народное хозяйство страны для использования, а водород хранится в газгольдерах ветростанции. На водороде в качестве горючего работает включаемый в период безветрия специальный двигатель внутреннего сгорания.

Тепловые аккумуляторы — третий вид аккумуляторов, предложенный Ветчинкиным и Уфимцевым, — представляют собой большие цистерны с прочными и хорошо теплоизолированными стенками. В них находится вода, нагреваемая электроподогревателями до высокой температуры. Тепловая энергия, запасенная в этих цистернах, может использоваться и для отопительных и для энергетических целей: снижая давление, превращая воду в пар, можно потом заставлять ее работать в паровых машинах или турбинах. По расчетам авторов предложения, тепловые аккумуляторы могут оказаться в некоторых случаях в 300—500 раз экономичнее, чем электрические той же емкости. Общим недостатком всех этих проектов аккумуляторов является, кроме их громоздкости, необходимости держать в резерве крупные мощности дублирующих двигателей другого типа, которые простаивают во время работы ветродвигателя, и их сравнительно невысокий коэффициент полезного действия. Поднятая в водохранилище вода будет испаряться, не говоря уж о том, что часть энергии потеряется при работе насосной и гидротурбинной установок. Коэффициент полезного действия гидроаккумулятора составляет всего 40—50 процентов, а резервной станции с двигателем внутреннего сгорания, работающим на водороде в качестве горючего, вряд ли превзойдет 35 процентов. Еще ниже будет коэффициент полезного действия станции с паровой машиной или турбиной, не говоря уже о потерях тепла при хранении горячей воды в цистернах — теплоаккумуляторах. Ни одно из рассмотренных устройств при практическом исполнении не сможет, видимо, превратить в электрическую энергию свыше 50 процентов от затраченной.

Что бы вы сказали о сберегательной кассе, которая не только бы не платила вам проценты на вклады, но и возвращала меньше половины вашего вклада — сорок, а то и двадцать рублей с каждой сотни? А именно таким дырявым хранилищем оказываются все эти аккумуляторы для компенсации длительных затиший ветра. Поэтому они и не нашли до сегодняшнего дня практического применения.

Значит, ветер всегда сможет выполнять только узко ограниченный круг работ, применяться только для привода насоса и ни в каких больше случаях? Ученые отвеча-

ют на этот вопрос: «Нет». Ветер может быть универсальным работником. Он может сам себя компенсировать.

Над картой ветров

Ученые составили карту ветроресурсов нашей страны. Более чем над двумя третями ее территории ветры дуют со среднегодовой скоростью в 5 и более метров в секунду. Это обеспечивает 200—250 рабочих дней для ветросиловых установок в год. А ведь современные ветряки могут работать и при меньшей скорости ветра.

И самое главное — никогда не бывает в нашей стране повсеместного затишья. Если ветер не шелохнет кончика стяга на кораблях, стоящих у Кронштадтского пирса, то это отнюдь не значит, что на Черном или Каспийском море не бушует шторм. Штиль в Волгограде и Куйбышеве не означает, что в Белоруссии не дует ровный, сильный ветер.

В этом отношении наша страна отнюдь не является исключением. Скорее, это общее правило. На земном шаре не бывает одновременно везде одинаковой безветренной погоды. Затишья всегда носят местный характер. Американские ветроэнергетики исследовали постоянство, скорость и направление ветров на территории восточной половины Северной Америки, от реки Миссисипи до берегов Атлантического океана и от границы Канады до Мексиканского залива. И оказалось, что периодов полного затишья по всей этой территории не бывает никогда.

Так почему бы не объединить ветроэлектростанции в единую систему, соединив их линиями высоковольтных передач? Будут работать те ветроэлектростанции, в районе которых дует сильный ветер. Они снабдят электроэнергией и свои районы, и те, в которых временное затишье. Ветер сам компенсирует недостаток ветра.

Американские инженеры разработали проект такой ветроэнергосистемы. В разных концах страны по этому проекту должно быть построено 50 групп электростанций по 10 установок в каждой группе при мощности около 7500 киловатт на каждую установку. По мнению американских ветроэнергетиков, эта система может гарантировать постоянную, довольно значительную мощность.

Такую систему использования энергии ветра горячо поддерживал еще в 1925 году академик Г. М. Кржижа-

новский. Он писал: «Единственный выход — создание общегосударственной сети электропередач, которая явится великолепным аккумулятором и регулятором всей ветросиловой энергии, ибо, будучи раскинута по всей стране, она гарантирует от интервалов местного затишья ветров».

Этот принцип может быть положен в основу организации ветроэнергетики в нашей стране. Ветроэлектростанции должны быть включены в общую энергосистему страны. Дует сильный ветер, и вырабатываемая ветроэлектростанциями энергия питает моторы электричек, освещает улицы и квартиры, приводит в движение станки фабрик и заводов. Затих ветер, и поднимаются затворы гидротурбин, начинают работать тепловые электростанции. Да и из других районов, где дует ветер, подают энергию ветроэлектростанции в общую сеть высоковольтных линий.

Турбина в воздухе

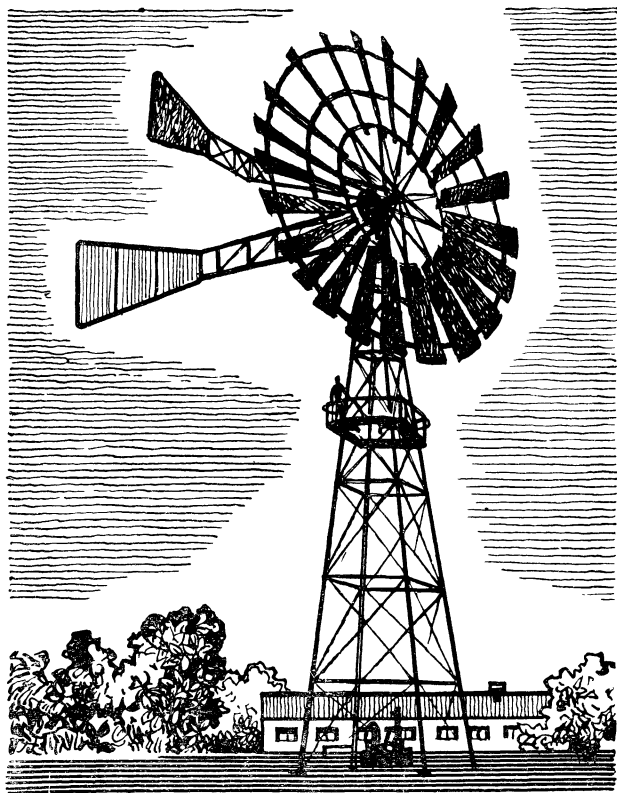
Ветряные двигатели для подъема воды и размола зерна применялись в древнем Египте еще за 3600 лет до нашей эры.

Интересной особенностью ветродвигателей является то, что за пятьдесят пять веков своего существования они почти не изменились. В Англии есть ветряная мельница, построенная в 1665 году. Несмотря на свой трехсотлетний возраст, она работает и сейчас.

Типичными представителями таких прошедших сквозь столетия ветросиловых установок являются голландские мельницы с поворачивающейся по ветру верхней частью, так называемым шатром. Они имеют обычно по четыре обтянутых парусиной или деревянных крыла диаметром до 30 метров, делающих в зависимости от силы ветра 6—12 оборотов в минуту. Мощность их достигает довольно солидной величины — до 50 лошадиных сил. А коэффициент полезного действия редко превосходит 10 процентов. Ветер пролетает, обтекает их лопасти, почти не отдавая своей силы.

Многолопастные тихоходные ветряки, широко распространенные сейчас в сельском хозяйстве многих стран, впервые появились в 1870 году в Америке. Их основные достоинства состоят в том, что они могут трогаться с места при невысоких скоростях ветра, всего в 2,5—3 метра в секунду. Они доступны для заводского изготовления.

Примером такого ветросилового двигателя может служить ветродвигатель ТВ-8 мощностью до 6 лошадиных сил. Его целесообразно использовать для привода сельскохозяйственной насосной установки, способной подавать в час до 6 кубических метров воды (в каждом куби-



Тихоходный ветродвигатель. Его преимущество — способность работать при малой скорости ветра

ческом метре содержится 80 ведер воды). Этот ветродвигатель может быть подключен и к мельничной установке с часовой производительностью до 200 килограммов муки.

Еще меньшим ветродвигателем является машина марки ТВ-2,5, имеющая ветроколесо велосипедного типа диаметром всего в 2,5 метра. Служит этот ветродвигатель

для подъема воды из колодцев при помощи непрерывной ячеистой ленты. Производительность такой водоподъемной установки достигает двух кубометров в час. Сборку и разборку этого водоподъемника можно осуществлять за 2—3 часа. Весит он всего около 200 килограммов, поэтому сравнительно легко переносится от одного колодца к другому.

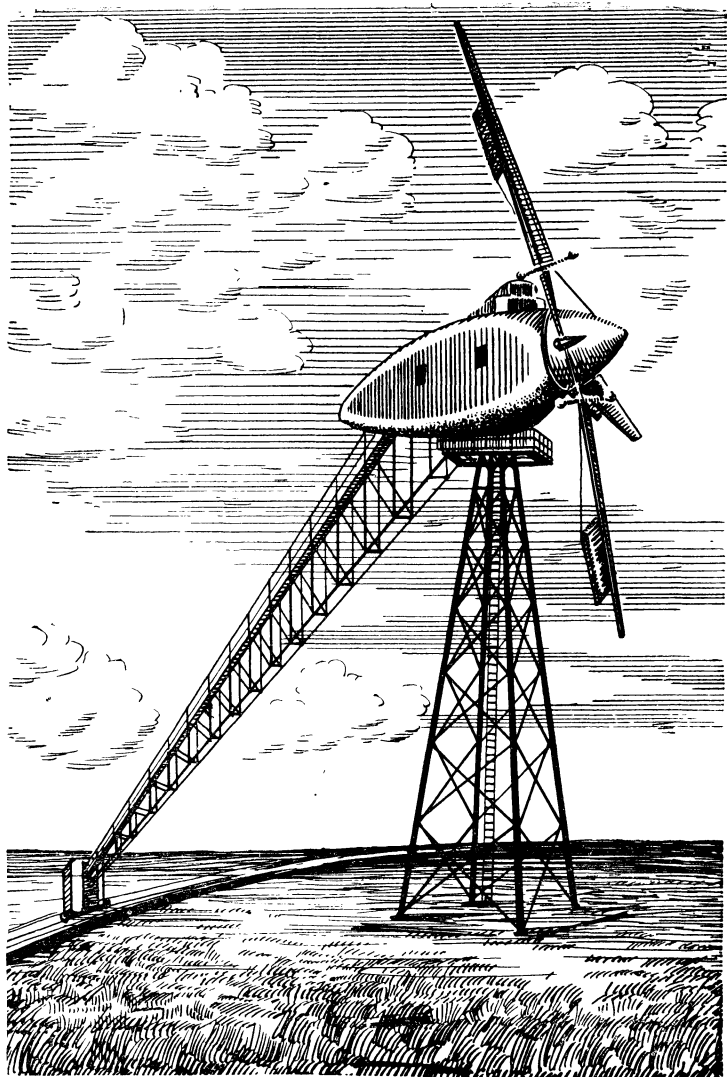
В последнее время создана новая усовершенствованная конструкция такого ветроводоподъемника. «Велосипедное» многолопастное колесо в ней заменено шестилопастным. Все производственные показатели у нового ветроводоподъемника в результате этой замены только улучшились.

Ветровые колеса многолопастных ветродвигателей — громоздкие тяжелые сооружения. Они редко бывают диаметром более 8 метров и мощностью свыше 6 лошадиных сил. Очень удобные в сельскохозяйственном производстве, они тем не менее не смогут стать тем типом двигателя, который станет основным на промышленных ветроэлектростанциях.

Научные основы расчета ветросиловых установок заложены работами русского ученого Н. Е. Жуковского. Лопасть гидравлической турбины и лопатка паровой турбины, ветроколесо и крыло самолета, пропеллер и крыльчатка центробежного насоса — все эти, очень различные на первый взгляд элементы механизмов, как оказалось, подчиняются одним и тем же законам. Жуковский и вывел изящные математические формулы, с помощью которых можно рассчитать силы, действующие на эти элементы. И только после этого смогли появиться быстроходные современные ветродвигатели.

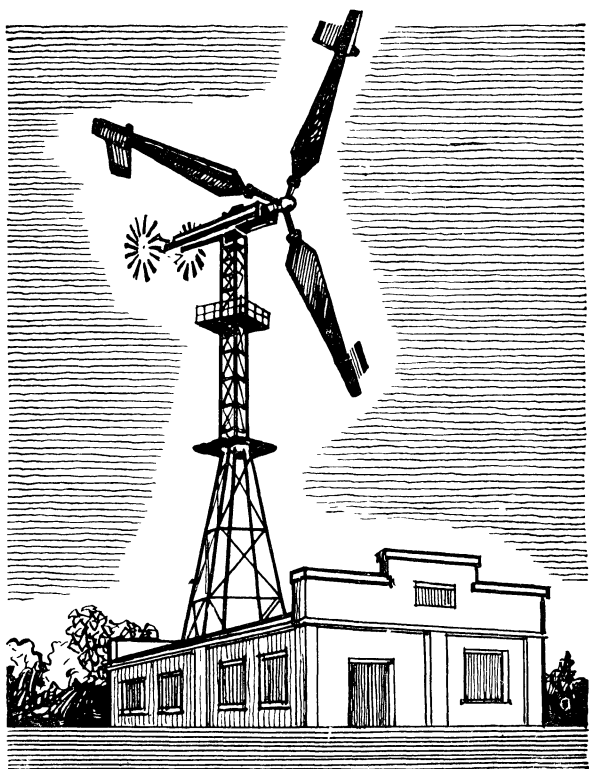
Такие двигатели могут иметь значительно большую мощность, чем тихоходные ветровые колеса, а значит, и значительно больший диаметр омываемой их лопастями площади круга — до 250 и более квадратных метров. Но зато лопастей они имеют не 18—24, как тихоходные ветросиловые колеса, а всего 2 или 3.

Коэффициент полезного действия, или доля энергии, которую отдает ветер, проходя через площадь, омываемую лопастями таких двигателей, достигает 42 процентов. У тихоходных двигателей он не превосходит 30 процентов. Теоретические расчеты показывают, что выше 59—69 процентов этот коэффициент (его называют коэф-



Крупная ветросиловая установка ЦАГИ-Д-30 мощностью до 100 киловатт

фициентом использования энергии ветра) подняться не может. Это и понятно: ветер отдает лопастям ветряка свою кинетическую энергию. Если он отдаст ее целиком, поток воздуха за колесом должен будет остановиться. Представить себе, как воздушный поток, долетев до вет-



Быстроходный ветродвигатель. Он лучше противостоит ветрам и штормам

роколеса и омыв его лопасти, останавливается, довольно трудно.

Ветродвигатель такого типа, к примеру Д-18, развивает при ветре в 8 метров в секунду мощность до 27 киловатт. Его ветроколесо имеет 3 лопасти, делающие до 70 оборотов в минуту. Работать он, как и все быстроход-

ные ветродвигатели, начинает при более значительной скорости ветра, чем тихоходные — при 4,5 метра в секунду. Однако во многих районах среднеазиатских республик он может нормально работать в течение 250 дней в году, подавая за год работы с глубины 20—30 метров до 800 тысяч кубических метров воды. Если же вырабатываемую им электроэнергию использовать в опреснителях, то можно получить в сутки до 340 литков чистой, пригодной для питья воды.

Уже при скорости ветра в 4 метра в секунду ветроэлектростанция дает 3—4 киловатта полезной мощности. При скорости ветра в 9 метров она развивает свою максимальную мощность — 35 киловатт, которую сохраняет даже в бурю. Выравнивание числа оборотов ветроколеса осуществляется автоматическим регулятором. При скорости ветра свыше 35 метров в секунду ветродвигатель Д-18 автоматически останавливается.

Самый мощный быстроходный ветродвигатель ЦАГИ-Д-30, построенный в нашей стране, имел мощность в 100 киловатт. Он был сооружен под руководством инженеров Н. В. Красовского и В. Р. Секторова в Крыму близ Балаклавы еще в 1931 году и был тогда самым мощным в мире. Он честно проработал, отдавая выработанную электроэнергию в общую сеть с Севастопольской тепловой электростанцией, вплоть до временной оккупации Крыма войсками фашистской Германии, которые и разрушили его.

Самой мощной в мире из когда-либо построенных ветроэлектростанций является экспериментальная ветросиловая установка в штате Вермонт (в США), спроектированная инженером Путнем. Она была пущена в эксплуатацию в октябре 1941 года. Двухлопастный винт ее ветряка имел диаметр 53 метра, лопасти были выполнены из нержавеющей стали.

При резких порывах ветра сияющий диск, описываемый лопастями этого ветродвигателя, превращается в конус, лопасти складываются, как зонтик. Впрочем, они способны выдержать скорость ветра до 62 метров в секунду.

Мощность этой ветроэлектростанции, вставшей на вершине холма, овеваемой в течение полугода ветрами, дующими со скоростью выше 13 метров в секунду (на такую скорость ветра она и была рассчитана), составляла

1250 киловатт. Один раз в период эксплуатации за 143 часа непрерывной работы эта ветроэлектростанция отдала в сеть 81 780 киловатт-часов электроэнергии.

В нашей стране разработаны, но, к сожалению, до сего дня не воплощены в металл проекты ветроэлектростанций и большей мощности. На одном из них стоит остановиться особо. Это «ветросиловая плотина», проект которой предложен теми же энтузиастами ветроэнергетики — В. П. Ветчинкиным и А. Г. Уфимцевым.

Плотина в воздухе

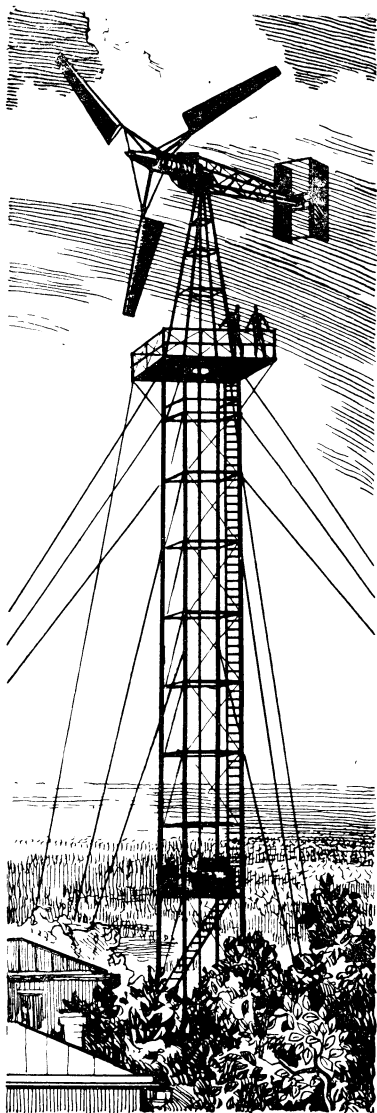
Бесконечные количества энергии разлиты в волнуящемся, кипящем, взвихренном воздуховоротах воздушном океане. А использовать из этого гигантского количества мы можем лишь едва заметные крохи. Во всяком случае, мощность всех описанных видов ветросиловых устройств несоизмеримо мала по сравнению с общей мощностью ветра. Она кажется чрезвычайно низкой, мизерной и по сравнению с мощностью тепловых и гидравлических электростанций. Даже самая первая в мире атомная электростанция и то оказалась в 50 раз мощнее самой большой из осуществленных в нашей стране ветроэлектростанций. Ведь только для электрификации отдаленных колхозов, выкачивания воды из колодцев среднеазиатских пустынь да снабжения энергией зимовок полярников в Арктике и достает их энергии.

Заглядывая далеко вперед, в будущее, Ветчинкин и Уфимцев предложили свой проект ветросиловой плотины.

Настанет время, и такие плотины обязательно будут построены в тех районах нашей страны, где почти непрерывно дуют сильные ветры. И не как бедные родственники в общей семье наших электростанций разных типов, а как равные отдадут они мощные потоки своей энергии в гудящие провода высоковольтных линий передач.

Настанет время, и взору автомобилиста, вырулившего свою машину на Крымское ли плоскогорье, на берег ли Каспийского моря или, может быть, к вершине одной из Хибинских гор, предстанет удивительное зрелище.

Он увидит гигантский сверкающий ромб, поставленный острым концом на гигантский подшипник. 350 метров — высота и 500 метров — ширина этого ромба, словно сплетенного из ажурного металлического кружева.



Этот ветродвигатель построил в Курске известный русский ученый и механик Уфимцев. Ветро-двигатель был разрушен фашистами в 1941 году

Перпендикулярно к его поверхности отходят горизонтальные мачты, на которых укреплена плоскость хвостового оперения.

Поверхность ромба сверкает под лучами солнца бесчисленными полупрозрачными дисками. Это стремительно вращаются ветроколеса диаметром по 20 метров каждое. Из 224 штуки. Каждое работает на свой электрогенератор. Все вместе, горящие полированным алюминием, они создают впечатление огромного щита, усыпанного сверкающими драгоценными камнями.

Ветросиловая плотина, повернувшая к струям ветра свою широкую грудь, покажется, может быть, почти невесомой. Между тем вес всех ее конструкций составит около 10 тысяч тонн. Нелегко выдержать такую тяжесть, к тому же усиленную натяжными канатами. Немало сложных задач решили конструкторы такой ветросиловой плотины, прежде чем на ватман легли линии окончательного проекта. Здесь и прочность ажурной фермы, ее устойчивость, сочетающаяся с гибкостью, и вопросы

борьбы с неожиданными порывами штормового ветра. Теперь поработать придется строителям.

...Крутятся с легким серебряным звоном пропеллеры ветряков. В многочисленных генераторах рождается электрический ток. 100 тысяч киловатт — мощность, развиваемая ветросиловой плотиной. Высоковольтные линии разбегаются в разные стороны от голубовато-серого здания подстанции, вставшей здесь же, у подножия сверкающей ажурной стены.

Автомобилист на всю жизнь запомнит отпечатанный на фоне неба четкий кружевной узор гигантской ветроэлектростанции, использующей голубой уголь...

А надо ли строить такие ветросиловые плотины? Не целесообразнее ли создать много мелких ветроэлектростанций?

Ветчинкин и Уфимцев ответили и на этот вопрос.

«Чем дальше в лес, тем больше дров», — гласит мудрая русская пословица. «Чем выше в небо, тем больше ветра», — можно перефразировать ее сегодня. Если на высоте 16 метров над поверхностью земли ветер имеет скорость 4 метра в секунду, то это значит, что на 150-метровой высоте не затормаживаемый никакими препятствиями, столь обычными у поверхности Земли, он дует в это же время со скоростью 10 метров. А ведь мощность ветроколеса растет пропорционально третьей степени повышения скорости ветра. Вот первое основание целесообразности сооружения столь высоких ветросиловых плотин.

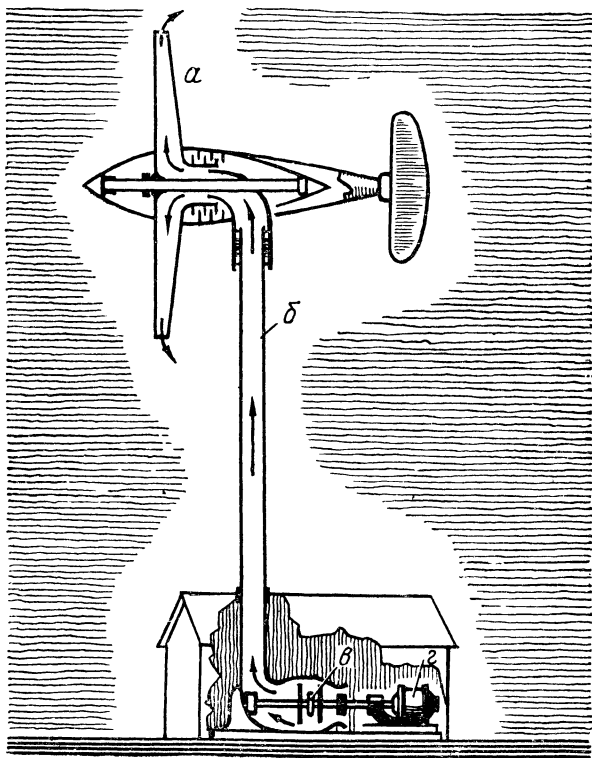
Есть и другое обоснование, чисто экономическое, а значит, решающее. Сооружение небольших ветроэлектростанций, эквивалентных по мощности, потребует в несколько раз больших затрат труда и металла. Несравненно более сложной и дорогой будет и их эксплуатация. Все это скажется и на стоимости вырабатываемой ими электроэнергии. Ведь по расчетам авторов, стоимость одного киловатт-часа вырабатываемой генераторами ветросиловой плотины электроэнергии не должна превышать 0,6—0,9 копейки — не должна быть дороже самой дешевой энергии, вырабатываемой гигантскими гидроэлектростанциями.

Ветросиловая плотина еще не воздвигнута, есть только небольшая ее действующая модель, построенная в

1956 году учениками Татауровской средней школы Кировской области. Но нам кажется, что рано или поздно ветросиловые плотины встанут на пути воздушных потоков.

Ветродвигатель качает воздух

Все существующие схемы ветроэлектростанций имеют один серьезный недостаток: в них электрогенератор или высоко поднят над землей и установлен на уровне оси ветрового колеса, или к нему ведет механический привод —



Ветер качает... воздух. Ветер вращает пустотелые лопасти (а) ветряка, и возникающие центробежные силы, выбрасывая из них воздух, создают разрежение в трубе (б). Подсасываемый в нее воздух и вращает ротор турбины (в), соединенный с электрогенератором (г)

длинные, связанные между собой коническими шестернями металлические штанги.

Французский инженер Арно предложил схему, свободную от этого недостатка. Он предусмотрел полые крылья с отверстиями на концах. С их полостями соединяется труба, ведущая от ветрового колеса вниз, на землю. На входе этой трубы и устанавливается турбина.

Ветер, как и у всех прочих ветроэлектростанций, начинает вращать ветровое колесо. Центробежная сила, развивающаяся при этом, выбрасывает воздух, содержащийся в пустых крыльях, наружу и создает в них вакуум. В этот вакуум устремляется по трубе снизу воздух. Проходя сквозь лопатки установленной внизу турбины, он вращает их, а заодно и электрогенератор, вырабатывающий электрический ток.

Таким образом, в этой схеме основной ветродвигатель используется только для того, чтобы создать поток воздуха, который приводит во вращение другой ветродвигатель, уже в свою очередь соединенный с генератором электрического тока.

На высоком скалистом западном берегу южной Англии, близ города Карнарвон, уже с 1954 года работает ветроэлектростанция мощностью в 100 киловатт. Она действует по схеме, предложенной французским инженером.

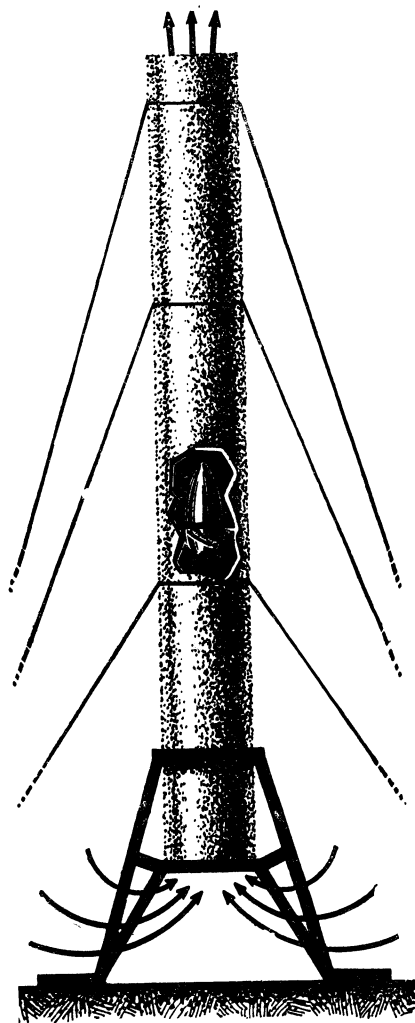
Тяга — тоже ветер

Искусственный ветер? Разве можно создать искусственный ветер? Начинаешь мучительно вспоминать, не было ли чего-либо подобного в литературе. Ничего, кроме рассказа барона Мюнхгаузена о невероятном ветроуде, дуновением из одной ноздри наполнившем паруса своего корабля, а ветром из другой разметавшем эскадру турецкого султана...

Каким же еще может быть «искусственный ветер»? Не воздуходувкой же создавать его и направлять на лопасти ветроколеса. Такой ветер дорого обойдется: чтобы поднять его, придется затратить больше энергии, чем можно получить от ветроколеса. Еще один пример негодного вечного двигателя.

А между тем искусственный ветер существует. И лучше всего об этом знают, как это ни странно, не ветроэнергетики, а теплотехники.

Около каждой ТЭЦ поднялись в небо, словно гигантские указательные пальцы, кирпичные или металлические



В каждой фабричной трубе, если хоть раз протопить топку, возникает тяга. Почему бы не использовать ее для получения энергии?

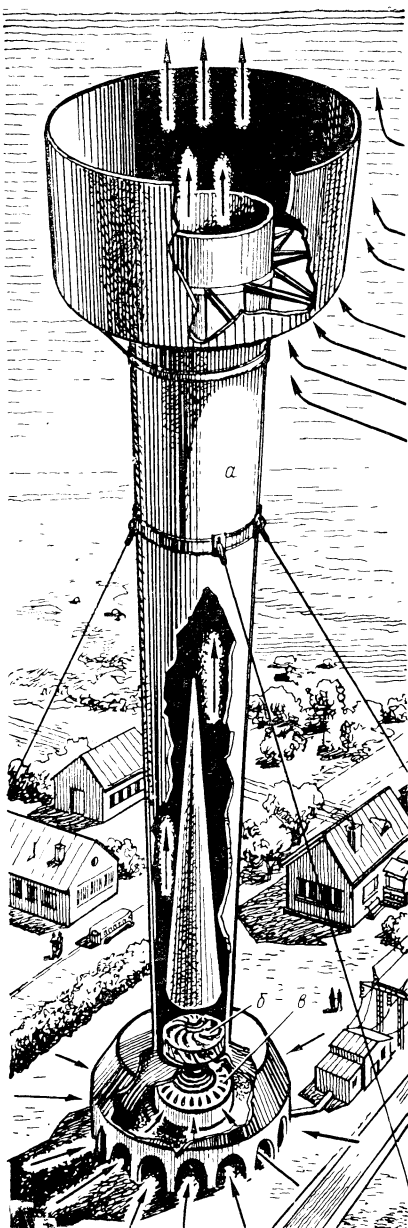
трубы. В настоящее время их стараются сделать повыше, главным образом для того, чтобы не отравлять топочными газами и не загрязнять золой окружающую атмосферу. Раньше же трубы старались сделать повыше еще и для того, чтобы была побольше тяга — тот самый искусственный ветер, который «тянет» из котельной в топку и в трубу.

Образуется тяга по ряду причин. Здесь играет роль и дующий на уровне верхнего отверстия трубы ветер, который как бы подсасывает из нее воздух. Но главная причина тяги в разнице температур газов горения внутри трубы и наружного воздуха. Как более легкие, нагретые газы устремляются вверх по трубе, и на их место в топку подсасывается холодный воздух из окружающей среды. Он также нагревается в топке и также устремляется вверх. Впрочем, тяга в высокой трубе будет существовать и в тех случаях, когда в топке не го-

рит огонь. Дело в том, что чем выше надземлей, тем холоднее воздух. Если трубу наполнить один раз более теплым воздухом, взятым из нижних слоев, то в дальнейшем это движение воздуха по трубе будет продолжаться непрерывно неограниченное количество времени.

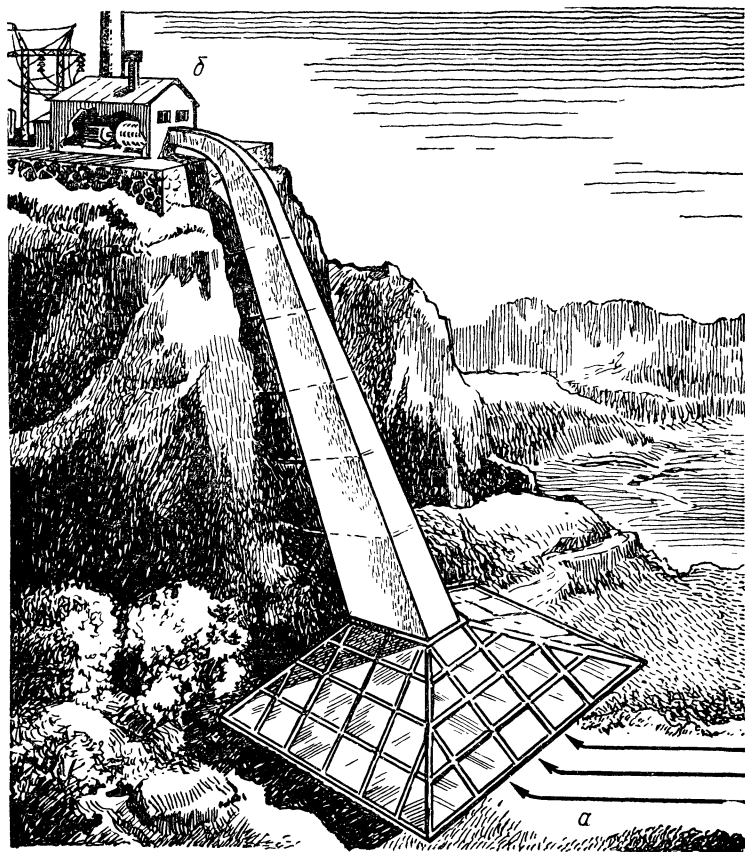
Сила естественной тяги в правильно сконструированных печных устройствах достигает значительной величины. Случаи, когда срывало с рабочих, находившихся в трубе, шапки и уносило их вверх, не редки. В одном из южных городов нашей страны подпольщики в годы фашистской оккупации пользовались этим искусственным ветром для распространения листовок: их бросали в

И это тоже пока фантастический, но вполне осуществимый проект электростанции, работающей на искусственном ветре. В гигантской трубе (а) возникает тяга за счет разниц температур воздуха у поверхности земли и в верхней части трубы. Потoki искусственного ветра вращают турбину (б), связанную с электрогенератором (в)



боров трубы, тяга подхватывала их, проносила сквозь трубу, и они падали на город, словно с неба.

Вот эту-то силу тяги, этот-то «искусственный ветер» решил использовать для энергетических целей французский ученый Бернард Дюбо. Свои ветросиловые установ-



Искусственный ветер в этой трубе возникает за счет разницы температур воздуха у раскаленной солнцем поверхности пустыни (а) и на поднятом над пустыней плоскогорье (б)

ки Дюбо предложил установить в Сахаре, где приповерхностный слой воздуха днем бывает чрезвычайно раскален. Над поверхностью земли он предлагал разместить стек-

лянные раструбы, постепенно сужающиеся в трубу большого диаметра — не менее 10 метров. Эта труба из теплоизоляционного материала, например пористого бетона, имеет длину около тысячи метров. Она прислонена к крутой стене горы и заканчивается наверху установленной в ее выходном отверстии воздушной турбиной.

Жаркое солнце Сахары раскаляет воздух под стеклянной крышей раструба, и он, свиваясь спиралью, устремляется в отверстие почти вертикально поставленной трубы. В ней бушует созданный и укрощенный волей человека смерч. Он не сможет причинить зла, этот смерч, ему некуда вырваться из трубы, кроме как на лопатки воздушной турбины. И он обрушивает на них всю свою яростную силу.

В этом проекте французского ученого нет ничего фантастического. Ветроэлектростанции, работающие на «искусственном ветре», могут быть построены на южном побережье Крыма, Кавказа, везде, где теплый воздух побережий соседствует с холодным, лежащим на вершинах гор.

Впрочем, в некоторых местах возможно сооружение ветроэлектростанций, работающих на «искусственном ветре», имеющем и другое направление — не снизу вверх, а сверху вниз. Такую электростанцию можно было бы, например, построить в районе Новороссийска, пробив наклонный туннель сквозь горы от побережья к плоскогорью, царящему над городом.

На этом плоскогорье скапливается холодный воздух. В некоторых случаях он переливается через гряды гор и скатывается на город, на бухту. Поднимается сильный холодный ветер, называемый бора. Горе судну, которое не успеет покинуть Новороссийскую бухту, когда подует бора. И жителям доставляет немало неприятностей этот ветер, швыряющий камни, срывающий крыши.

Вот этот-то бора и ринется в туннель, который предлагается пробурить в скалах. Вероятно, такие же ветроэлектростанции, использующие неистовую силу бора (на Новой Земле скорость ветра во время бора достигает, например, 100 метров в секунду), можно построить на гористых побережьях многих морей и озер Советского Союза: Охотского, Каспийского морей, озер Иссык-Куль, Балхаш и т. д.

Трубы же с восходящим потоком воздуха могут быть

построены практически в любом пункте нашей страны. И, если они будут достаточно велики, в них обязательно появится восходящий завихренный поток воздуха, как в каждом печном устройстве появляется тяга.

Из глубины планеты

Есть у известного поэта Валерия Брюсова удивительно красивые «сцены будущих времен», когда

Единый город скроет, шар земной,

Как в чешую, в сверкающие стекла...

Действие «сцен» проходит в залах и переходах этого города, освещаемых, отапливаемых, обслуживаемых автоматическими машинами, которые питаются энергией земных недр.

«Человек поработил силу, скрытую в самых недрах его планеты, наложил ярмо на центральный шар Земли! — восклицает один из героев «сцен». — Целые века назад приведены в движение эти дивные машины, но и поныне продолжают свой мерный предусмотренный ход. А там, в верхних залах, их незримая работа дает нам свет, льет воду в наши бассейны, перемешивает воздух в наших галереях»...

Заманчивая перспектива! А действительно, есть ли в недрах нашей планеты запасы энергии, которые могли бы быть использованы?

Да, в среднем на каждые 30—40 метров углубления в недра земли температура вырастает на 1 градус. Значит, уже на глубине 3—4 километров вода должна кипеть. А на глубине 15 километров может вырабатываться пар сверхвысокого давления.

До самого последнего времени скважины, пробуренные в недрах земли, редко превышали глубину в 5 километров. Что творится глубже, ученые догадывались лишь по косвенным сведениям. Осенью 1961 года было, однако, принято решение пробурить несколько скважин на глубину в 15—18 километров. Может быть, эти скважины будут первыми разведчиками нового драгоценного ископаемого — тепла глубинных слоев земных недр?!

Но не всегда в поисках земного тепла следует опускаться так глубоко. В нашей стране немало мест, где энергия земных глубин находится значительно ближе, а иногда и выходит на поверхность земли.

Вулканы...

Содрогается земля. Над конической вершиной вулкана стоит огненное зарево. С грохотом вылетают из жерла гигантские глыбы, столбом поднимается черный пелел. Грохочут молнии. Соперничая с ними, стекают по скло-



Это очень внушительное зрелище — извержение вулкана, наблюдаемое вблизи

нам огненно белые языки расплавленного камня — лавы.

Кто подсчитает, какие количества энергии затрачиваются на этот природный фейерверк!

Гейзеры...

Словно заснуло озерцо прозрачной, как хрусталь, воды... Но это обманчивый сон. Не подходите близко. Вне-

запно потоки пара, устремляющиеся из его загадочных глубин, взрывают зеркальную поверхность. Пароводяной столб взлетает на высоту в несколько десятков метров. Кипит вода в озере. Проходит несколько минут — и озеро затихает. Опять чиста и недвижна его поверхность. До нового извержения гейзера.

И так день за днем, год за годом, столетье за столетием.

Горячие источники...

Они встречаются значительно чаще вулканов и гейзеров. Иногда вода в них имеет температуру чуть выше комнатной. Иногда — это крутой кипяток. Очень часто она содержит в себе растворенными различные ценные вещества.

Лишь жалкие крохи из этого гигантского источника энергии использует сегодня человек. В Исландии горячей водой отапливают жилые дома и оранжереи. В Италии подземный пар движет паровые турбины электростанций. Такие электростанции уже построены и в Новой Зеландии.

Мне довелось присутствовать при первых шагах по использованию тепла земных недр в нашей стране. И я не могу не рассказать здесь об этом несколько подробнее.

* * *

Типичный ландшафт Камчатки. Под ногами хрустят черные колющие камешки вулканического шлака. Совсем недалеко стоят серо-голубые стены скалистых сопок. В десяти шагах в сторону начинаются заросли стелющегося кедрача, полного изумрудных, тронутых прозрачными каплями смолы кедровых шишек. Мы стоим над крохотным омутком — диаметром всего около двух метров, заполненным удивительно прозрачной водой, под мелкой рябью которой дрожат на дне маленькие камешки. А между ними непрерывное кипение песчинок и изредка то там, то здесь бежит рой маленьких серебряных пузырьков. Не вздумайте опустить руку в эту тихую заводь — в ней кипяток! Это — один из горячих камчатских ключей.

Мы варили в этом ключе куриные яйца, завернув в носовой платок и подвесив нехитрое сооружение на палке. Разогревали мясные консервы, бросив банки под горячую струю, вытекающую из ключа. Купались в речном

плесе, где смешиваются горячие струи источника и студеной вода стремительной, только что вырвавшейся из-под ледника горной реки. В общем, мы делали все, что полагается делать дилетантам, впервые столкнувшимся со столь удивительным чудом природы.

А в это время геологи и теплотехники разговаривали о том, как использовать для отопления крупнейшего города Камчатки Петропавловска это рвущееся из земных недр тепло.

От города до термального поля Банных ключей — одного из крупнейших камчатских источников — по прямой километров 85. Но провести теплофикационную трубу прямо через заболоченную дельту реки и скалистый горный хребет трудно. Линию трубопровода придется прокладывать в обход. Инженеры разворачивают перед нами карту. Острый грифель карандаша пробегает по извилистой линии намеченной трассы, держась долин рек, обходя коричневые пятна горных районов. Да, целых 140 километров должна будет пройти нагретая в подземной котельной вода, прежде чем попадет в батареи отопления Петропавловска. В мире нет теплопроводов такой длины. В течение длительного времени считали, что транспортировать горячую воду можно на 20, ну, от силы — на 25 километров. Камчатские инженеры задумали внести свои поправки и в теорию и в практику теплоснабжения. Уже сейчас расчеты, приведенные инженером Д. И. Авербухом, подтверждают техническую и экономическую целесообразность нового проекта.

А у инженеров новые заботы. Они спорят, хватит ли горячей воды этих источников для снабжения города с населением в полтора-два тысяч человек. Первые же скважины, пробуренные на глубину всего в 30 метров, дали обнадеживающие результаты. Кипяток не просачивается в них, как в тихом омуте, у которого мы остановились. Пароводяная смесь с температурой в 165 градусов прорывается там сквозь самую тяжелую «пробку» глинистого раствора, выбрасывает из скважины буровой снаряд... Гремящим двадцатипятиметровой высоты столбом, постоянно действующим гейзером бьет горячая вода из скважины. 15 литров пароводяной смеси в секунду с глубины всего 30 метров (!) — это совсем не так уж мало для разведочной скважины. Ну а сколько сможет дать все термальное поле, которое лежит совсем у поверхно-

сти земли? Здесь мнения специалистов разошлись. Одни — наиболее осторожные — считают, что 400 литров в секунду — это максимум, который сможет дать здесь Плутон. Другие полагают, что и 1000 литров в секунду еще не предел. Где истина — покажут дальнейшие работы.

Инженеры прикидывают. Для теплофикации только северной и центральной части города требуется в секунду 400 литров воды с температурой не ниже 100 градусов. 400 литров кипятка в секунду! Что ж, даже по самым пессимистическим оценкам термальное поле Банных ключей может обеспечить это количество тепла. Ну, а на всякий случай — острое карандаша касается нескольких новых точек на карте — к линии теплопровода можно дополнительно подключить Малые Банные ключи. Среднюю Паратунку, Нижнюю Паратунку, Карамышинские источники. Все эти выходы термальных вод находятся примерно в одном районе, недалеко от Петропавловска.

— Это все проекты и изыскания, — скажете вы. — А покажите хоть один дом, уже отапливаемый подземным теплом?!

Да, вы правы, это проекты. Да, это изыскания. Рассказывая о новинках науки и техники, мы часто пишем: «Город или завод переживает вторую молодость». Древняя Камчатка переживает сегодня такую пору. Она набирает силы для такого прыжка вперед, которому позавидует иной самый развитый район нашей страны. И среди перспектив и проектов как одна из деталей — отнюдь не главная и даже не самая интересная — проект самого дальнего в мире теплопровода, снабжающего крупный город даровой энергией подземных недр. А что касается первого дома, в отопительных батареях которого булькает горячая вода из плутоновой кочегарки, то и его уже можно увидеть на Камчатке. Всего в нескольких часах полета на вертолете от столицы этого удивительного полуострова на его Охотском берегу.

* *
*

О первой геотермической электростанции, которая работала бы, используя энергию земных недр, инженер Александр Александрович Гавронский начал мечтать еще в 1948 году. Во всяком случае, к этому времени относит-

ся первое его письмо по вопросу геоэнергетики в выше-стоящие инстанции. В 1952 году судьба свела его с автором этой книжки. В тот год ученый написал статью о геотермической электростанции для научно-популярного журнала. Проблема выглядела тогда столь фантастичной, что журнал опубликовал статью под рубрикой «Окно в будущее». Такой рубрикой редакция как бы снимала с себя ответственность за научную достоверность материала. Редактором статьи и выпала честь быть мне.

И вот, через одиннадцать лет уже не в Москве, а на камчатской земле, я встретился с Гавронским — научным сотрудником Паужетской геотермальной экспедиции. Седой, высокий, необычно подвижный человек, несмотря на свои 60 лет. Уже несколько лет живет он здесь, на самом краю страны, где воплощается в бетон и металл его мечта — строится первая в стране геотермическая станция.

— О, ее рождению предшествовало немало событий, — рассказывает Гавронский. — Уже не говорю о том, как трудно было отстоять самую идею. По счастью, в этом я был не одинок, нас, энтузиастов геотермии, с самого начала было немало... А затем, когда, наконец, пришла пора практических действий, перед нами встала задача найти наиболее перспективное место строительства. Ряд организаций и экспедиций производили обследования подходящих горячих источников. Ведь их никто никогда до этого не оценивал с точки зрения экономики. А это дело не простое. Можно представить себе очень большое термальное поле с высокой температурой и большим дебетом пароводяной смеси, на которой, однако, электростанцию строить будет и сложно, и дорого, и ... не нужно. Не нужно, например, потому, что нет близко ни заводов, ни фабрик, ни населенных пунктов. Или если невдалеке от термального поля нет источников холодной воды. А ведь без нее электростанция работать не сможет, такая вода необходима для охлаждения конденсаторов. Или еще — в пароводяной смеси могут оказаться примеси ядовитых или агрессивных веществ, которые будут разъедать металл трубопроводов, теплообменников, турбин... Десятки таких «если» надо было предусмотреть строителям первой геотермической электростанции. Наиболее подходящими оказались термальные ключи. Паужетки. Здесь было обнаружено более тысячи выходов горячей воды и пара...

Я пришел сюда с одной из первых экспедиций еще в 1956 году, — продолжает Александр Александрович. — Тогда здесь не было ничего. Только просторная долина реки, вокруг которой стояли коричнево-серые стены сопки, да вдали сверкала гранями ледников вершина вулкана, почти всегда впрочем, прикрытая облаками.

Но вокруг журчащего в камнях ручья, то здесь, то там вставляли белесые столбы пара. Они свидетельствовали о том, что там, под каменистой почвой, в глубинных слоях идут сложные процессы кристаллизации и остывания лавы, в результате которых и выделяются из раскаленных пород огромные количества газов и пара.

Тогда мы наметили место для бурения первой разведывательной скважины. Каждый участник экспедиции положил на это место камень. Каменная пирамидка существовала до 1958 года, когда над нею установили бурильный станок.

С того времени было пробурено 22 скважины. Выяснилось, что водоносный горизонт находится на глубине от 100 до 300 метров. Температура пароводяной смеси 195 градусов. Термальные воды идут со стороны хребта Кошелевского и отрогов Камбального вулкана. Чем ближе к нему, тем выше температура подземной воды. Но вблизи от вулкана мы еще не бурили.

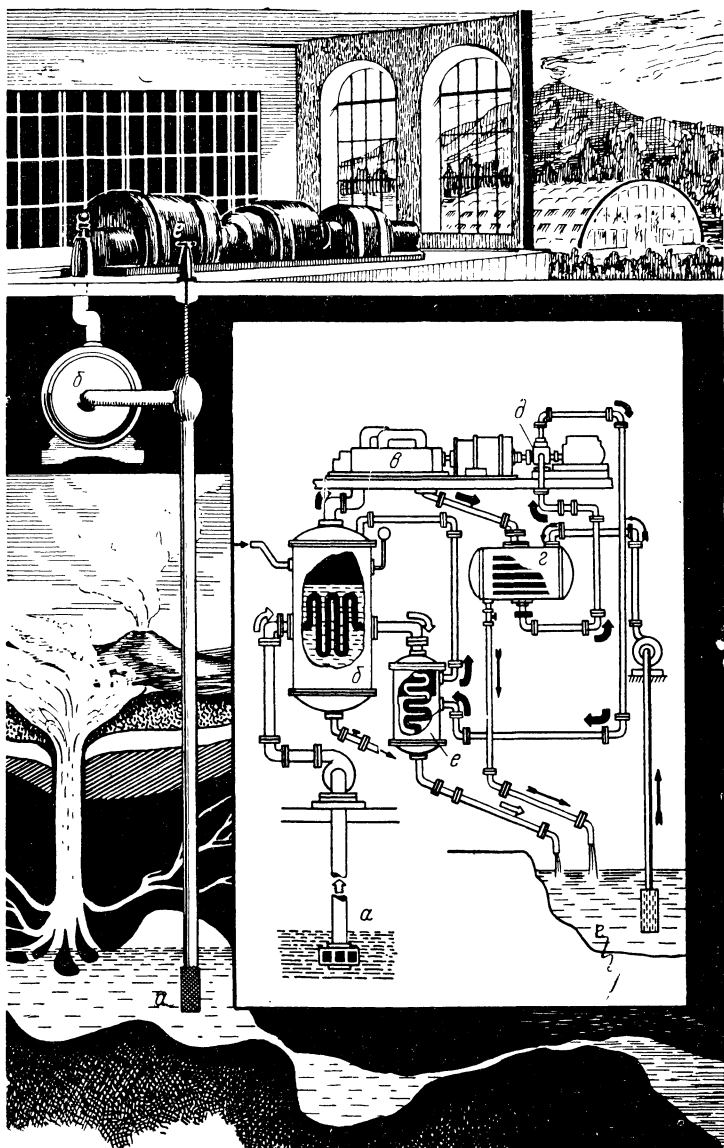
Из 15 скважин можно получить примерно 230 литров пароводяной смеси в секунду. Этого с избытком хватит для нашей электростанции мощностью в 5000 киловатт. Немного, — говорите вы. Да, немного. Но, во-первых, больше и не требуется для снабжения Озерновского рыбокомбината — нашего, пока что, единственного потребителя энергии. Во-вторых, — Гавронский хитро улыбнулся, — вспомните, и мощность первой в мире советской атомной электростанции равнялась всего 5000 киловатт...

Станция будет работать на простейшей схеме: пар из

— — —>

Принципиальная схема геотермической электростанции. Горячая вода из-под земли (а) поступает в теплообменник (б). Образовавшийся водяной пар вращает турбину (в) и конденсируется в конденсаторе (г). Конденсат насосом (д) перекачивается через водоподогреватель (е), обогреваемый еще не остывшей подземной водой, и возвращается в теплообменник (б). Конденсатор охлаждается водой реки, куда сбрасывается и охладившаяся в водоподогревателе подземная вода

под земли — он не содержит никаких агрессивных или вредных примесей — прямо пойдет в турбину, а из нее —



в конденсатор. Простота схемы, дешевизна «топлива» обеспечат завидные технико-экономические показатели работы станций...

...Сейчас, когда вы читаете эти строки, там, у подножья Камбального вулкана, уже ярко сияют электрические солнца, зажженные теплом земных недр. Электростанция работает. А энергия термальных вод находит и другое применение. Она отапливает квартиры в домах сотрудников Паужетской геотермальной экспедиции. Вот они, кстати, те первые дома, которые отапливает Плутон.

Более мощную электростанцию, использующую тепло земных недр, предполагается построить в районе Махачкалы в Дагестанской АССР. Здесь горячие воды с температурой 160—200 градусов залегают на глубине около 5 километров. Это глубоко, но ведь, пробуравив скважину, получают в огромных количествах совершенно бесплатно горячую воду и пар, годные и для отопления жилищ, и для использования в тепловых электростанциях.

Подземное тепло очень дешево. Оно в 5—7 раз дешевле получаемого в котельных, отапливаемых углем. Нет сомнения, что энергия земных глубин будет все шире и шире использоваться в нашей стране. Конечно, речь идет пока только об использовании горячей воды.

Что же касается могучей энергии вулканов, неисчерпаемой энергии лавовых озер, kloкочущих под твердой корой на больших глубинах, то до них очередь не дошла. Слишком мало мы знаем о них. И нет у людей пока способов обуздать их могучую силу, поставить на службу людям.

Здесь — тоже гигантский простор для поисков, исследований, открытий.

Экскурсия на ГТЭ

На листке календаря — 197... год.

Вот стоит наша геотермическая электростанция (ГТЭ) на фоне мирного подмосковного пейзажа, окаймленная опушкой говорливой березовой рощи. К ней не ведет линия железной дороги, что совершенно обязательно для тепловой электростанции. Она не имеет плотины, типичной для ГЭС. Все ее оборудование размещается в этом белом здании, над которым вьются белые дымки, — это выбрасывают пар, прорывающийся сквозь уплотнения

паровых турбин, — характернейший признак турбогенераторного цеха тепловой электростанции. А левое крыло, от которого разбегаются линии высоковольтной передачи, — это, по-видимому, распределительный щит.

Вывеска у входа гласит, что это Опытная геотермическая электростанция Академии Наук. Было время, аналогичная вывеска висела и у входа первой в мире атомной электростанции. За электростанцией видна буровая вышка. Как, разве под Москвой тоже есть выходы горячих вод или пара? Разве центральная часть нашей страны тоже является зоной активного вулканизма?

Конечно, нет. Москва стоит на толстых слоях наносных пород. Под ними — базальт. Никаких выходов горячих источников, способных обеспечить питание электростанции, вблизи нет. Тепло для ее питания подается с 40-километровой глубины, от знаменитого слоя Мохо. Пробурить такой глубины скважину еще не умели в семидесятых годах этого века. Такие глубины бурения будут освоены только в восьмидесятых годах. И тогда-то стала доступна для использования почти в любом пункте материка энергия земных недр.

Конечно, совсем по другому ведет себя вещество на такой глубине. Оно испытывает чудовищные давления вышележащих слоев, нагрето чуть ли не до пятисот градусов... К тому же там, в слое Мохо, вершатся совершенно особые процессы. Их тоже нельзя не учитывать, проектируя геотермическую станцию, «котел» которой расположен так глубоко под землей.

Что же это за процессы? В шестидесятых годах нашего века советский ученый профессор С. М. Григорьев сопоставил данные, получаемые геофизическими способами, о глубине расположения слоя Мохо, при переходе через который резко изменяется скорость распространения сейсмических волн, и теоретические данные о нахождении «сферы критической температуры» — той области, где температура достигает величины, при которой вода уже не может находиться в жидком виде, каким бы большим не было давление. И показания совпали. Именно так, как идет в глубинах нашей планеты слой Мохо, углубляясь под материками и поднимаясь под ложами океанов, по расчетам должна лежать и сфера критических температур. И ученый высказал предположение, что слой Мохо и сфера критических температур — это одно и то же.

А в слое этом происходит вот что. Медленно просачивающаяся вниз сквозь мельчайшие трещинки в породах вода при температуре в 250 и 300 градусов обладает колоссальной активностью, она способна растворить очень многие в обычных представлениях совершенно нерастворимые вещества. И этот концентрированный раствор в конце концов попадает в область температур, при которых вода уже не может оставаться в жидком виде. Растворенные в ней вещества выпадают, а образовавшийся пар начинает по тем же трещинам подниматься вверх. Достигнув областей, где температура ниже критической, он вновь конденсируется и снова капли воды, обладающей способностью растворять как самая крепкая кислота, стекают вниз... И слой Мохо в его верхней части состоит из труднорастворимых веществ, из которых вымыты многие вещества, скапливающиеся в нижней области этого слоя, очень плотного, сложенного из выпавших при испарении воды солей.

Вот в эту-то область, возможно, изобилующую и драгоценными рудами и веществами, и ведет скважина нашей геoeлектростанции. Скажем сразу, не легко смирить подземную стихию. Пробуренная человеком скважина грозила превратиться в кратер вулкана. Но строители сумели смирить чуть было не начавшееся извержение и направить его энергию по линии высоковольтной передачи, связывающей эту опытную электростанцию с единой энергетической сетью.

...Такая электростанция, расположенная вдали от вулканических областей и использующая энергию подземных глубин, сегодня только мечта ученого. Рассказал мне о ней член-корреспондент Академии Наук БССР А. Жирмундский. В этой мечте нет ничего неосуществимого, ничего фантастического. Обязательно возникнут такие электростанции — и не только у подножий огнедышащих гор или по соседству с гейзерами.

И, может быть, первая такая электростанция будет построена именно под Москвой.

Под солнцем тропиков

В ноябре 1926 года в Парижскую Академию наук пришло письмо, вызвавшее немало толков и споров. И хотя не в нем впервые была высказана идея использования энергии морских глубин, с этого письма надо начи-

нать историю новой ветви энергетики. Ибо авторы письма в течение многих лет защищали свою идею, настойчиво проводили ее и, вероятно, близок день, когда первая электростанция, работающая на энергии морских глубин, начнет давать промышленный ток.

Вот несколько абзацев из этого исторического письма:

«Я имею честь, — писал автор письма Жорж Клод, инженер, известный многими смелыми решениями, — доложить Академии от имени П. Бушера и моего о результатах исследований, давших нам возможность осознать совершенно неожиданные факты из области физической географии.

Как известно, морская вода имеет на глубине 1000 метров из года в год равномерную температуру в 4—5 градусов. С другой стороны, известно, что температура поверхности тропических морей в основном колеблется от 26 до 30 градусов. Исходя из этих двух факторов, можно набросать грандиозный план использования солнечного тепла. Использовать глубинные воды, на первый взгляд, кажется затруднительным. Но эти затруднения легко побороть, так как достаточно опустить до желаемой глубины трубу, хорошо изолированную от колебаний температуры, и холодная вода поднимается по этой трубе. Так как глубинные воды отличаются от вод поверхности своей плотностью, то глубинные воды не достанут до самого верхнего края трубы, а останутся приблизительно на 1 метр ниже. Только лишь на эту высоту нужно поднимать воду насосом, остальной подъем воды происходит по законам сообщающихся сосудов.

Труднопреодолимым препятствием является, на первый взгляд, то, что разница температур между глубинными водами и водами поверхности составляет только 20—22 градуса. Получающееся при этом давление пара так ничтожно, что до сих пор еще его не употребляли... Наши опыты привели нас неожиданно к совершенно иному выводу...».

Дальше авторы письма излагают содержание своего опыта. Они продемонстрировали его членам Академии. Небольшая, расположенная в вакууме турбина стремительно вращалась струей пара, имеющего температуру всего 24 градуса и давление в 0,03 атмосферы. Вырабатываемый крохотным генератором электрический ток довольно значительной мощности — 3 киловатта — зажигал

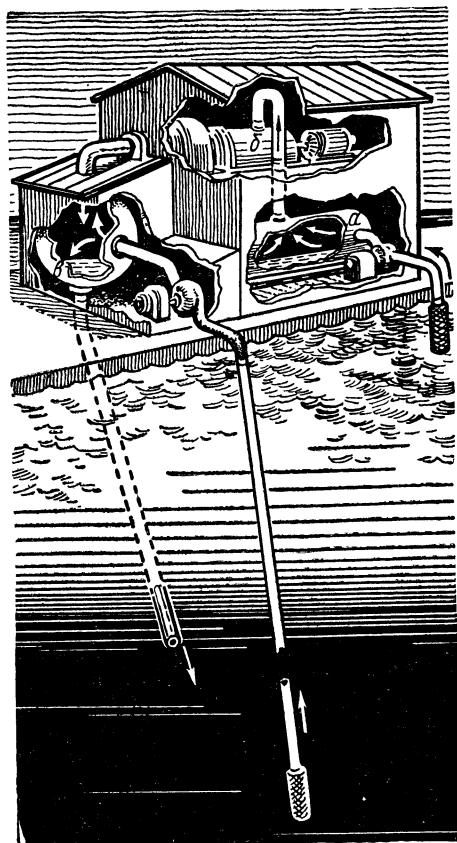
электрические лампочки. Перепад температур между стеклянной банкой, в которой из слегка подогретой воды приготовлялся водяной пар, и конденсатором, в котором он конденсировался на кусках льда, не превосходил и двух десятков градусов.

Дальнейшая история работ Жоржа Клода и Бушери могла бы служить темой для отличной книги о борьбе изобретателей за претворение в жизнь своей идеи. В этой истории были и взлеты, когда сбывались теоретические предположения и опытные установки начинали работать, были и поражения, например, когда внезапно в море близ Рио-де-Жанейро оторвалась и утонула нижняя часть гигантской трубы, опускаемой в океан. Но мы здесь не будем останавливаться на этой истории. Нас больше интересует судьба идеи, ее ценность и реальность.

Да, эта идея (ее впервые выдвинул еще в 1881 году профессор Дарсонваль) вполне реальна. Температурные перепады в полтора-два десятка градусов встречаются очень часто. Бросается в глаза, в частности, и разница температур между водой с поверхности тропических морей, пронизанной солнечными лучами, теплой, как парное молоко, и водой из их черных глубин, в которых царит неизменная температура около $+4$ градусов.

Конечно, паротурбинные установки, использующие такой перепад температур, будут и громоздкими и мало-экономичными по сравнению с обычно применяемыми на тепловых электростанциях. Но в целом ряде случаев, когда складываются особенно благоприятные условия — местные, экономические и т. д., — целесообразность таких установок будет несомненна.

Именно такие условия налицо в Абиджане — одном из тропических побережий Африки. Здесь сразу же у берега имеется глубокая океанская впадина, позволяющая с наименьшими усилиями достигнуть достаточно глубоких холодных слоев воды. И здесь же, в прибрежной лагуне, насквозь прогреваемая солнцем вода имеет температуру даже выше, чем в открытом океане. Кроме того, рентабельность постройки установки здесь повышается наличием спроса на холодную воду, поднимаемую со дна океана, для создания прохлады в домах этого тропического города, где вместо центрального отопления практикуется «центральное охлаждение» квартир. Находят здесь применение и пресная вода, по-



Это электростанция, которая могла бы работать в тропическом океане. Теплая вода с поверхности океана поступает в испаритель (а). Образовавшийся пар работает в паровой турбине (б) и конденсируется, охлаждаемый холодной водой, взятой из глубины океана, в струйном конденсаторе (в)

лучаемая из конденсата, и концентрированный раствор морских солей. Принимается во внимание и рыба, которая будет засасываться в двухметрового диаметра трубы, по которым пойдет как холодная вода из глубины океана, так и теплая с его поверхности. Все эти

обстоятельства и сделали рентабельной постройку такой электростанции на тропическом берегу Африки.

Мощность первой очереди этой электростанции, о которой не раз сообщалось в иностранной печати, составила 3500 киловатт.

Необходимо отметить важную особенность таких электростанций: они так же, как и полупроводниковые, легко поддаются автоматизации. Будучи раз построены и пущены, они не нуждаются ни в каком подвозе топлива, до тех пор пока не иссякнет океан. А этого опасаться не приходится.

В разные времена выдвигались проекты создания гигантских искусственных плавучих островов, которые бы могли служить промежуточными базами для межконтинентальных самолетов, кораблей и т. п. На подобных островах могли бы расположиться в самом сердце океана и научные станции, изучающие жизнь глубин. И на таких-то вот плавучих островах для удовлетворения их энергетических нужд и потребностей в пресной воде могут найти себе широкое применение установки французских изобретателей.

Во мраке полярной ночи

Для нашей страны, границы которой не касаются теплых тропических океанов, строительство электростанций только что рассмотренного типа бесперспективно. Гораздо большее значение могут иметь, учитывая колоссальные пространства советской Арктики, электростанции, использующие тепловой перепад между наружным холодным воздухом, имеющим температуру —20, —25 градусов, и относительно теплой подледной водой.

Принципиальное устройство такой электростанции, предложенное французским физиком Баржо, сравнительно просто.

Как и все тепловые паросиловые машины, установка Баржо имеет котел, в котором вырабатывается пар, турбину, в которой он, охлаждаясь, отдает заключенную в нем энергию, и конденсатор, где пар снова превращается в жидкость.

Котел — самая «горячая» часть этой установки — «отапливается» водой, засасываемой насосами из-под толстого слоя полярного льда. Эта ледяная, на наш

взгляд, вода смешивается в «котле» с жидким бутаном, и бутан закипает, как закипает вода, смешанная с расплавленным свинцом. И так же, как расплавленный свинец, при этом застывает, так замерзает в кипящем бутане и вода. Так как лед тяжелее бутана, его куски опускаются на дно. Это — «отработавшее топливо», «шлак» котла Баржо.

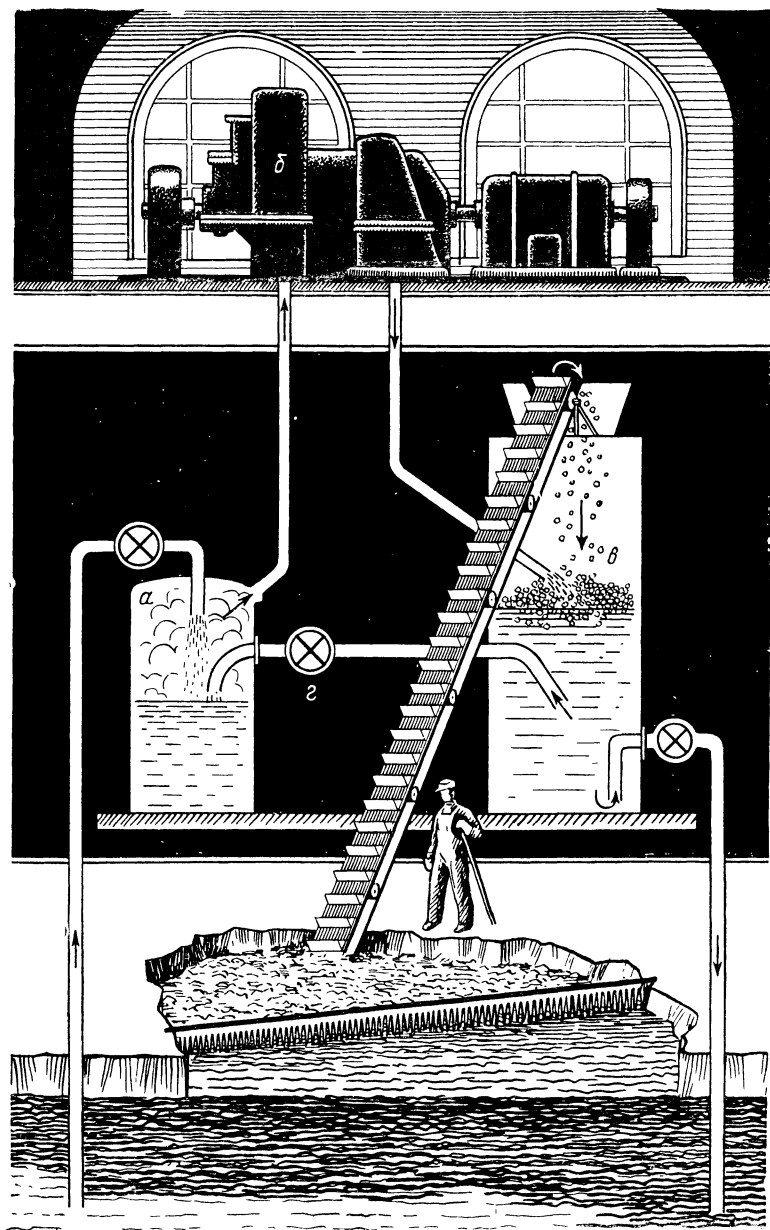
Образовавшийся бутановый пар, имеющий температуру около нуля градусов, направляется в турбины и, пройдя их, поступает в конденсатор, где и конденсируется на кусках соленого льда, имеющего температуру наружного воздуха около —20 градусов. Часть льда при этом плавится, и вода откачивается из конденсатора. Жидкий бутан не смешивается с образующейся водой, он легче и поэтому всплывает над ней. Сжиженный бутан снова направляют в «котел», где смешивают с новой порцией теплой подледной воды.

У установки наряду с преимуществами есть недостатки. Первый из них состоит в том, что, как и у электростанций, использующих температурный перепад тропических морей, паровые турбины их очень громоздки при сравнительно невысокой мощности отдельного агрегата. Ко второму относится непостоянство температуры наружного воздуха. Ведь летом она поднимется выше —10 градусов, то есть предела, при котором установка перестанет работать или, во всяком случае, выработка энергии ею в значительной степени снизится. Защитники проекта предлагают на такие периоды запасать «холод» в сильно охлажденных складах соленого льда. Достоинством ее по сравнению с «тропической» установкой является то, что она не нуждается ни в километровой длины трубах для подсоса воды, ни в выборе особых географических условий, ни в круто подающем в глубь океана береговом откосе и т. д. Постройка электростанции такого типа будет стоить значительно дешевле, чем строительство гидроэлектростанции такой же мощности.

К сожалению, проект Баржо не осуществлен до сих пор.

Мир полон тайн...

Нет, далеко не о всех имеющихся в природе источниках энергии мы рассказали в этой главе. Ведь относи-



тельно иных из них нет даже самых первых идей их использования. А ученые открывают все новые и новые, нередко еще более мощные и перспективные пути.

Всего немногим более полувека прошло с тех пор, как люди догадались о том, что в ядре атома таится могучий источник энергии. А сегодня эта энергия уже рождает электрический ток на первых атомных электростанциях, движет сквозь полярные льды громаду советского атомного ледокола, ведет в черных глубинах океана стоящие на страже наших границ советские атомные подводные лодки.

Наверное, и двух десятилетий не прошло с открытия «солнечной реакции» — реакции соединения ядер водорода в ядра гелия. А уже ученые находятся на ближних подступах к обузданию и этого источника энергии и думают о том, какими будут термоядерные электростанции.

И совсем недавно, — видимо, всего лет пятнадцать назад — мы узнали о новом источнике энергии, на этот раз находящемся в верхних слоях атмосферы. Оказывается, молекулы газов там разбиты на атомы непрерывными потоками космических и солнечных лучей. Осколки молекул — ионы — стремятся соединиться в молекулы и при этом соединении может выделяться большое количество энергии. Ученые забросили на высоту 90 километров ракету с веществом, способствующим соединению ионов. И над землей вспыхнуло светящееся облако диаметром в несколько километров. Это и была та энергия, что выделилась при соединении ионов в молекулы газов. Энергия ночного неба...

Сегодня еще никакого применения не нашло это бескрайнее море энергии, разлитое буквально у нас над головами.

А еще выше, на расстоянии тысяч километров, за границами атмосферы открылся пояс космического из-

←

А этой электростанции место у Северного полюса. Кипит в «паровом котле» (а) бутан, нагреваемый водой, взятой из-под льда. Бутановый пар вращает турбину (б) и конденсируется на кусках льда (в), имеющих температуру окружающего воздуха 25—30 градусов ниже нуля. Жидкий бутан насосом (г) подается снова в «паровой котел»

лучения. Это еще один источник энергии, который может быть полезен людям...

Нет, не все загадки природы разгаданы, не все тайны открыты. Они, эти тайны, ждут пытливых умов, умелых рук, горячих сердец. Их можно найти и в черных глубинах земли, и в голубом бескрайнем пятом океане — атмосфере Земли, — и в бесконечном пространстве космоса.



закключение

Н а чем основывается власть человека над силами природы? На его умении владеть энергией, получаемой им из природных источников. И по мере того, как растет количество этой покорной человеку энергии, растет и его власть над природой.

Да, обилие энергии — это власть над природой и в самом прямом смысле этого слова...

Обилие энергии — это уничтожение пустынь, переброска рек, каналы, пересекающие материки, оранже-рей в краю вечного льда...

Обилие энергии — это изменение направления океанских течений, ветров; это изменение климата огромнейших территорий, материков, а то и всей планеты...

Обилие энергии — это дожди по заказу и бесснежная зима в большом городе; это управление климатом в течение всего года...

Обилие энергии — это искусственные солнца, которые смогут растопить вечную мерзлоту, а если понадо-

бится человеку, то и белые шапки полюсов нашей планеты...

Ну а есть ли предел выработки энергии?

Да, есть, но он очень далек. Устанавливает этот предел тепловой баланс земного шара. Ведь вся вырабатываемая и используемая человеком энергия в конечном результате превращается в тепло и нагревает атмосферу. Сегодня влияние человеческой деятельности в этом деле в планетарном масштабе практически неуловимо. Но завтра оно может быть весьма ощутимым. Академик Н. Н. Семенов считает, что перегрев атмосферы начинается уже в том случае, если энергия, вырабатываемая человеком из ископаемых топлив (в том числе учитывается и термоядерная энергетика), составит 2—3 процента солнечной энергии, падающей на земной шар.

Можно возражать против этой конкретной цифры, можно предполагать, что грядущие поколения смогут повысить отражательную способность планеты и приток тепла в атмосферу от искусственных источников энергии будет компенсироваться повышенным отражением солнечной радиации — все равно это не изменит принципиального положения вещей. Даже если человечество сможет целиком заслониться от лучей солнца, то и в этом случае оно сможет, по сравнению с указанным академиком Н. Н. Семеновым уровнем, поднять производство энергии всего в 30—50 раз.

Впрочем, эта проблема встанет очень не скоро, а может быть и совсем не встанет. Производство человеком энергии на нашей планете должно вырасти в сто миллиардов раз, чтобы приблизиться к указанной Н. Н. Семеновым величине. Вряд ли понадобится человечеству столько энергии. Ведь для полной и абсолютной реконструкции земного шара, да еще растянутой во времени, понадобится значительно меньшее ее количество, включая поднятие новых материков, перемещение или уничтожение горных хребтов, даже поворот оси нашей планеты...

К тому времени человечество выйдет в космос. И там оно будет и производить и использовать энергию в количествах, несравненно превосходящих весь энергетический баланс Земли.

Так, известный английский ученый Артур Кларк счи-

тает, что уже к 2100 году энергетические возможности человечества будут сопоставимы с энергоотдачей одной звезды.

Но и это не будет пределом...

* *
*

Бесконечное изобилие энергии... Бесконечная власть над природой... Ну а что же, разве сегодня мы бессильны перед ней?

И мне вспомнились две встречи. Одна со знаменитым английским фантастом Гербертом Уэллсом, происшедшая еще в детстве. Вторая совсем недавно — с известным ученым, доктором технических наук К. П. Станюковичем...

«...Великий математик у себя в кабинете отодвинул лежавшие перед ним листы бумаги: его вычисления были закончены. В белом пузырьке еще оставалось немного лекарства, которое помогало ему бодрствовать и работать в течение четырех долгих ночей... Некоторое время он, казалось, о чем-то размышлял. Потом подошел к окну, и штора, щелкнув, поднялась. На полпути к зениту, над скученными крышами, трубами и колокольнями города висела звезда.

Он взглянул на нее так, как смотрят в глаза честно-му противнику.

— Ты можешь убить меня, — сказал он, помолчав.

— Но я могу вместить тебя и всю вселенную тоже — в этом крошечном мозгу. Я не захотел бы поменяться с тобой. Даже теперь...

На следующий день в полдень, точно минута в минуту он вошел в свою аудиторию, положил шляпу, как всегда, на край стола и тщательно выбрал самый большой кусок мела...

— По некоторым обстоятельствам, от меня не зависящим, — сказал он и остановился, — я не могу закончить этот курс. Судя по всему, милостивые государи, если говорить кратко и ясно, человечество жило напрасно...»

Вы, конечно, уже вспомнили, откуда взяты эти строки. Это рассказ Герберта Уэллса «Звезда», написанный им в 1899 году. Великий английский фантаст повествует

о грандиозном космическом несчастье: в пределы Солнечной системы влетела чужая странная звезда. Она столкнулась с Нептуном и прошла чрезвычайно близко от Земли, вызвав гигантские наводнения, землетрясения, извержения вулканов... Сюжет рассказа издавна считался фантастическим: формулы теории вероятности с железной неотвратимостью утверждали, что столкновение и даже сближение звезд в нашей Галактике не более вероятно, чем столкновение двух черепах, свободно ползающих по выгону величиной с весь евро-азиатский материк... И вот радио принесло тревожное сообщение: 15 июня 1968 года траектория полета астероида Икар пересечет орбиту нашей планеты, пересечет ее как раз в том месте, где в то время будет находиться Земля.

Икар открыт сравнительно недавно — в 1949 году — американским астрономом Вааде с помощью гигантского Паламарского телескопа. Пятиметрового диаметра стеклянный глаз нужен был тогда для того, чтобы обнаружить в черной бездне Вселенной эту крупинку вещества, диаметром всего около полутора километров. Новый астероид получил порядковый номер 1556 и привлек к себе внимание астрономов. Была вычислена его орбита. Она оказалась очень вытянутой. В перигелии ее отделяют от Солнца всего 27 миллионов километров. Ни одно известное нам небесное тело не подходит так близко к нашему центральному светилу. Даже раскаленный Меркурий и тот держится от Солнца на расстоянии 58 миллионов километров. Только редкие «отчаянные кометы», зачастую ценой собственной жизни, дерзают приблизиться к Солнцу еще ближе.

Оказалось и другое: каждые девятнадцать лет астероид Икар проходит вблизи Земли.

Недавно американские ученые произвели новые вычисления орбиты Икара на ближайшее время. Электронно-счетные машины бесстрастно доложили: 15 июня 1968 года минимальное расстояние от Земли до Икара составит всего около семи миллионов километров. Это в общем-то абсолютно безопасное расстояние, однако... Однако в расчетах не учтено, что за это время Икар должен будет пройти мимо Меркурия, гравитационное притяжение которого несколько исказит орбиту астероида.

Сейчас еще трудно провести абсолютно точные расче-

ты, но изменение орбиты Икара должно уменьшить его расстояние до нашей планеты. Мало того, вполне возможно, что возмущающее действие Меркурия будет таким, что астероид, удаляясь от Меркурия, как поезд, переведенный неумелым стрелочником на неправильный путь, устремится на встречу с нашей планетой.

...И вот я сижу в кабинете известного советского ученого, доктора технических наук профессора К. П. Станюковича.

— Да, — говорит ученый, — я читал об этом интересном сообщении американских астрономов. Сейчас еще невозможно уточнить их расчеты и оценить, насколько близко окажется Икар к Земле. Наиболее вероятно, что он пройдет на таком расстоянии от системы Земля — Луна, что мы не сможем его увидеть не только простым глазом, но и в бинокль. Совершенно очевидно, что в этом случае никакого влияния на земные дела это сближение двух небесных тел не окажет. Сказать откровенно, именно такой ход событий мне и представляется наиболее вероятным. Все-таки две черепахи на просторах материка практически столкнуться не могут.

Однако вероятность более близкого сближения все-таки остается. Вполне возможно, — хотя повторяю еще раз, и мало вероятно, — что Икар приблизится к Земле на очень близкое расстояние. Но надо помнить, что его скорость вблизи Земли будет более 30 километров в секунду и направлен его полет примерно перпендикулярно направлению полета Земли. Это соотношение скоростей настолько неблагоприятно, что незримые пути гравитационного притяжения нашей планеты не смогут даже сколько-нибудь серьезно изогнуть его траекторию, а тем более не замкнут ее вытянутым эллипсом, не превратят в спутник Земли.

Возможен, хотя и бесконечно мало вероятен, и третий, последний вариант: допустим, столкновение неизбежно. Будет ли это катастрофой для человечества?

Огромная масса Икара, к тому же движущаяся с космической скоростью, бесспорно, вызовет взрыв гигантской силы. Этот взрыв произойдет не потому, что в состав Икара входят какие-либо огнеопасные, взрывающиеся вещества. Взрыв — мгновенное выделение энергии — произойдет потому, что огромная кинетическая энергия тела стремительно перейдет в тепловую энергию. Расчеты



показывают, что при мгновенном торможении тела, движущегося со скоростью всего в четыре-пять километров в секунду, выделяется примерно столько же энергии, сколько выделилось бы, если бы это тело сплошь состояло из динамита. А скорость Икара относительно Земли в момент падения должна быть около сорока километров в секунду.

Впрочем, я убежден, что, как бы точно ни направил этот космический «стрелочник» Меркурий астероид Икар к нашей планете, на поверхность ее он не упадет. Современное человечество еще не в силах свернуть с ее рокового пути «звезду» Уэллса. Но ему уже по силам сегодня защитить себя от падения астероида.

Как можно будет это сделать? Когда будут уточнены параметры орбиты Икара и станет ясно, что падение его на Землю неизбежно, этот астероид придется взорвать в космическом пространстве на расстоянии нескольких десятков или сотен тысяч километров от Земли. Конечно, взорвать в космосе глыбу диаметром в полтора километра — дело не простое. Для этого придется использовать множество мощных термоядерных зарядов. Непростое дело и доставить этот заряд в космос. Нелегко и попасть на таком расстоянии в столь крохотную цель. Однако и то, и другое, и третье не выходит за пределы возможностей современной техники. Осколки взорванного астероида будут раскиданы взрывом в разные стороны и часть из них, бесспорно, красивым и безвредным метеорным дождем упадет на поверхность планеты.

Окончательный вывод: встреча с астероидом Икар безопасна для человечества.

Но мне представляется возможным несколько иной случай. Убежден, очень скоро люди начнут стремиться к тому, чтобы Икар оказался вблизи нашей планеты. Как раз сейчас, когда мы властно шагаем в космос, когда человечество впервые разрывает путы земного тяготения, была бы очень полезна небольшая, примерно как раз таких размеров, как Икар, или еще меньшая, естественная Луна. На ней, бесспорно, уже в ближайшие годы и деся-

← —
Если понадобится человечеству, астероид Икар будет взорван, или расколот взрывом, или отброшен на другую траекторию. А может быть, часть его превратят в полумесяц-спутник Земли

тилетия разместились бы склады с запасами горючего для космических кораблей, отправляющихся в далекие рейсы, научные обсерватории и обсерватории для наблюдения за «космической погодой» в окрестностях Земли. На этом естественном спутнике было бы значительно удобнее разместить многие «учреждения», для которых ныне на Земле разрабатываются искусственные спутники.

Я уверен, что человечество сумеет помочь гравитационному полю родной планеты приобрести и удержать новоявленную Луну. У ученых, занимающихся космической навигацией, уже накоплен некоторый опыт изменения орбит космических кораблей, траекторий автоматических межпланетных станций и так далее.

Этот опыт пригодится и при изменении траектории новой Луны. Конечно, масса Икара — около двадцати миллиардов тонн — несравненно больше тех искусственных космических объектов, с которыми мы пока имели дело. И хоть разница здесь только количественная, вряд ли в силах мы уже сегодня сделать Икар спутником нашей планеты. Но направленными термоядерными взрывами мы можем отколоть от него достаточно большой кусок. Я не сомневаюсь, что в случае необходимости земные ученые и инженеры сумеют добраться до Икара, установить на нем заряды взрывчатых веществ и осуществить нужные направленные взрывы, которые отколют кусок астероида, изменят скорость его и заставят двигаться по нужной нам орбите. «Икар-1» станет «полуискусственным» и крайне полезным для земных дел спутником нашей планеты...

* *
*

Идет великая борьба за энергию.

Ведь количество энергии, которым располагает наша страна, определяет и уровень нашей жизни, и производительность труда, и мощь оружия Советской Армии.

У нас есть все возможности, для того чтобы побеждать в великой битве за энергию.

Наша страна занимает первое место в мире по запасам

нефти,
природного газа,
торфа,

гидроэнергии,
леса,

второе место в мире по запасам каменного угля.

В 1965 году у нас в стране было добыто около одного миллиарда тонн условного топлива;

выработано более 500 миллиардов киловатт-часов электроэнергии;

использовано более 1100 миллионов мегакалорий тепловой энергии в паре и горячей воде.

Это — фантастический океан энергии! И нет в нашей стране человека, который бы не имел к нему касательства. Нет, не только те, кто создает своим трудом это сокровище народа, причастны к нему.

Кто бы ты ни был, товарищ — токарь ли металлического завода или водитель трамвая, тракторист МТС или машинист угольного комбайна, дежурный оператор ТЭЦ или шофер такси, — и через твои руки проходит та или иная доля энергетического баланса нашей страны.

Если тыходишь в армию энергетиков, людей, труд которых дает стране могучий поток энергии, о котором мы говорили, твоим лозунгом должно быть: «Больше энергии!»

Если ты управляешь машинами, потребляющими энергию, берущими ее из этого потока, борись за то, чтобы возможно эффективнее, целесообразнее была использована эта энергия, чтобы ни единая ее капля не пропала зря.

Может быть, ты думаешь, что не велика твоя роль, что тоненькая, как паутинка, струйка энергии, потребляемая твоим токарным станком или твоим трактором, имеет столь ничтожное значение в общем великом потоке энергии, что о ней не стоит особенно заботиться.

Ты ошибаешься, товарищ!

Одна забытая электрическая лампочка, прогоревшая весь день в пустой комнате, это конечно, пустяк, за который ее владелец расплатится двумя копейками. Но когда таких забытых лампочек набираются сотни тысяч, копейки превращаются в десятки тысяч рублей, в тысячи тонн каменного угля, в тысячи рабочих часов горняков, транспортников, энергетиков.

Несколько капель бензина, небрежно пролитые на землю при заправке трактора, это тоже пустяк, когда дело касается одной машины. Но на полях нашей страны в 1965 году работало более миллиона тракторов. Если

каждый тракторист за неделю интенсивной работы прольет всего 1 литр бензина, это составит в месяц по всей нашей стране несколько эшелонов цистерн бензина. А за ними — опять труд и труд многих людей.

Эти примеры имеют и обратное значение. Сэкономленная электроэнергия, будучи использована в другом месте, превратится в чудесные вещи, богаче станет наше общество. Литры сэкономленного каждым трактористом бензина превратятся в цистерны и составы цистерн. Так из песчинок слагаются горы, из капель — океаны.

И еще одно надо помнить, товарищ. Техника не стоит на месте. И та техника, с помощью которой мы получаем энергию, и та, которая ее потребляет. Это совершенствование техники, — той машины, станка, агрегата, на котором ты работаешь, — в твоих руках. Никто лучше тебя не знает твоей машины. Никто лучше тебя не найдет способа усовершенствовать ее, сделать производительнее, экономичнее.

И это тоже борьба за энергию. И, значит, борьба за энергию — это один из участков великой борьбы за коммунизм!

Желаю, чтобы книга, прочитанная тобой, помогла тебе в этой борьбе. Для того и написал я ее.

Руку, товарищ!

Содержание

	Стл.
Вступление	3
Покорение первой стихии	15
Ранние догадки	16
Атмосфера работает	20
Рождение паровой машины	25
Почему турбина?	30
Только вращение	31
Прогулка по ТЭЦ	35
Борьба за параметры пара	40
Барьеры на пути вверх	44
Растут и мощности	47
И котлы-гиганты	49
Электростанция — комбинат	50
Вихрь пламени и беспламенное горение	57
Пламя в турбине	59
Роковое «если»	62
Сегодня газовой турбины	65
В небе Родины	72
Электричество из газовой струи	77
Холодное пламя	81
Встреча с полупроводниками	86
Ступая по целине	88
Взрыв в цилиндре	90
Они укротили взрыв	92
В цилиндрах сгорает бензин	99
Дизель — счастливый соперник	104
Роторно-поршневые ДВС	108
Паровозы вымирают	110
Тепловозы	114
Реки, приливы, волны	116
Энергия струй и волн	118
Самый древний двигатель	119
Первые гидроэнергетики	125
Турбины сегодня	130
С плотинами и без плотин	135
В свободной струе	138
Автоматы управляют	144
Взлет советской энергетики	147

Цена 73 коп.

МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВ



машины
энергии

