

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ПРОБЛЕМЫ НОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ *

В своих выступлениях на конференциях по планированию науки, по генеральному плану электрификации и в газетных статьях я выдвигал ряд проблем, разрешение которых должно поднять технику на более высокий уровень. Однако в тех условиях я не мог изложить соображения, заставляющие считать их реально осуществимыми. В настоящей статье я попытаюсь указать не только задачи, но и имеющиеся в нашем распоряжении средства для их разрешения. При этом я ограничусь лишь важнейшими энергетическими проблемами.

ПРОБЛЕМА НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА

Как известно, современная техника использует лишь те запасы солнечной энергии, которые фиксируют зеленые листья растений или стекающие вниз воды, которые Солнце испарило и потом в виде дождя и снега перенесло на более высокий уровень. Оба эти естественных процесса крайне невыгодны с энергетической точки зрения. Растения используют лишь несколько процентов (от 1 до 6 %) падающей на них солнечной энергии и этим вполне разрешают ту задачу, которая приходится на их долю в том цикле преобразования энергии и материи, которым определяется жизнь земной коры. Что энергетическая задача может быть решена значительно полнее, показывают красные водоросли, живущие на глубинах при слабом освещении и использующие 20—25 % падающей на них световой энергии. Некоторые фотохимические

* Статья опубликована в журнале: Соц. реконстр. и наука, 1932, вып. 1, с. 23—29.

реакции, изученные в лабораторных условиях, дают цифры гораздо более высокие (до 80 %). По сравнению с этими данными обычная для растений степень использования энергии (1 %) явно не должна нас удовлетворять.

Не лучше обстоит дело и с водными источниками. Солнечная энергия испаряет воду, затрачивая по 600 кал на 1 кг, и, сверх того, поднимает этот пар на высоту 1—2 км, где он конденсируется в облако. На этот подъем затрачивается 1000 кГм, или около 2 кал. В большинстве наших гидротехнических установок (Днепрострой, Волховстрой, Свирьстрой) мы используем один-два десятка метров падения, т. е. меньше 0.1 кал на 1 кг воды. На 1 кг воды Солнце затрачивает 602 кал почти полноценной энергии, способной 95%, т. е. 570 кал, превратить в механическую энергию. На наших гидротехнических сооружениях мы получаем около 0.05 кал. Таким образом, коэффициент использования равен всего 0.0001.

Может показаться, что хотя солнечной энергии много, но она так рассеяна, что только на необозримых просторах лесов и морей может дать технически важные результаты, что те поверхности, с которых мы могли бы собирать солнечную энергию искусственными приемами, слишком ничтожны. Но это неверно. Каждый квадратный метр поверхности, поставленный перпендикулярно солнечным лучам, получает около 1 кВт энергии. Крыши большого города получают от 10 до 100 млн кВт. Если бы мы умели получать 1—2 % этой энергии, то имели бы беспощивный фонд от 100 000 до 2 000 000 кВт, покрывающий всю потребность в электроэнергии.

Какими же средствами мы располагаем уже в данный момент непосредственного использования солнечной энергии? Помимо фотохимических реакций, которые, вероятно, сделаются основным источником энергии в будущем, но сейчас еще мало применимы, мы рассмотрим три типа солнечных устройств: тепловой, термоэлектрический и фотоэлектрический.

Нагревание, вызываемое Солнцем, весьма велико. Пески Кара-Кума нагреваются до 80 °С, несмотря на сравнительно слабое поглощение солнечных лучей и значительную потерю энергии через лучеиспускание. Основным приемом более значительного накопления солнечного тепла являются стеклянные покрытия парников и теплиц. Стекло обладает счастливым свойством: будучи чрезвычайно прозрачным для главной массы солнечных

лучей, оно задерживает лучи больших длин волн, излучаемые слабо нагретой почвой и растениями. Подбор наилучших в этом отношении сортов стекла, лаков и красок значительно улучшит результаты. Еще большего можно ожидать от целесообразного подбора газов. О значении их можно судить по роли углекислоты в энергетике земного покрова. Если бы вместо 0.04 % углекислоты в воздухе мы имели лишь 0.01 %, то температура земной поверхности упала бы ниже 0° и замерзли бы все моря. Наоборот, при 0.4 % вся вода испарилась бы. Ничтожные примеси некоторых ароматических органических веществ в десятки и сотни раз повышают поглощение инфракрасных лучей в воздухе. Ни одно из этих имеющихся в наших руках средств для регулирования поглощения и испускания лучистой энергии нами не использовано и даже не изучено. А между тем первые же опыты использования стеклянных перекрытий дали температуру в 140° и даже 240 °С. Температуры, которые достигаются в таких помещениях, покрытых одним или несколькими слоями стекол, зависят не только от свойств стекла, но и от потери тепла остальными стенками. Если бы эти стенки граничили с водой или воздухом, уже сначала сильно подогретыми Солнцем, то температура в закрытом ящике была бы выше. Многоступенчатое устройство, в котором нагретый воздух окружал бы ящик, нагреваемый Солнцем, а полученная более высокая температура была бы использована для обогрева следующего внутреннего ящика, в свою очередь нагреваемого Солнцем, и т. д., помогло бы достичь значительно более высоких температур. Этот принцип часто применяется в физике, в технике как низких, так и высоких температур.

Другой метод — регенерации — также мог бы быть широко применен. Если, например, солнечное тепло затрачивается на опреснение воды путем перегонки, то выделяемая при конденсации теплота должна быть использована на подогрев и испарение морской воды. Солнце же должно добавлять лишь такое количество энергии, которое необходимо, чтобы быстро испарять морскую воду при более высокой температуре, чем температура конденсации пресной воды. Другой пример — испарение воды из резервуаров, нагретых Солнцем в жаркие дни, и конденсация пара на холодном стекле в холодные ночи. Наконец, для получения высоких температур можно концентрировать солнечные лучи зеркалами.

Целесообразным использованием указанных средств можно разрешить целый ряд технических задач, существенно влияющих на энергетический баланс. Можно строить парники и теплицы без применения топлива. Можно опреснять морскую воду с достаточно выгодными экономическими показателями. Можно иметь горячую воду для бытовых целей — варки пищи, бань, прачечных и т. п. Можно сушить овощи, выплавлять серу и соли. Можно, наконец, строить котлы и двигатели для орошения и т. п. Технические трудности, которые пришлось бы здесь преодолеть, несколько не большие, чем в любом новом строительстве. Техническая проработка всех этих устройств, проверенная на опытных установках, дала бы твердые основания для внесения солнечной энергии в энергетический баланс южных республик и областей Союза. Экономическая целесообразность определится почти исключительно стоимостью затрат на установку; расходы эксплуатации ничтожны, энергия же даровая. Величина коэффициента использования солнечной энергии также не играет существенной роли, так как дело сводится к использованию больших или меньших поверхностей для собирания солнечной энергии.

С точки зрения экономической целесообразности для использования солнечной энергии могут оказаться вполне пригодными те приемы, которые отвергаются нами для топливных ресурсов. Например, термоэлементы, совершенно непригодные для тепловых станций вследствие своего низкого коэффициента полезного действия, могут оказаться вполне удовлетворительными для солнечных установок благодаря дешевизне и отсутствию ухода.

Рассмотрим для примера следующий случай. Крыша дома сделана наподобие китайских вогнутой и покрыта белой жстью. Вдоль всей крыши на стойках расположен желоб вогнутостью по направлению к крыше; желоб покрыт слоем термоэлектрически активного по отношению к желобу вещества, которое сверху покрыто также металлом. Желоб и внешнее покрытие, между которыми помещено данное вещество, служат электродами термоэлектрической батареи. Рассчитаем два варианта устройства термобатареи: из металлов и из полупроводников. Будем считать, что благодаря концентрации солнечных лучей крышей на 1 см^2 поверхности желоба падает 0.2 кал/с , тогда как на поверхность крыши приходится около 0.02 кал/с . Толщину слоя примем в 5 см для металла и

2 см — для полупроводника, а теплопроводность металла 0.01, а полупроводника 0.004. Тогда разность температур, которая установится на термобатарее, будет составлять для металла 100°, а для полупроводника 200°. При этом на металлическом термоэлементе можно получить около 5 мВ, на полупроводнике — около 0.1 В. Считая, что удельное сопротивление металла 0.001 Ома, а полупроводника 2 Ома, мы получили бы для энергии, которую можно получить от батареи, 25 Вт с 1 м², т. е. до 2.5 % падающей энергии. В действительности, если ограничить свою задачу лишь дешевыми металлами, получение энергии будет вдвое меньше, но и этого, как видно из приведенных данных, достаточно для электрификации того дома, который покрыт такой термоэлектрической крышей. Металлы и полупроводники выгодно делать губчатыми, рыхлыми. Сибирский изобретатель Потанин и проф. Власов предложили способ регенерации теплоты в термоэлементах, который мог бы почти вдвое повысить использование солнечной теплоты. Таким образом, и термоэлемент как метод использования солнечной энергии дает вполне пригодные экономические результаты.

Третий путь — фотоэлемент — еще не достиг такого состояния, чтобы служить для использования солнечной энергии, поскольку его КПД составляет лишь сотые или тысячные доли процента. Но здесь ясно, каким способом он может быть улучшен. Современный фотоэлемент представляет собою либо медную пластинку, покрытую окисью меди, либо железный лист, покрытый слоем селена, с прозрачным или сетчатым верхним электродом. Свет гонит поток электронов из окиси меди или селена в металл, создавая между ними определенную разность потенциалов благодаря находящейся между ними тонкой проводящей прослойке. Но при том способе получения прослойки, которым пользуются в технике, она получается не сплошной. В отдельных многочисленных местах селен и металл непосредственно касаются друг друга, и через эти контакты из металла обратно уходит главная часть электронов, переносимых в металл светом. Мы как бы носим воду в решете: на нем остается несколько капель. Можно думать, что, создав искусственно и в фотоэлементах сплошные прослойки, мы обеспечим гораздо более высокие свойства фотоэлемента. Опыт подтверждает эти соображения и позволяет ожидать, что повышение КПД до 1—2 % достижимо. А тогда фотоэлементы получат

преимущество перед термоэлементами, так как они не требуют концентрации энергии и могут быть нанесены гораздо более тонкими слоями (десятые доли миллиметра вместо сантиметров).

Если мы не пользуемся Солнцем как источником энергии, то зато широко используем его в агрономии и быту. Однако и здесь мы берем то, что есть, не пытаюсь управлять процессами сознательно и систематически. А между тем и в этой области мы не беспомощны. Поглощение и испускание лучистой энергии определяется тонким поверхностным слоем почвы. Достаточно изменить его, чтобы резко повлиять на режим лучистой энергии. Это можно сделать, покрывая почву окрашенной бумагой или слоем лака, нанося жирную копоть или осадок от соответственных газов, выпущенных над полями. Внося окрашенные вещества, сильно поглощающие главную массу солнечных лучей около 0.001 мм длины волны и слабо испускающие при температуре почвы лучи с длиной волны 0.01 мм, мы можем резко усилить прогрев почвы и уменьшить ночное охлаждение. Наоборот, внося вещества, отражающие солнечные лучи и сильно испускающие их, мы предотвратим чрезмерное нагревание почвы. Покрытие жидким, быстро высыхающим лаком (например, целлюлозным) может иметь ряд последствий. В то время как падающий сверху дождь без затруднения будет всасываться почвой через многочисленные трещины и борозды, сделанные для посева, испарение будет ослаблено почти пропорционально закрытой лаком поверхности, т. е. в несколько раз. Поэтому почва гораздо лучше будет переносить засуху. Слой лака во столько же раз уменьшает количество сорных трав. Вследствие малой теплопроводности и отсутствия влажности в слое лака потеря тепла в окружающий воздух будет ослаблена. Стоимость нанесения подобных лаков не превышает стоимости покрытия из бумаги (мульчирования), применяемого для ряда культур и оказавшегося экономически выгодным.

Потеря почвой тепла, уносимого воздухом, в большей степени зависит от состояния поверхности. Потеря может быть уменьшена, если при окончательной обработке почва получает ясно выраженную ячеистую структуру. В углублениях ячеек воздух задерживается и изолирует почву в тепловом отношении. Наоборот, чем лучше перемешивание воздуха над поверхностью земли, тем больше потери тепла почвой. Сама структура почвы, ее прочность,

размываемость водой и скорость испарения могут быть резко изменены введением ничтожных количеств поверхностно-активных веществ.

Покрытие копотью или осадками химических газов может служить мощным средством для усиления таяния снегов. Кавказские горы посыпают весной снег черной землей и таким путем увеличивают короткий вегетационный период. Н. П. Горбунов предложил подобный способ для усиления таяния ледников на Памире. Возможно, что и для растений в определенные периоды или в определенных климатических условиях дополнительная окраска может оказаться весьма полезной. Если бы при выборе краски для домов мы учитывали не только видимый глазом цвет, но и испускание в инфракрасной области, то могли бы на юге поддерживать здания на более низкой температуре, на севере можно было бы добиться меньшего отвода тепла от стен холодным воздухом.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕВЕРНОГО ХОЛОДА

Значительная разность температур, существующая на далеком Севере между водой, находящейся под коркой льда, и окружающим воздухом, может быть использована для получения механической энергии. Представим себе следующее сооружение. Под льдом находится обтекаемый проточной водой котел, наполненный аммиаком. Нагревая его до 0°C , вода поднимает давление до 4.5 атм. При этом давлении аммиак поступает в турбину или машину, совершенно подобную применяемым для водяного пара. Производя работу, аммиак понижает давление до 0.7 атм, а температуру до -40°C и переходит в конденсатор, где он при этой температуре конденсируется другой жидкостью, предварительно охлажденной внешним воздухом. Для этого жидкость разбрызгивается и, падая в виде многочисленных капель с громадной поверхности, охлаждается до необходимой температуры. Подсчитывая стоимость отдельных частей такой установки по тем данным, которые применяются для обычных тепловых установок, проф. Власов получил для установок в 5000—10 000 кВт стоимость не выше 150 руб. на 1 кВт для Якутска и 250—300 руб. для других районов Сибири. Стоимость 1 кВт·ч получается от 1 до 3 коп. Если эти подсчеты, сделанные без конструктивного проекта установки, без

учета мер против возможного намерзания жидкости на котле и сооружения для распыления ее, окажутся не совсем точными, то даже увеличение стоимости в 2—3 раза не изменит факта экономической выгодности таких установок на Крайнем Севере, лишенном топлива и других источников энергии. Проф. Власов находит даже, что более дорогие и менее продуктивные термоэлектрические установки благодаря крайней простоте эксплуатации могут оказаться выгодными в определенных климатических условиях. К этой задаче примыкает и другая, относящаяся к эксплуатации теплофикационных центральных станций. Отопительная система возвращает теплую воду при температуре на несколько десятков градусов выше водопроводной воды. И эта разность температур могла бы быть использована для получения механической и электрической энергии.

АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ

При оценке машин для использования новых источников энергии — солнца, ветра, северного холода и т. п. — приходится исходить не из коэффициента полезного действия, а из стоимости установки и занимаемой полезной площади. Однако эти источники обладают еще одним существенным недостатком: они дают энергию часто не тогда и не там, где она нужна. Их экономическая целесообразность поэтому в большей мере зависит от возможности запастись, например, дневную энергию на ночь или передавать на места потребления. Важнейшим вопросом является дешевый и легко транспортируемый аккумулятор. Зато важнейшая для современного энергетического хозяйства его характеристика — коэффициент полезного действия — имеет сравнительно меньшее значение. Эта новая постановка вопроса допускает и новые решения. Предположим, например, что на местах дешевой энергии мы затрачиваем ее для получения алюминия, а затем этим алюминием пользуемся в качестве электрода в гальваническом элементе. Если мы получим только треть затраченной энергии, это может оказаться крайне выгодным, например для некоторых видов транспорта. Проф. В. Г. Глушков предложил пользоваться дешевой энергией для разложения воды, передавая затем полученный водород по трубам на большие расстояния. Со-

единия водород с кислородом воздуха, можно вновь получить значительную часть затраченной энергии и воду. Очевидно, можно придумать и ряд других дешевых и невысоких по качеству аккумуляторов. Выработка практически пригодного типа такого аккумулятора — одна из актуальных задач электрохимии.

ОТОПЛЕНИЕ

Несовершенство современных методов отопления и громадные количества топлива, на него затрачиваемые, заставляют задуматься о других способах поддержания достаточной температуры в зданиях. Наши печи используют 10 %, лучшее центральное отопление — около 50 % теплоты, выделяемой топливом. Это еще не так плохо. Но энергию приходится оценивать не только количественно, но и качественно. Если судить об энергии по количеству механической или электрической энергии, которые можно извлечь из данного запаса, то следует сказать, что химическая энергия 1 кг угля, выделяющего 8000 кал, могла бы дать не менее 8000 кал электрической энергии, если бы мы умели превратить ее без потерь. На лучших электростанциях мы все же получаем только до 2500 кал. Это количество определяется высокой температурой в топке парового котла. В зданиях же мы хотим создать температуру всего в 20 °С. При этой температуре те же 8000 кал могли бы дать при температуре внешнего воздуха в 10 °С не больше 800 кал электроэнергии. Наоборот, затратив 800 кал электроэнергии, мы могли бы ввести в здание 8000 кал тепла при 20 °С. Остальные 7200 кал были бы взяты от внешнего холодного воздуха. Эти цифры характеризуют теоретические возможности и не учитывают потерь в наших машинах. Практически соотношения в 2—3 раза ухудшаются: для сообщения 8000 кал требуется не меньше 2000 кал электроэнергии.

Исходя из расхода топлива, сравним два способа согревания помещения: 1) для того чтобы ввести в здание 8000 кал тепла при коэффициенте полезного действия в 50 % путем центрального отопления, потребуется 2 кг угля; 2) для той же цели можно взять от электростанции, скажем, 3000 кал электроэнергии, приводящей во вращение мотор холодильной установки. Эта установка, охлаждая обтекающий ее внешний воздух, будет согреть

вать воздух, направляемый в здание, и сообщать ему те же 8000 кал. На электрической же станции для получения 3000 кал электроэнергии потребовалось немногим больше 1 кг угля. При втором способе отопления вместо котлов и отопительных батарей здание должно быть оборудовано достаточно мощной холодильной машиной, которая летом может служить как холодильная установка.

Целесообразное решение задачи отопления с минимальным расходом топлива представляется в следующем виде. Электрическая станция теплофицирует отходящим теплом своих турбогенераторов прилегающий район. Однако соотношение между потреблением электрической и тепловой энергией таково, что отопить весь город, который станция освещает, невозможно. В более отдаленные районы подается электрическая энергия, которая в упомянутых холодильных установках затрачивается на согревание помещения.

Наконец, есть еще один способ экономии топлива. Количество топлива, затрачиваемого на согревание здания, определяется охлаждением через внешние стены и крышу. Чем больше площадь пола по сравнению с поверхностью стен, тем меньше приходится топлива на единицу полезной площади. В тех местностях (например, на Крайнем Севере), где отопление является центральным вопросом жилищного строительства, можно учитывать возможность использования помещений без внешних стен, окруженных со всех сторон жилыми комнатами той же температуры, что и данное помещение. Оно тогда ничего не теряет, его не нужно и отапливать. Несомненно, что целый ряд помещений не требует внешних окон, и, следовательно, при целесообразной постройке их не требуется и отопления. Не только залы для кино и театров, но и некоторые заводы и фабрики могли бы значительно улучшить условия труда, если бы, не рассчитывая на боковое освещение окон, рационально распределили электрическое освещение. Вместо отопления на первый план стал бы вопрос о вентиляции и об электрических источниках света. Необходимо увеличить количество полезных для здоровья ультрафиолетовых лучей. Уже сейчас имеются удобные и недорогие источники, дающие электрический свет, по составу не отличающийся от солнечного. Можно с уверенностью ожидать, что в течение ближайших двух лет будут практически разработаны лампы со светящимся газом, гораздо более дешевые и более бога-

тые ультрафиолетовым светом. Тогда этот вопрос станет весьма реально на очередь, и количество помещений, в которых можно будет отказаться от окон, а следовательно, и от затрат на отопление, возрастет. Но и по отношению к окнам вопрос об ультрафиолетовом свете не теряет своего значения. Наши оконные стекла его не пропускают, хотя производство стекол прозрачных и для этих лучей стоило бы не так уж дорого. Гигиеническое значение этих стекол громадно.

В настоящей статье я ограничился рассмотрением нескольких энергетических проблем, которые считаю разрешимыми в ближайшее же время. Это — задачи второй пятилетки. Я перечислю еще ряд задач, более отдаленных, но тоже не невозможных. Обратимое окисление угля, которое в три раза повысило бы использование угля для механической и электрической энергий. Газогенераторы и газопроводы, удешевляющие транспорт топлива. Атмосферное электричество, энергия волн, приливов и отливов, внутренняя теплота Земли — все это громадные количества энергии, слишком рассеянной, мало концентрированной для условий современной техники. Первые же успехи в области регулирования погоды, хотя бы выпадения дождей, позволили бы усилить осадки в высоких местностях за счет более низких и таким образом резко усилить запасы водных сил. Меньше всего можно в данное время сказать о возможности использования внутриатомных источников энергии при преобразовании элементов. Мы знаем, насколько велики количества энергии в этих случаях, но совсем не знаем, как ими управлять.

ОТКРЫТИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ*

В 1822—1823 гг. Зеебек описал в «Известиях Прусской Академии наук» явление, которое он определил как появление свободного магнетизма в соединенных между собою двух разнородных проводниках под влиянием разности температур. Из описания произведенных им опытов ясно, что Зеебек открыл термоэлектрические токи, возникающие в замкнутой цепи из разнородных провод-

* Глава I (Введение) из книги: *Иоффе А Ф Полупроводниковые термоэлементы* М.; Л. Изд-во АН СССР, 1956. 103 с.