

## Физическая экономика, или Дрова versus хай-тек

Владимир Свиридов

Летом Анатолий Левенчук объявил в «Компьютерре»<sup>1</sup>: грядет Большая Энергетическая Революция. Предвестниками бури, по его мнению, служат:

- решимость США, после скандальных веерных отключений света в Калифорнии, дерегулировать энергетику;
- высвобождение денег, мозгов и инициативы после крушения Интернет-компаний;
- давление со стороны потребительских и политических групп за чистую и возобновляемую (так и хочется сказать — «чистую и благородную») энергию солнца и ветра.

Анатолий кладет полтора года, чтобы все увидели, «каким крутым может быть энергетический хай-тек, когда ему дают развиваться в условиях свободного, а не зарегулированного насмерть рынка».

В преддверии зимы и связанных с нею вечных российских проблем перспектива прорваться в энергетический рай — пусть не в этом, а в следующем году — согревает душу. Позвольте, однако, дать порезвиться духу противоречия и внести кислую чернильную струю в светлый поток надежд на грядущую Энергетическую Революцию.

Начну с важного уточнения: нам не хватает не просто энергии, а энергии *высококачественной*.

Мы ведь окружены буквально морями энергии. Три четверти планеты залито водой — веществом с очень высокой теплоемкостью. Если бы можно было тепловую энергию воды полностью превратить в электрическую, то для покрытия всех потребностей человечества достаточно было бы ежегодно охлаждать

Для самых дотошных. Да, энергия характеризуется не только количеством (в киловатт-часах, скажем), но и — качеством. Разница между качественными и некачественными формами энергии примерно та же, что между твердой и мягкой валютой: первую на вторую вам поменяют всегда и везде, а вот обратно... Когда вы втыкаете в розетку такое чудо технической мысли, как утюг, электрическая энергия превращается в тепловую с криками «ура» и со стопроцентной эффективностью. А чтобы, наоборот, превратить теплоту в электричество, надо, ни много ни мало, построить тепловую электростанцию, сжечь мазут в ее топках, которые нагреют воду, которая превратится в пар, который раскрутит турбину, которая приведет в действие генератор, который выработает ток... Когда подсчитываете — прослезитесь: из всей теплоты, выделившейся при сжигании мазута, в электричество превратилось меньше половины. Остальное, в буквальном смысле слова, вылетело в трубу, градирни и водоемы охлаждения ТЭС. И дело не в том, что мы неправильно построили электростанцию. Нет, проектанты и эксплуатационники выжимают из конструкции ТЭС все возможное — в рамках законов природы. Просто законы эти таковы, что выжать большее из теплоты — самой бросовой, низкокачественной формы энергии — не удается.

Мерой некачественности энергии служит энтропия — физическая величина<sup>2</sup>, известная с середины XIX века. Чем больше энтропия системы, тем меньше *полезной* работы та может произвести при заданном запасе энергии. Кроме того, энтропия является мерой отсутствия порядка в системе, мерой ее бесструктурности, мерой отсутствия информации, необходимой для управления системой.

Печальная новость: один из наиболее фундаментальных законов природы — второе начало термодинамики — утверждает, что энтропия может только производиться, но не поглощаться. Именно поэтому легко рассыпать мусор (порядок убывает, энтропия растет), но трудно его собрать; построить утюг гораздо легче, чем самую примитивную паровую машину; испортить текст электронного письма перекодировками гораздо проще, чем восстановить его.

мировой океан на 0,0002 градуса — величина неощутимая, тем более, что после использования электроэнергии все равно превращается в тепло, которое нагревает тот же океан<sup>3</sup>. Однако мы так не делаем по той же причине, по которой не добываем из морской воды золото: в принципе оно там есть, но слишком уж это бедная руда. Тепловая энергия — та же руда, тем более бедная, чем ниже температура. Обогащать жиденькую «тепловую руду» океана со всех точек зрения, в том числе и с экологической, накладнее, чем строить громоздкие, дорогие, вредные тепловые, гидро- и даже атомные электростанции.

А где же найти высококачественную, концентрированную энергию? Известно где: в нефти, газе, угле. Сейчас они обеспечивают более 3/4 всего мирового энергопотребления, и, по прогнозам Мирового энергетического совета и Института энергетиче-

<sup>1</sup> А. Левенчук. Не вебом единым // Компьютерра, #23, с. 48.

<sup>2</sup> То есть не что-то мистическое и загадочное, типа биополя, а характеристика, измеримая и вычисляемая любым желающим.

<sup>3</sup> Первое начало термодинамики: энергия не возникает ниоткуда и не исчезает в никуда. Когда нормы языка заставляют нас говорить о «расходе» электроэнергии, речь на самом деле идет о *превращении* ее в энергию другого вида.

ских исследований Российской Академии наук ([www.eriras.ru/RU/newenergystrat-ru.htm](http://www.eriras.ru/RU/newenergystrat-ru.htm)), их доля в ближайшие 20 лет практически не изменится (рис. 1). Интересно отметить, что из оставшейся 1/4 около половины приходится — и будет приходиться в ближайшем будущем — на дрова.

Но с нефтью, газом и углем есть три проблемы, все — принципиальные.

Во-первых, невозобновляемость. Отношение доказанных запасов к добыче составляет: для нефти 41 год, для газа — 63 года, для угля — 218 лет. Конечно, есть еще неразведанные месторождения, но ведь и потребление растет...

Во-вторых, тепловые электростанции неэкономичны *в принципе*, поскольку они топливо *сжигают*. Как только мы связываемся с теплотой, мы тут же сталкиваемся с проблемой извлечения из нее энергетического концентрата. Пределы эффективности извлечения положены термодинамикой и безобразно низки — порядка 40% при температурах, которые могут выдержать конструкционные материалы. И никакая приемчивость, при сколь угодно свободном рынке, не помогает обойти законы термодинамики.

Третья проблема — экологическая. Я даже не говорю о вредных выбросах ТЭС; я хочу обратить ваше внимание на «шлак», остающийся после выделения энергетического концентрата и его превращения в электроэнергию. Этот шлак — те 60% исходной теплоты, которые вылетают в трубу ТЭС и создают хорошо знакомое экологам загрязнение окружающей среды низкокачественной тепловой энергией. От теплового загрязнения не откупиться никакими миллиардами инвестиций — оно является *неизбежным* следствием *любой* технологии сжигания любого топлива — хоть дров, хоть водорода. Такая вот физическая экономика.

Ладно, со сжиганием прорыва в энергетике не совершишь. А как насчет чистых и возобновляемых источников — энергии солнца, ветра, приливов? Да тоже не без проблем.

Анатолий Левенчук прав в том, что исследования по альтернативной энергетике долго тормозились искусственно занижаемыми ценами на традиционные энергоносители. Где-то я читал, что вложения в такие исследования и разработки начинают рассматриваться как перспективные, когда нефть подкакивает выше 30 долларов за баррель, что случается нечасто — пока, во всяком случае. Однако *реальная* цена нефти может увеличиться в несколько раз, если включить в нее все общественные издержки, начиная с расходов на «нефтяные войны» и заканчивая льготами и дотациями энергопроизводителям. Дерегулирование энергетике обещает продемонстрировать такую *реальную* цену, при взгляде на которую любые вложения в нетрадиционные источники энергии покажутся оправданными. Однако и здесь не стоит забывать о законах физической экономики, чтобы не увлечься и не повторить печальную историю дот-комов.

Над всей альтернативной энергетикой (кроме, может быть, малых ГЭС) тяготеет одно родовое проклятие: низкая концентрация — а, значит, низкое качество — исходной энергии. Закономерным следствием является множество научно-технических проблем, которые могут казаться частными, но на самом деле имеют глубокие и общие корни.

Вот солнечная энергетика. Если взять площадку метр на метр и поставить ее в ясный день перпендикулярно солнечным лучам, то мощность падающего на нее света будет около 1 кВт. С одной стороны, вроде бы немало: киловатт — мощность нормального утюга. Но с другой...

Двигатель безнадежно устаревшего «жигуленка» при объеме в полтора литра развивает мощность около 50 кВт — заметьте, *выходную*, полезную мощность. У разработанного NASA суперсовременного самолета Helios ([www.computenta.ru/news/2001/7/16/15782/](http://www.computenta.ru/news/2001/7/16/15782/)), двигатели питаются от солнечных батарей максимальной мощностью 40 кВт. При этом Helios имеет размах крыльев 82 метра при ширине порядка 2 метров — и вся эта площадь, около полутора соток, вымощена фотоэлементами.

Приведенное сравнение не означает, что солнечная электростанция (СЭС), *средней* мощностью сравнимая с «жигулями», займет две сотки земли. Нет, гораздо больше. У массовых дешевых солнечных батарей КПД не превышает 10% — ниже, чем у паровоза и ниже, чем у тех элементов, которыми инженеры NASA покрывали Helios. Если ориентироваться на дешевые материалы, то для получения на выходе 50 кВт нужно собирать солнышко уже с четырех соток<sup>4</sup>. Далее, «Жигуль» может мчаться круглосуточно — не забывай только бензин заливать да на газ нажимать, — а фотоэлементы ночью отдыхают. Значит, потребуются уже не четыре, а восемь соток. Бывает еще такая напасть, как тучи — а ведь в среднем половина поверхности Земли закрыта облачностью, — и средняя мощность неподвижной СЭС падает еще примерно вдвое. Итого: для замены полуторалитрового отравителя атмосферы надо замостить фотоэлементами соток пятнадцать. М?

<sup>4</sup> На самом деле ситуация еще сложнее. В качестве перспективных — ввиду своей дешевизны — материалов для солнечной энергетике сейчас всерьез рассматриваются некоторые органические полупроводники ([www.computerra.ru/online/xterra/news/2000/10/26/3036/](http://www.computerra.ru/online/xterra/news/2000/10/26/3036/)), которые обеспечивают КПД преобразования солнечного света в электричество не выше 5%.

Но 50 киловатт для энергетики не величина. Стандартный энергоблок ТЭС или АЭС имеет мощность 1 Гигаватт. Прикиньте, сколько десятков квадратных километров займет такая солнечная электростанция, и попытайтесь представить связанные проблемы разводки кабелей, технического обслуживания, охраны... Распределенная генерация (когда маленькая СЭС есть на каждом хуторе) эти проблемы не решит: и кабелей в конечном счете потребуется больше, и технически обслуживать огромную территорию замучаешься. Другое дело, что при таком способе затраты раскладываются на множество домашних бюджетов и потому оказываются лучше замаскированными.

Аналогичные проблемы, только выраженные еще сильнее, свойственны ветроэнергетике. При порыве ветра 6 метров в секунду поток энергии составляет 130 Вт на квадратный метр, из которых теоретически можно отобрать не более 60%, а практически — около 40%. Фотографии полей, до горизонта уставленных современными ветряками, выглядят очень красиво, но насколько это удобно и выгодно, если учесть, что их эффективность не намного выше, чем у голландских ветряных мельниц XVIII века?

Наконец, не следует забывать, что «чистота» альтернативной энергетики относительна. Второе начало термодинамики гарантирует, что при *любой* деятельности энтропия (сиречь отходы всех видов) будет производиться непременно. Фотоэлементы, скажем, нужно еще изготовить, а полупроводниковое производство — вовсе не курорт. По истечении срока службы их, содержащих примеси мышьяка, фосфора, кадмия, надо куда-то девать — и лучшего способа, чем зарыть в шар земной, сейчас нет и пока не предвидится. Ветроэлектростанции изменяют ветровой режим местности, а третий закон экологии («Природа знает лучше») гарантирует, что эти изменения ни к чему хорошему, скорее всего, не приведут.

Я, упаси бог, вовсе не хотел сказать, что «новая энергетика» вообще бесперспективна. Перспективна, конечно, и очень быстро растет. Но весь этот рост в ближайшие двадцать лет останется в пределах двух-пяти процентов мирового энергобаланса (рис. 1). Революционный прорыв в *производстве* энергии случится вряд ли — очень уж тесное пространство для маневра оставляют законы природы. Гораздо более вероятна революция в технологиях *сбережения* энергии, особенно в стране, которая тратит на отопление каждого квадратного метра жилья в 5–7 раз больше топлива, чем Канада. Но это уже другая история.

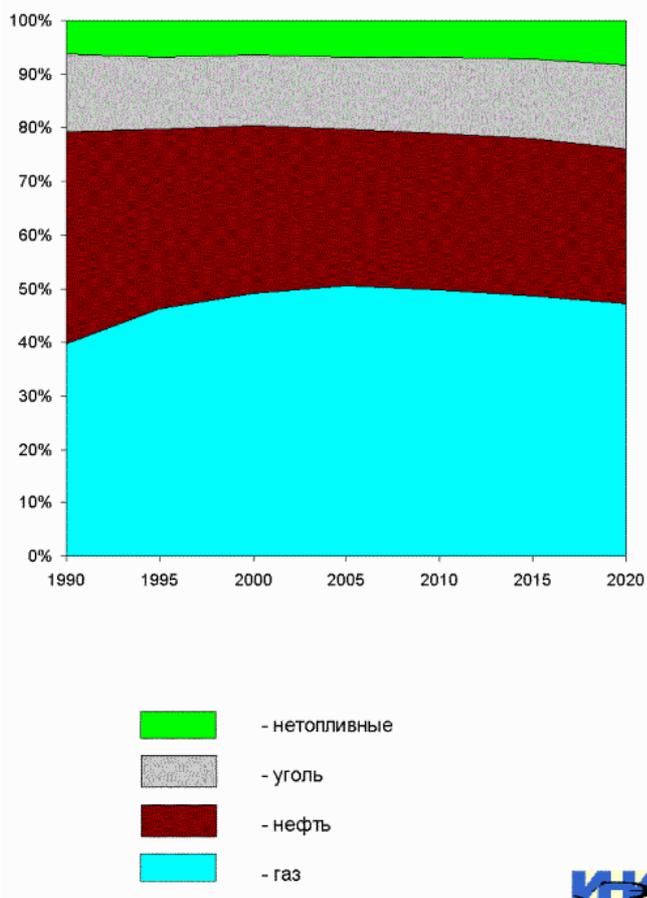


Рис. 1. Структура мирового потребления энергоресурсов по данным ИНЭИ РАН. В нетопливные ресурсы включены атомная, гидро- и альтернативная энергетика, но не учтены дрова, вклад которых, по данным Мирового Энергетического совета и к 2020 году не опустится ниже 10% мирового энергобаланса.

