

Является ли солнечная энергия более опасной, чем ядерная?*

Герберт Инхабер

Представьте себе массивную атомную электростанцию, тщательно охраняемую и окруженную колючей проволокой. Сравните ее с безобидной панелью солнечной батареи, установленной на крыше, весело и бесшумно собирающей солнечные лучи. Может ли при этом возникнуть у вас вопрос, которая из этих двух энергетических систем более опасна для здоровья и безопасности человека? Если в ответ прозвучит громогласное “нет”, обсуждение может на этом закончиться и у издателей в журнале останется пустое место. Но исследования показали, что менее драматичным, но, вероятно, более точным должен был бы быть ответ “может”.

Как может такое случиться? Рассмотрим другой пример. По дороге едут две машины. Одна из них — массивный грузовик, а другая — миниатюрная малолитражка. Которая из двух более эффективна? Нет, не больше по размерам, а более эффективна. Об их относительных размерах легко судить, но понятие эффективности включает в себя количество используемого топлива, пройденное расстояние, а также перевезенный груз.

Каков же вывод? Вы не можете судить об относительной опасности энергетической системы только по ее размерам или грозному внешнему виду. Вы должны найти степень риска на единицу энергии, то есть ее общую опасность для здоровья человека, деленную на чистую энергию, которую она производит. Это — единственный правильный способ сравнения энергетических систем.

В дополнение нам необходимо рассмотреть весь энергетический цикл, а не отдельные изолированные компоненты. Если вы рассчитаете опасность только части системы и сравните ее с соответствующей частью другой системы, благоразумно выбрав определенную часть, вы сможете доказать, что данная энергетическая система более опасна (или более безопасна), чем какая-либо другая система. На деле, этим вы совершенно ничего не докажете.

Вы можете удивляться, почему Контрольный совет по атомной энергии — основной регулирующий орган по вопросам ядерной энергетики в Канаде — занимается этим вопросом. Мы стараемся свести к минимуму ядерную опасность, но мы не занимаемся вопросами регулирования других форм энергии. Ответ прост: Контрольный совет по атомной энергии занимается изучением риска, связанного с ядерной энергетикой, но результаты такого изучения будут более понятными, если рассмотреть их в определенном контексте. Например, для неспециалиста заявление о том, что

Д-р Инхабер является научным консультантом Контрольного совета по атомной энергии, Оттава, Канада.

* Впервые эта статья была опубликована в недельном обзоре науки и технологии журнала “Нью сайентист”, Лондон.

при ядерном производстве 1 МВт электроэнергии в год теряется определенное число человеко-дней, имеет весьма ограниченный смысл. Знание же того, что эти потери вдвое больше (или вдвое меньше), чем при использовании других энергетических систем — значит гораздо больше.

Мы довольно легко можем подсчитать выработку чистой энергии. Но как оценить общий риск? Этот вопрос относится к новой области учета риска.

Сейчас большинство лиц, занимающихся вопросами энергии, уже имеют представление об учете энергии. Это применение бухгалтерского искусства осуществляется путем сложения всей энергии, необходимой для отдельных частей системы, с тем чтобы определить общую потребность в энергии. Например, электростанция, работающей на угле, нужно X киловатт-часов энергии для добычи каждой тонны угля, Y — для прокладки каждого километра пути, чтобы транспортировать его, Z — для строительства каждой турбины и т.д. Путем сложения необходимых затрат энергии мы можем сравнить результат с выработкой электроэнергии.

Учет риска основывается на тех же самых принципах. Все источники риска оцениваются с точки зрения вызываемых ими смертей, увечий или болезней. Это значит, что мы оцениваем не только заключительный этап производства электроэнергии, но и начальный и промежуточный этапы. Например, для двух случаев, упомянутых в первом параграфе, мы будем оценивать риск, связанный с добычей песка, меди, железа, угля, урана и других необходимых видов сырья, а также риск, связанный с переработкой этого сырья в стекло, медные трубы, топливные стержни, сталь и все другие необходимые компоненты. К этому надо добавить риск, связанный с перевозкой материала, производством компонентов, и более очевидный риск, связанный со строительством и эксплуатацией атомной электростанции или панели солнечной батареи.

Учетом риска занимаются уже давно, и при этом использовались различные подходы. Например К.Л.Комар и Л.А.Саган в известной статье, напечатанной в 1976 году в *Annual Review of Energy*, провели сравнение ядерной энергии, угля, нефти и природного газа с точки зрения риска на единицу энергии. Они обнаружили, что если суммировать все основные источники риска по каждой технологии, у ядерной энергии значительно ниже степень риска, чем у электростанций, сжигающих уголь или нефть. Другие исследования, проведенные как ранее, так и после, подтверждают это.

Но те, кто выражает беспокойство по поводу ядерной энергетики и кто даже осуждает ее, редко выступают за возврат к углю и задымленным городам, в которых мы жили несколько десятилетий назад. Они, как правило, предлагают использовать "альтернативные", "мягкие" или "нетрадиционные" виды технологии, такие, как солнечная, ветровая, термоокеаническая, метаноловая, геотермальная и множество других. Тогда встает вопрос, каков же риск каждой из этих технологий в сравнении с обычными системами, такими, как угольная, нефтяная или ядерная?

Результаты нашего вычисления риска по меньшей мере удивительны. Они свидетельствуют о том, что, когда учтены все источники риска, большинство нетрадиционных технологий имеют гораздо худший показатель в сравнении с традицион-

ными. На рисунке 1 показаны наши результаты. По вертикали отложено общее число человеко-дней, потерянных как рабочими, так и остальным населением в результате смертных случаев, увечий или болезней при производстве единицы чистой электроэнергии каждой системой. Чтобы объединить смертные случаи с менее серьезными случаями потери трудоспособности, каждому смертному случаю было присвоено произвольное число (6000) потерь в человеко-днях.

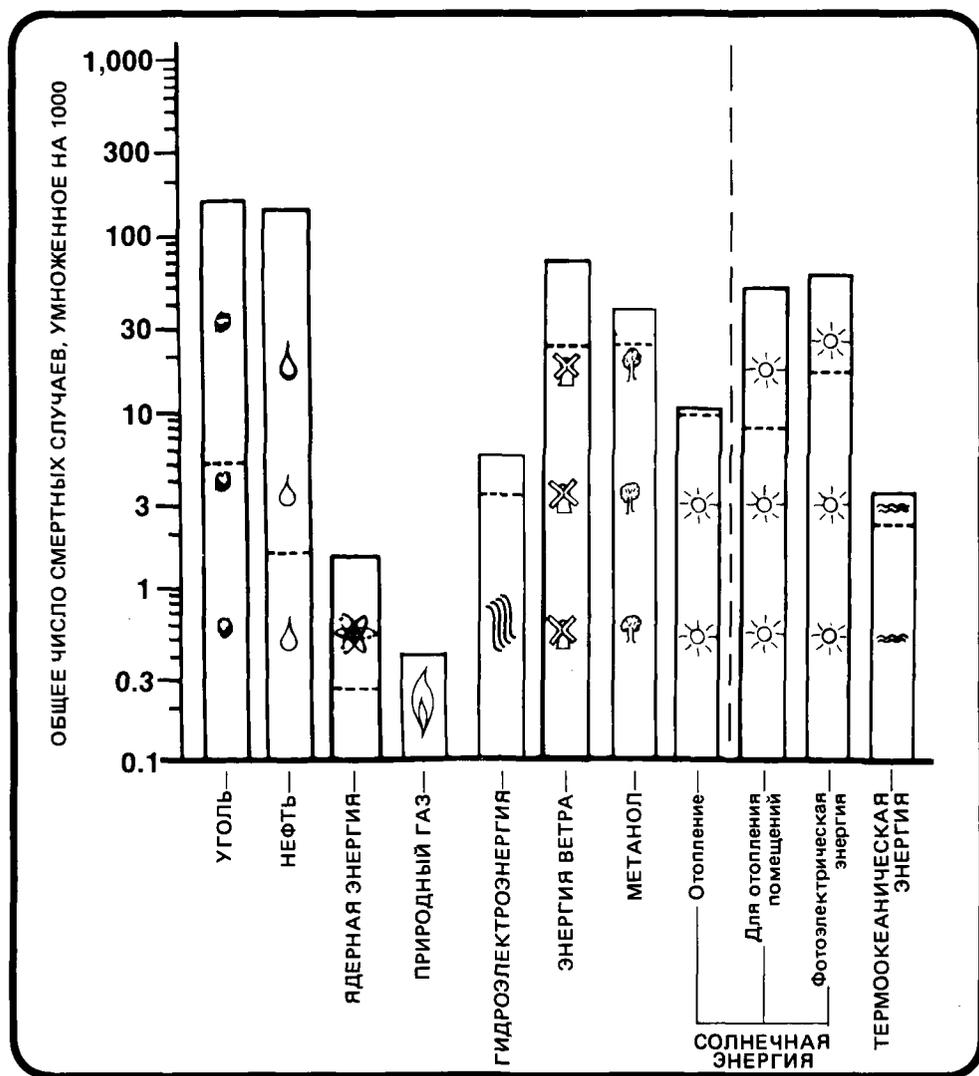


Рисунок 1. Общий риск на единицу выработанной электроэнергии (один МВт-год) для 11 энергетических систем. У каждой системы диапазон значений. Максимальные значения соответствуют вершинам колонок, минимальные значения отмечены горизонтальными пунктирными линиями. У природного газа диапазон очень мал. Колонки справа от вертикальной пунктирной линии представляют собой те системы, которые, вероятно, не будут использоваться в Канаде в ближайшем будущем. Обратите внимание на то, что шкала логарифмическая.

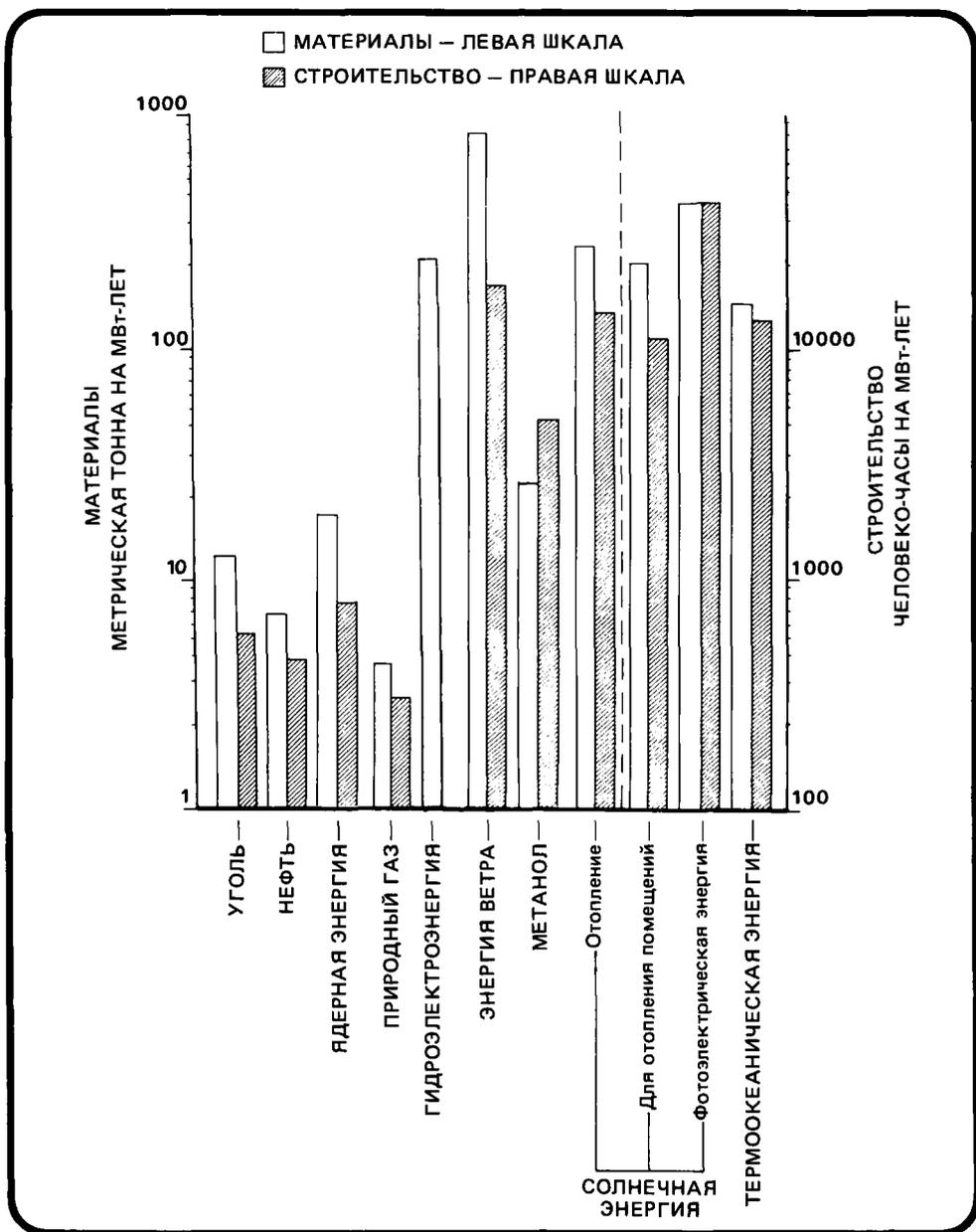


Рисунок 2. Для нетрадиционных систем требуется гораздо больше материалов и времени, чем для традиционных систем (первые пять слева). При использовании газа потребности в материалах и времени минимальные. Самые высокие запросы на материалы у систем, работающих с помощью ветра, а у фотоэлектрической системы, использующей энергию солнца, больше всего времени уходит на строительство. Отношение между самыми высокими и самыми низкими значениями по каждой категории колеблется в пределах 100-200. Энергетические системы, расположенные справа от пунктирной линии, вероятно, не будут использоваться в Канаде в обозримом будущем в связи с климатическими условиями страны.

Среди этих 11 технологий (пять традиционных и шесть нетрадиционных) самой низкой степенью риска обладает технология производства электроэнергии на базе природного газа. Ее коэффициент приблизительно в два раза ниже, чем у ближайшей технологии с более высокой степенью риска у ядерной энергетики. На третьем месте — нетрадиционная система, термоокеаническая, которая может превращать разницу температур различных слоев океана в электричество. У большинства других нетрадиционных систем степень риска гораздо выше. Однако самый высокий показатель принадлежит углю и нефти, у которых степень риска примерно в 400 раз выше, чем в случае с природным газом.

Материал повышает степень риска

Каковы причины такой удивительной расстановки? Подробности содержатся в недавно вышедшем докладе*. Основная причина, согласно которой нетрадиционные системы обладают сравнительно высокой степенью риска, заключается в большом количестве материалов и работы, которые они требуют на единицу вырабатываемой энергии. Почему солнечная энергия требует больше материалов, чем вырабатываемая на угле или нефти? Причина заключается в рассеянной природе поступающей энергии: солнечная энергия и энергия ветра слабы и требуют больших систем для их сбора и хранения, с тем чтобы накопить достаточное количество энергии. Угольные, нефтяные и ядерные системы имеют дело с концентрированными формами энергии и поэтому требуют меньше аппаратуры. Это упрощенный аргумент и он скрывает менее важные соображения, но в целом обоснование его правильное. На рисунке 2 показаны результаты этих вычислений.

Большое количество материалов, необходимых для нетрадиционных систем, означает громадные усилия для промышленности, затрачиваемые на добычу сырья, обогащение, изготовление конечного продукта, а также на строительство коллекторов, систем хранения и всей соответствующей аппаратуры. Каждый вид промышленной деятельности сопровождается определенным риском, степень которого можно определить с помощью статистических данных, собираемых национальными организациями. В результате многочисленных умножений и сложений мы находим, что риск, порождаемый нетрадиционными энергетическими системами, может быть значительным.

Тогда возникает интересный вопрос. Хотя эти системы носят название нетрадиционных, их риск происходит главным образом от источников, в высшей степени традиционных. Другими словами, риск от ветряных двигателей не исходит непосредственно от лопасти, которая может оторваться и ударить вас по голове, а риск от элементов солнечной батареи для отопления не связан с тем, что вы можете упасть с крыши во время их установки. Скорее он связан с решением более земных задач по добыче угля, железа и другого сырья и при производстве из них стали, меди и стекла.

Общий риск, как показано на рисунке 1, можно подразделить на две категории: профессиональный риск и риск для населения. Профессиональному риску подвер-

* *Risk of Energy Production*. 1978, No. AECB-1119. Atomic Energy Control Board, PO Box 1046, Ottawa, Canada, K1P 5S9.

Таблица 1. Риск в пересчете на потерянное количество человеко-дней на единицу выработанной электроэнергии

	Профессиональный	Для населения
Уголь	73	2010
Нефть	18	1920
Ядерная энергия	8,7	1,4
Природный газ	5,9	—
Термоокеаническая энергия	30	1,4
Ветер	282	539
Солнечная энергия:		
для отопления помещений	103	9,5
термоэлектрическая энергия	101	510
фотоэлектрическая энергия	188	511
Метанол	1270	0,4

гаются лица, связанные с процессом производства и эксплуатации энергетической системы; риску для населения подвергаются все остальные лица. Вследствие различных композиций материалов и труда, используемых в каждой энергетической системе, степень риска в каждой из этих двух категорий необязательно будет такой же, что для общего риска. Результаты по каждой из этих двух категорий даются в таблице 1.

С точки зрения профессионального риска природный газ, используемый для производства электроэнергии, имеет самую низкую степень риска, и непосредственно за ним идет ядерная энергия. Профессиональный риск включает, например, риск, связанный с бурением, строительством трубопроводов, строительством распределительной сети и так далее. Риск, связанный с углем, еще более высок. В то время как риск, связанный с пребыванием в шахте в течение одного часа, не отличается в значительной степени для шахтеров, добывающих уголь или уран, последние добывают гораздо больше энергии за единицу отработанного времени. В результате их профессиональный риск на единицу произведенной энергии значительно ниже.

Необычайно высокий профессиональный риск, связанный с получением и использованием метанола, в первую очередь зависит от одного фактора — заготовки леса. В Канаде (и повсюду в мире) — это работа, в которой довольно высок процент несчастных случаев. Эксплуатация электростанций на метаноле предполагает наличие больших количеств древесины, и поэтому риск будет соответственно высоким.

Однако с точки зрения риска для населения метанол занимает второе место после природного газа, используемого для производства электроэнергии. Насколько известно, сжигание метанола весьма незначительно или совсем не загрязняет воздух, поэтому риск для населения весьма близок к нулю. С другой стороны, риск

для населения в результате сжигания угля и нефти в большей степени связан с загрязнением воздуха.

Как могут нетрадиционные источники энергии, такие, как ветер или тепловая солнечная энергия (концепция "энергетической башни"), породить значительный риск для населения? Ответ прост. Производство металлов, необходимых для большинства нетрадиционных технологий, связано со сжиганием угля, в результате чего происходит загрязнение воздуха, что, в свою очередь, оказывает воздействие на здоровье населения. Кроме того, риск для населения порождается необходимостью иметь резервную систему, которая потребуется в условиях отсутствия солнечных лучей и ветра.

Можно было бы оспаривать эти факты, утверждая, что первый из этих двух источников уводит анализ слишком далеко, что уголь, железная руда и другое сырье слишком удалены от конечного производства энергии, чтобы они имели какое-либо значение при оценке риска. Однако роль исходных материалов при анализе очень важна. В условиях недостатка энергии необходимо строить атомные электростанции или панели солнечных батарей. Для создания электростанций или панелей нам необходимо добыть и обогатить сырье, изготовить промежуточные материалы и компоненты и смонтировать конечный продукт. Мы не можем избежать риска, игнорируя его только потому, что ему подвергается кто-то другой.

Энергетической системой, вокруг которой ведется гораздо больше споров относительно риска, присущего ей, является, без сомнения, ядерная энергетика. В исследовании, подобном нашему, мы не можем рассмотреть все претензии и контрдоводы, касающиеся ядерного риска, которые были сделаны. Особенно это касается докладов, подобных исследованию Расмуссена по безопасности атомных реакторов, объем которого находится в пределах 4000 страниц (WASH-1400).

Вместо этого был сделан обзор основных докладов, опубликованных в научной литературе, где оценивались аспекты ядерного риска, включая монографию, написанную известным ядерным критиком Джоном Холдреном из Калифорнийского университета в Беркли. Для каждого составного элемента риска было использовано самое высокое значение, взятое из группы научных источников. Эта процедура, которая не использовалась для других энергетических систем, была избрана в качестве способа, для того чтобы развеять подозрения в проядерных настроениях, которые очень часто омрачают споры по энергетическим проблемам.

Учет опасностей

Здесь нет возможности провести полное обсуждение методологии — полный отчет Контрольного совета по атомной энергии содержит дополнительную информацию о ее характерных особенностях. Однако, поскольку для некоторых энергетических систем обеспечение материалами и строительство связаны со значительным риском, целесообразно коротко остановиться на этом вопросе. Предположим, что для добычи X тонн угля или какого-либо другого материала, необходимого для производства единицы чистой энергии, требуется Y человеко-лет. Если количество человеко-дней, потерянных в течение года, обозначить через Z , то количество человеко-

дней, потерянных на единицу произведенной энергии, равняется YZ/X . Такой же расчет производится в отношении количества человеко-часов на единицу произведенной энергии и в отношении риска, присущего различным профессиональным категориям, таким, как инженерно-технический состав, строители, эксплуатационники, обслуживающий персонал и т.д. Таким же образом мы находим риск, присущий каждой части системы, и суммируем его для определения общего риска. Эти подсчеты не требуют знания высшей математики или трудных для понимания моделей, а только способности умножать и складывать.

Для этого типа вычислений необходимо иметь определенные данные: время, требуемое для производства единицы продукции; количество несчастных случаев, заболеваний и смертных случаев в промышленности; сроки строительства и потребности в сырье для промышленных процессов. Но хотя мы не располагаем абсолютным знанием этих данных, мы знаем достаточно, чтобы провести общее исследование, подобное нашему. Поскольку ко всем системам применялась одна и та же методология, то во всех случаях, где это было возможно, делалась попытка свести к минимуму непреднамеренное искажение фактов. Для таких источников риска, как перевозка, загрязнение воздуха и удаление отходов, использовались различные методики. Были приложены все старания, для того чтобы обеспечить как можно более однообразный подход ко всем рассматриваемым энергетическим системам.

В противоположность представлению многих людей опасность для здоровья (и вытекающие из этого последствия) на единицу произведенной энергии от нетрадиционных источников энергии, таких, как энергия солнца и ветра, со всей очевидностью является более высокой, чем от таких традиционных источников электроэнергии, как природный газ и ядерная энергия. Существуют по крайней мере две причины, почему подводит интуиция: первая из них — мы склонны игнорировать все части энергетического цикла, за исключением последней, наиболее видимой части; и второе — мы забываем, что риск нужно сравнивать посредством приведения к единице произведенной энергии.

Приведенные выше выводы имеют значение не только по отношению к энергии. Многие лица отстаивали использование децентрализованных энергетических систем как части политического и экономического процесса. В связи с вызываемым ими риском одна лишь потребность в материалах может исключить этот вариант. Ни я, ни Контрольный совет по атомной энергии не предлагаем использовать или не использовать какую-либо определенную энергетическую систему. Однако все мы должны иметь представление о связанных с этим рисках, для того чтобы выработать обоснованное суждение о технической приемлемости определенной системы.