

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Адольф Филиппов

Эволюция средств энергетики в доатомный период заключалась лишь в совершенствовании технических устройств. Способ же получения энергии – сжигание органического топлива – был неизменным. Освоение ядерной энергии ознаменовало качественно новый этап развития человечества. Однако и ядерная энергетика, и традиционное использование ископаемого топлива неизбежно входят в противоречие с требованиями экологии, ставя под сомнение само существование человека в будущем.

Выходом из нарастающего кризиса служит поиск альтернативных способов получения энергии, из которых ведущее место занимает солнечная.

Фундаментальным свойством потока лучистой энергии Солнца является его постоянство. За пределами атмосферы на перпендикулярную лучам поверхность приходит 1368 Ватт на квадратный метр – так называемая «солнечная постоянная». В литературе разных лет встречаются значения от 1380 до 1448 Вт/кв.м. Это не связано с какими-либо изменениями фотосферы Солнца, а определяется выбором эталона излучения или пиргелиометрической шкалой. Европейская шкала даёт несколько заниженные значения. Американская шкала, где вводятся поправки на отличие излучения Солнца от чёрного тела в инфракрасной и ультрафиолетовой частях спектра, приводит к завышенным величинам.

В связи с анализом закономерностей солнечной энергии, уместно напомнить главные характеристики её источника. В астрономии Солнце относят к спектральному классу «жёлтых карликов». В нашей Галактике 100 миллионов звёзд подобного класса, однако 85% из них имеют меньшую светимость, чем Солнце.

Солнце – газовый шар радиусом, в 109 раз большим Земли.

Плотность вещества равна 1,4 кг/м³. По массе оно состоит из водорода (73 %) и гелия (25 %). Атомы тяжёлых элементов составляют менее 2%. Видимая нами светящаяся область Солнца – фотосфера – имеет температуру около 6000 °С. С приближением к центру температура возрастает и составляет 15 миллионов градусов в ядре, где протекает реакция термоядерного синтеза с превращением водорода в гелий.

Структура Солнца и протекающие в нём процессы изучены весьма детально. Если поток электромагнитного (волнового) излучения, как это следует из классической термодинамики, постоянен, то выбросы вещества из недр Солнца чрезвычайно изменчивы и разнообразны. Они приводят, в частности, к формированию корпускулярного потока – «солнечного ветра». Эффекты солнечного ветра, в силу малости его энергии, не относятся к теме нашего доклада. Отметим лишь, что приход частиц (преимущественно протонов) вызывает резкие аномалии геомагнитного поля и часто нарушает функционирование электрорадиотехнических средств.

Удивительное свойство Солнца заключается в том, что в фотосфере периодически возникают тёмные области – солнечные пятна. На притоке тепла они практически не сказываются, но сопровождаются повышенным излучением в ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра. Число пятен меняется с циклическостью 11 лет. Динамика солнечных пятен (солнечная активность) повторяет конфигурацию взаимного расположения Солнца, Юпитера и Сатурна и связана с их приливным взаимодействием.

Практически все процессы на Земле меняются циклически. Вполне вероятно, что агентом подобных колебаний служат солнечные пятна. Поэтому поиск солнечно-земных связей важен не только с феноменологической точки зрения, но и для долгосрочного прогнозирования.

Но вернёмся к энергетическим соотношениям. Поток солнечной энергии на горизонтальную поверхность за пределами атмосферы зависит от времени года, времени

суток, географической широты места. Сезон года в формулах астрономии учитывается через солнечное склонение – угол между осью вращения Земли и нормалью к плоскости эклиптики. Поток энергии не зависит от долготы, т.е. в его распределении преобладает широтная зональность. Без учёта ослабления энергии в атмосфере теория этого распределения весьма проста. Она сформулирована Миланковичем в виде «солярного климата».

Общеизвестно, что суточные суммы радиации максимальны летом каждого полушария и минимальны зимой. Годовой ход притока тепла не столь очевиден. На экваторе энергия мало меняется в течение года. Имеются лишь два небольших минимума в июле и декабре и два максимума в весеннее и осеннее равноденствия. В полярных районах летом каждого полушария Солнце не заходит вообще и суточная инсоляция оказывается даже больше, чем на экваторе. В сумме за год эффекты полярной ночи и дня уравниваются и годовой приток почти в два раза меньше, чем в тропических широтах.

Реальные потоки энергии у земной поверхности определяются сложными механизмами отражения от облаков, молекулярного и аэрозольного рассеяния и поглощения. В практике солнечной энергетики используют понятия теоретических сумм (без учёта атмосферы), возможных сумм (для безоблачной атмосферы) и действительных сумм – при фактических условиях облачности в данном регионе. На экваторе указанные годовые суммы соответственно равны: 13400, 7800 и 3400 МДж/м². С увеличением широты эти суммы уменьшаются и, например, на широте 60° составляют 7670, 4300 и 1690 МДж/м². Отношение действительных сумм к возможным близко к 40-50 %. Это означает, что при безоблачном небе до земной поверхности доходит около половины энергии, падающей на верхнюю границу атмосферы. Облачность же дополнительно уменьшает приход радиации почти вдвое.

Сказанное относится к энергии, приходящей на земную поверхность в виде параллельных лучей. Наряду с этой прямой радиацией большую роль играет и рассеянная атмосферой энергия, идущая от всех частей небесного свода. Рассеянная радиация максимальна при сплошной облачности, когда прямая отсутствует, а также при малых высотах Солнца над горизонтом.

Приведём в таблице результаты многолетних непосредственных измерений потоков энергии в некоторых пунктах России (табл.). Измерения проводились многие десятки лет по методике Международных стандартов, поэтому их достоверность очень высока. Таблица показывает, в частности, что рассеянная энергия всюду составляет значительную долю суммарной. С точки зрения практики это означает, что гелиоустановки можно строить не только в пустынях, но и в районах облачной погоды. Примером подобной стратегии является Швейцария, где роль солнечной энергетики весьма велика. Детальная информация о пространственно-временном распределении солнечной энергии по земному шару приведена в Мировом Атласе радиационного баланса, созданном в России под руководством М.И. Будыко. Это фундаментальное картографическое произведение может служить теоретической основой мировой гелиоэнергетики.

Точные расчёты солнечной энергии могут быть выполнены только для конкретного места с учётом комплекса природных условий. Вместе с тем, представляется интересной приближённая оценка ресурса солнечной энергетики. В качестве примера мы рассчитали вероятные суммы лучистой энергии для трёх простых моделей.

1. Суммарный за год приток энергии для земного шара в целом.

Исходной информацией здесь является эмпирическая кривая распределения энергии по широте. Чем надёжнее экспериментальный материал этой кривой, тем точнее будут окончательные расчёты. Суммарный поток представляет собой интеграл от указанной функции по площади земного шара. Удобно выполнить графическое интегрирование. Для этой цели мы разделили земной шар на

широтные пояса (через 10 градусов) и умножили энергию для данной широты на площадь пояса. Сумма таких произведений и будет глобальным ресурсом солнечной радиации. Он равен $27,7 \cdot 10^{23}$ Дж/год.

2. При любом сценарии энергетики будущего строить гелиоустановки на океанах нежелательно. Если учитывать только поверхность суши, то суммарная энергия уменьшится до $9,2 \cdot 10^{23}$ Дж/год.
3. Наконец, полярные области также малоэффективны для работы солнечных установок. Исключая поток энергии в полярных районах (например, выше 60° северной и южной широт), получим наиболее корректную оценку глобального ресурса лучистой энергии:
 $8,6 \cdot 10^{23}$ Дж/год.

**Годовые суммы прямой, рассеянной и суммарной солнечной энергии
в некоторых пунктах наблюдений в России (МДж/м²)**

Таблица

Пункт	Широта, град., с.ш.	Годовые суммы солнечной энергии, МДж/м ²		
		прямая	рассеянная	суммарная
Бухта Тихая	80	670	1630	2300
Павловск	60	1720	1260	2980
Иркутск	52	2485	1780	4265
Карагач	45	3350	1550	4900
Кисловодск	44	2760	2220	4980
Ташкент	41	4190	1550	5740

В огромном числе публикаций солнечную энергию называют «бесплатной» и «неограниченной». Так ли это в действительности? Если сама энергия и ничего не стоит, то её использование оказывается экономически очень невыгодным. В настоящее время человечество вырабатывает из разных источников $4,85 \cdot 10^{20}$ Дж/год, что в 1800 раз меньше «солнечного ресурса».

Много это или мало? Решит время.