



Марк Делукки и Марк Джейкобсон

ПУТЬ К НАДЕЖНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ В 2030 году

Ветер, вода и Солнце способны удовлетворить все потребности человечества в электроэнергии

В декабре 2009 г. лидеры разных стран собрались в Копенгагене, чтобы договориться о мерах по уменьшению выбросов парниковых газов на предстоящие десятилетия. Наиболее эффективным шагом к достижению этой цели мог бы стать массовый перевод энергетики с ископаемых видов топлива на чистые возобновляемые источники энергии. Если лидеры государств поверят, что такой перевод возмо-

жен, эта идея может быть воплощена в жизнь.

В 2008 г. бывший вице-президент США Альберт Гор бросил перчатку, заявив о намерении США в течение десяти лет полностью перейти на безуглеродную энергетику. Начав оценивать реальность осуществления такого перехода, мы поставили перед собой еще более масштабную задачу: определить, как добиться того, чтобы все человечество мог-

ло к 2030 г. получать необходимую ему электроэнергию от ветра, воды и Солнца. Наш план представлен ниже.

Ученые работают над этой задачей, рассматривая различные ее аспекты, уже не менее десяти лет. В одном из самых последних исследований, опубликованном в 2009 г. Стэнфордским университетом, проведено ранжирование различных систем энергетики по их «вкладу» в глобальное потепление, загрязнение окружающей среды, использование земель, состояние источников воды, живой природы, и другие факторы. Наилучшими вариантами оказались ветровая, солнечная, геотермальная, приливная и гидроэнергетика, первичными источниками энергии для которых служат ветер, вода и Солнце (далее ВВС). Ядерная и угольная, а также энергетика на основе этанола проигрывали, как, впрочем, и нефтяная



с газовой. Это исследование также показало, что автомобили, работающие на аккумуляторах, подзаряжаемых от ВЭС-сетей, и на водородных топливных элементах, питающихся от тех же ВЭС-систем, практически не загрязняют атмосферу.

Для реализации нашего плана понадобятся миллионы ветряных электростанций, гидротурбин и солнечных установок. Это много, но такой масштаб не представляет собой непреодолимого препятствия. Человечество и раньше осуществляло грандиозные преобразования. Во время Второй мировой войны США переоборудовали многие автомобильные заводы, что позволило им выпустить 300 тыс. самолетов, а еще 486 тыс. выпустили другие страны. В 1956 г. США начали строительство системы автомагистралей между различными штатами, протяженность которых через 35 лет достигла почти 76 тыс. км, что кардинально повлияло не только на торговлю, но и на состояние общества.

Можно ли полностью преобразовать мировую энергетику? И можно ли сделать это за два десятилетия? Ответ зависит от выбора технологий, доступности необходимых ма-

териалов, а также от экономических и политических факторов.

Только чистые технологии

Возобновляемые источники энергии чрезвычайно привлекательны: это ветер, создающий также волны, вода — основа гидро-, приливной и геотермальной (с использованием природной горячей воды из земных недр) энергетики, и Солнце, чья энергия может преобразовываться в электрическую при помощи вентильных фотоэлементов и концентраторных систем, фокусирующих солнечное излучение для нагрева воды и образования пара для паровых турбин. Наш план включает только те технологии, которые уже применяются или близки к этому, а вовсе не те,

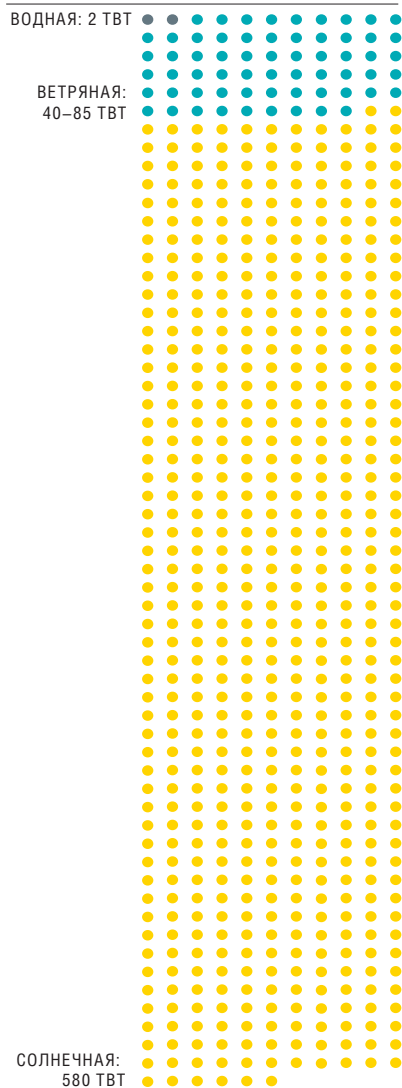
внедрение которых может начаться лишь через 20–30 лет.

Также мы рассматриваем технологии, которые почти не дают выбросов парниковых газов и не приводят к загрязнению воздуха в течение всего цикла реализации — от начала строительства до завершения вывода из эксплуатации. Например, даже самые экологически приемлемые источники этанола для автомобильных двигателей вызывают загрязнение воздуха, что ведет к такому же уровню смертности, как это происходит при сжигании бензина. Ядерная энергетика с учетом процессов строительства реакторов, обогащения урана и транспортировки дает почти в 25 раз больше выбросов углерода, чем ветровая. Технологии улавлива-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Источники ветровой и солнечной энергии на доступных территориях уменьшают потребление энергии во всем мире.
- План авторов предусматривает создание 3,8 млн больших ветряных турбин, 90 тыс. солнечных энергоустановок и множества геотермальных и приливных электростанций, а также солнечных батарей на крышах во всем мире.
- Стоимость производства и передачи киловатт-часа будет меньше по сравнению с ожидаемой для аналогичных единиц энергии, производимой электростанциями, работающими на ископаемом и ядерном топливе.
- Основные препятствия для осуществления этого плана — нехватка определенных материалов и отсутствие политической воли.

ДОСТУПНАЯ МОЩНОСТЬ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ДОСТУПНЫХ МЕСТАХ



МОЩНОСТЬ, КОТОРАЯ ПОТРЕБУЕТСЯ ПЛАНЕТЕ В 2030 Г.



ИЛИ



НЕОБХОДИМАЯ МОЩНОСТЬ УСТАНОВОК НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ДЛЯ ВСЕГО МИРА

ВОДНЫЕ 1,1 ТВт (9% ОБЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА)

490,000

ПРИЛИВНЫЕ ТУРБИНЫ – 1 МВт* – В НАЛИЧИИ <1%
* мощность единичного агрегата

5,350

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ – 100 МВт – В НАЛИЧИИ 2%

900

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ – 1300 МВт – В НАЛИЧИИ 70%

3,800,000

ВЕТРЯНЫЕ ТУРБИНЫ – 5 МВт – В НАЛИЧИИ 1%

720,000

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ВОЛН* – 0,75 МВт – В НАЛИЧИИ <1%
*ветровых

ВЕТРЯНЫЕ: 5,8 ТВт (51% ОБЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА)

1,700,000,000

СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ НА КРЫШАХ* 0,003 МВт – В НАЛИЧИИ <1%
*для небольших домов, на крышах промышленных зданий могут устанавливаться десятки таких батарей

49,000

КОНЦЕНТРАТОРНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ – 300 МВт – В НАЛИЧИИ <1%

40,000

ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ФОТОЭЛЕМЕНТАХ – 300 МВт – В НАЛИЧИИ <1%

СОЛНЕЧНЫЕ 4,6 ТВт (40% ОБЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА)

МВт – мегаватт = 1 млн ватт
ГВт – гигаватт = 1 млрд ватт
ТВт – тераватт = 1 трлн ватт

ния углерода могут уменьшить выброс CO_2 угольными электростанциями, но они одновременно и увеличивают вредные выбросы, т.к. для улавливания и хранения углерода требуется сжигать дополнительное количество угля. Наконец, мы рассматриваем только те технологии, которые не дают значительных количеств отходов и не связаны с риском терроризма.

Согласно нашему плану, ВЭС будут поставлять электроэнергию для отопления и для транспорта — отраслей, которые необходимо переоборудовать, если человечество хочет

иметь шанс замедлить глобальные изменения климата. Мы исходим из того, что большинство источников тепла, в которых сжигается ископаемое топливо (включая домашние плиты и духовки), можно заменить электрическими, а автомобили и самолеты, работающие на ископаемом топливе, заменить транспортными средствами на аккумуляторах и водородных топливных элементах. При этом водород для топливных элементов, авиации и промышленности будет получаться посредством электролиза воды с использованием ВЭС-источников энергии.

Обилие источников энергии

По данным Управления по энергетической информации США, сегодня мировое одномоментное потребление энергии составляет около 12,5 трлн Вт (тераватт, ТВт). Управление прогнозирует, что в связи с ростом населения Земли и повышением его жизненного уровня к 2030 г. потребуется 16,9 ТВт, в том числе в США 2,8 ТВт. При этом предполагается, что распределение источников останется близким к нынешнему — с большим преобладанием доли ископаемого топлива. Если бы источниками всей энергии для

планеты были только ВЭС, это дало бы любопытную экономию: мировое потребление мощности составило бы только 11,5 ТВт, а в США — 1,8 ТВт. Это обусловлено тем, что электрификация в большинстве случаев представляет собой более эффективный способ использования энергии. Например, из энергии бензина, сжигаемого в двигателе автомобиля, для приведения его в движение используется всего 17–20% (остальная энергия теряется в виде тепла), тогда как у электромобиля это 75–86%.

Но даже если бы потребление действительно достигло 16,9 ТВт, ВЭС были бы способны дать несравненно большую мощность (согласно исследованиям, ветер — 1,7 тыс. ТВт, а Солнце — 6,5 тыс. ТВт). Разумеется, в открытом море, на высокогорьях и в охраняемых зонах получать энергию от ветра и Солнца не удастся. Но даже если не учитывать зоны, освоение которых маловероятно, останется 40–85 ТВт ветровой мощности и 580 ТВт солнечной, что намного перекрывает будущие потребности человечества. Однако сегодня мы получаем от ветра всего 0,02 ТВт, а от Солнца — 0,008, так что потенциал роста огромен.

Другие ВЭС-источники предлагают широкий выбор возможностей. Хотя энергия волн «добывается» только в прибрежных районах, ее использование можно значительно расширить. Несмотря на то что вклад мощности гидроэлектростанций сегодня превышает совокупный вклад всех остальных ВЭС-источников, большинство подходящих крупных водоемов уже используется.

Наш план: нужны электростанции

Существование достаточного количества возобновляемых источников энергии не поддается сомнению. Но как осуществить переход к нужной инфраструктуре, чтобы дать миру необходимые 11,5 ТВт? Мы выбрали сочетание технологий, сделав упор на ветер и Солнце, оставив лишь 9% отработанным водным технологиям. (Столь же успешными могут оказаться

и другие сочетания ветровой и солнечной энергетики.)

Ветер даст 51% требуемой мощности, которую будут вырабатывать 3,8 млн больших генераторов по 5 МВт каждый. Если это количество покажется вам огромным, вспомните, что в год в мире производится 73 млн легковых автомобилей и малотоннажных грузовиков. Другие 40% мощности дадут вентильные фотоэлементы и электростанции с фокусировкой солнечного излучения на котлы (концентраторные), причем 30% мощности фотоэлектрических установок придется на панели, устанавливаемые на крышах жилых домов и других зданий. Потребуется около 89 тыс. солнечных электростанций обоих типов средней мощностью 300 МВт. В нашу систему войдут также 900 гидроэлектростанций (ГЭС), размещенных по всему миру, 70% которых уже действуют.

Сегодня установлено около 0,8% требуемого количества электростанций, использующих силу ветра. Суммарная площадь 3,8 млн подобных установок во всем мире составит менее 50 кв. км — это меньше площади Манхэттена. С учетом требуемого расстояния между турбинами они займут около 1% суши, но пространство между ними можно будет отдать под поля или пастбища, либо размещать турбины в пустынных местах или океане. Солнечные электростанции на вентильных фотоэлементах (не считая тех, что будут размещаться на крышах) займут около 0,33% площади суши. Создание такой широкой инфраструктуры потребует времени, но ведь оно требовалось и для создания существующей сети электростанций. И не забывайте, что если и впредь

полагаться на ископаемое топливо, то к 2030 г. придется построить еще около 13 тыс. новых крупных угольных электростанций (которые займут гораздо больше места), поскольку потребность в электроэнергии составит 16,9 ТВт!

Трудности, связанные с материалами

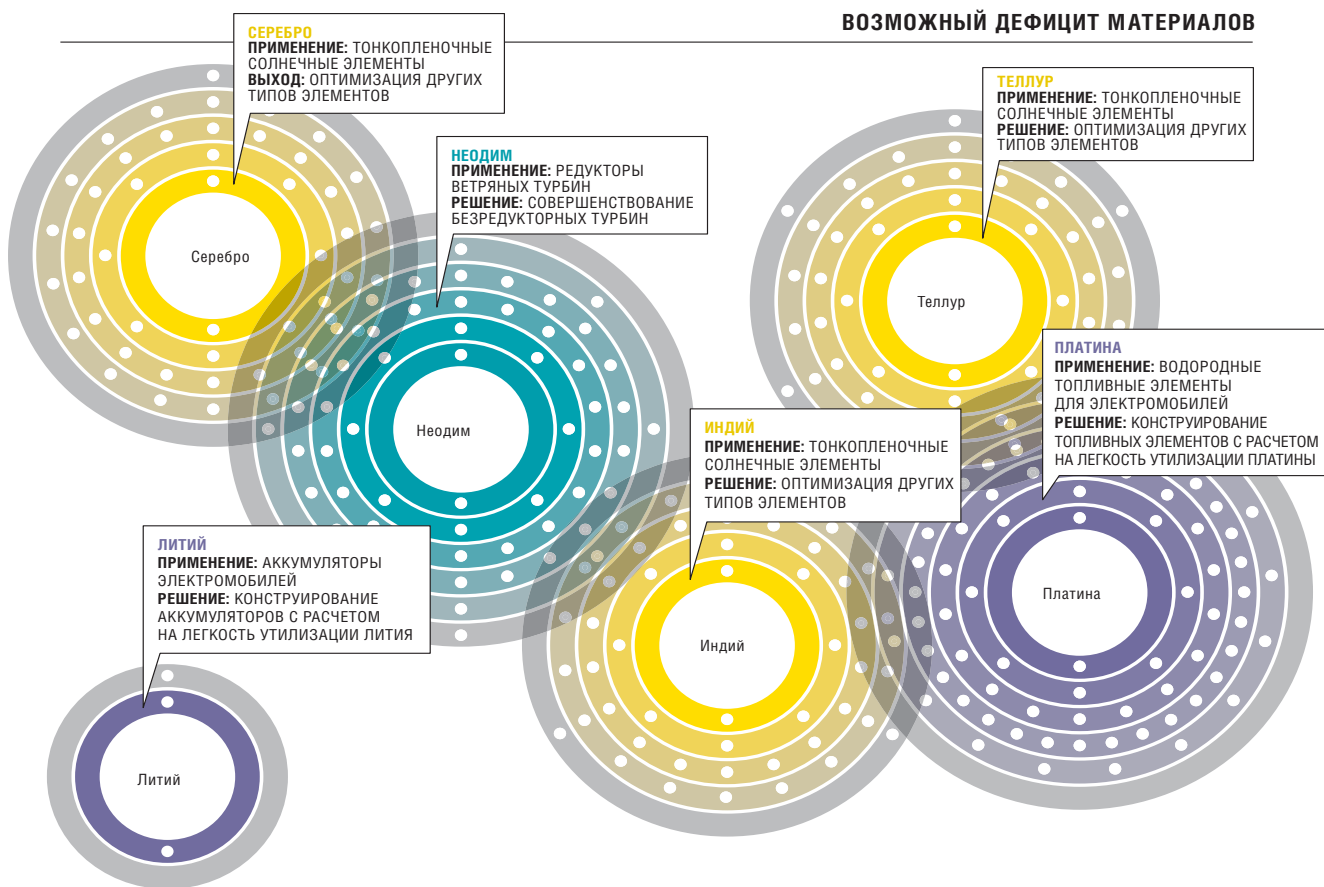
Масштаб ВЭС-инфраструктуры — не препятствие. Но некоторые материалы, необходимые для ее создания, могут быть дефицитными или дорогостоящими.

Бетона и стали для строительства миллионов ветряных турбин вполне достаточно, и эти материалы полностью пригодны для повторного использования. Больше всего трудностей могут вызвать редкоземельные металлы, в частности неодим, используемые в редукторах ветряных двигателей. Эти материалы не так уж редки, но источники, где их добыча обходится сравнительно недорого, сосредоточены в Китае, поэтому у таких стран, как США, может возникнуть зависимость от ближневосточной нефти, которая потребуется для доставки этих дальневосточных металлов. Однако производители стремятся создать безредукторные ветряные двигатели, что может решить проблему.

Для вентильных фотоэлементов требуются аморфный или кристаллический кремний, теллурид кадмия или селенид и сульфид меди и индия. Дефицит теллура и индия может ухудшить перспективы для некоторых видов тонкопленочных солнечных элементов, но не для всех. Помехой для крупномасштабного производства может стать недостаток серебра, необходимого для



ВОЗМОЖНЫЙ ДЕФИЦИТ МАТЕРИАЛОВ



солнечных элементов, но эту проблему можно решить при помощи новых способов сокращения содержания серебра в этих элементах. Утилизация материалов из старых фотоэлементов для повторного использования также компенсирует нехватку материалов.

Серьезным препятствием для производства миллионов электромобилей могут стать редкоземельные металлы (для электродвигателей), литий (для литий-ионных аккумуляторов) и платина (для топливных

элементов). Больше половины мировых запасов лития сосредоточено в Боливии и Чили. Такая их концентрация в сочетании с быстрым ростом спроса может вызвать существенный рост цен. Более сомнительно утверждение компании *Meridian International Research* о том, что запасов лития, добыча которых рентабельна, не достаточно для создания количества аккумуляторов, необходимого для массового производства электромобилей во всем мире. Положение может исправить утилизация

лития, но рентабельность будет зависеть от того, предусматривалась ли при разработке конструкции батарей легкость утилизации. Использование платины в долгосрочной перспективе также зависит от утилизации. Известных запасов платины при ежегодном производстве 20 млн автомобилей на топливных элементах (с учетом потребления ее в других областях) хватит меньше, чем на 100 лет.

Разумное сочетание

Новая инфраструктура должна удовлетворять спрос на энергию не менее надежно, чем существующая. Технологии ВЭС обеспечивают меньший простой электростанций по сравнению с традиционными. Так в США угольные электростанции простаивают при плановом и внеплановом обслуживании в среднем по месяцу в году. Современные же ветряные турбины простаивают менее семи дней на суше

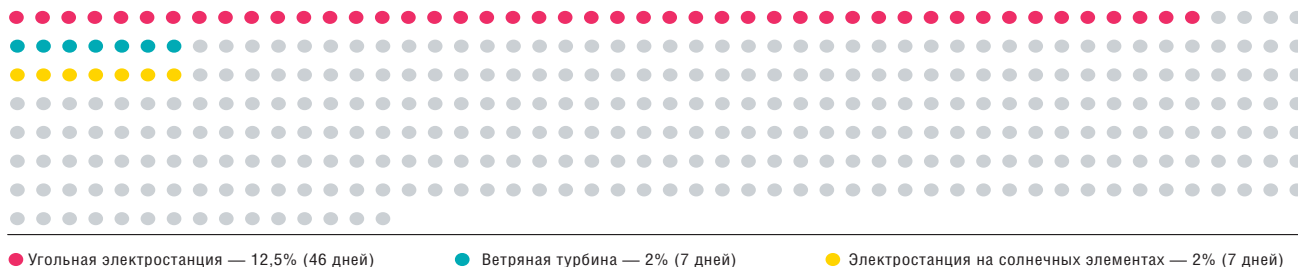
ОБ АВТОРАХ

Марк Делукки (Mark A. Delucchi) — научный сотрудник Института транспортных исследований Калифорнийского университета в Дэвисе. Занимается анализом энергетических, экологических и экономических аспектов передовых транспортных средств и систем. **Марк Джейкобсон** (Mark Z. Jacobson) — профессор строительной и экологической техники, руководитель программы по атмосфере и энергетике Стэндфордского университета. Он разработал компьютерные модели для изучения влияния энергетических технологий и выбросов энергетических производств на климат и загрязнение воздуха.

CATALOGTREE (illustration); COURTESY OF MARK Z. JACOBSON (Jacobson); COURTESY OF KAREN DELUCCHI (Delucchi)

СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ ПРОСТОЯ ДЛЯ ТЕХОБСЛУЖИВАНИЯ

Число дней в году



и менее 19 дней в море. Простои систем, работающих на вентильных фотоэлементах, также составляют меньше семи дней за год. Более того, спад мощности при отключении отдельных элементов ветряной турбины, солнечной батареи и волнового генератора незначителен, а вот остановка электростанции, работающей на угле, природном газе или ядерном топливе, практически полностью прекратит подачу электроэнергии.

Главная проблема ВЭС-энергетики в том, что ветер дует не всегда, а солнце светит не круглые сутки, да и днем может быть закрыто облаками. Эту проблему можно преодолеть, если выбрать правильное соотношение источников: некоторое базовое количество электроэнергии получать от относительно стабильных геотермальных и приливных электростанций, ветер использовать в основном по ночам, когда он сильнее, а солнечную энергию — днем. При этом в «часы пик» подключать гидроэлектростанции, которые надежны и которые можно быстро запустить и остановить. Так, соединив в общую сеть две ветряные электростанции, отстоящие друг от друга не более чем на 160–320 км, можно компенсировать простои одной из них при отсутствии ветра там, где она расположена. Вообще полезно соединять географически разбросанные источники энергии, чтобы они взаимно подкрепляли друг друга, устанавливать в домах «интеллектуальные» счетчики, которые включали бы зарядные устройства для автомобилей в периоды малого потребления энергии, и строить установки для накопления энергии с целью последующего использования.

и транспортного секторов. Следующий естественный вопрос — будет ли эта энергия доступной по цене. Мы подсчитали, как дорого обойдется производителю выработка электроэнергии и транспортировка ее по сети (для каждой технологии). В расчеты мы включили капитальные вложения в течение года, аренду земли, эксплуатационные расходы, стоимость обслуживания, накопленные энергии для компенсации неравномерности производства и расходы на передачу энергии. Сегодня стоимость киловатт-часа ветровой,

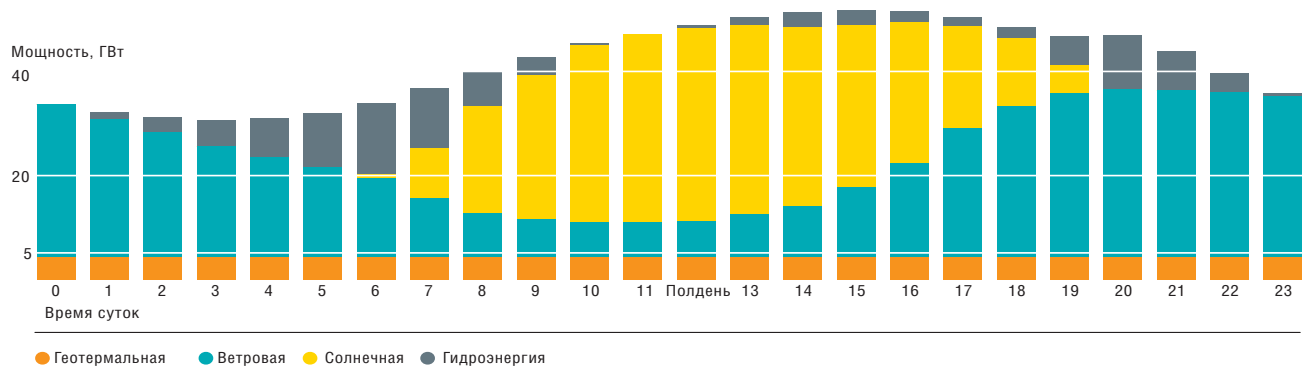
и транспортного секторов. Следующий естественный вопрос — будет ли эта энергия доступной по цене. Мы подсчитали, как дорого обойдется производителю выработка электроэнергии и транспортировка ее по сети (для каждой технологии). В расчеты мы включили капитальные вложения в течение года, аренду земли, эксплуатационные расходы, стоимость обслуживания, накопленные энергии для компенсации неравномерности производства и расходы на передачу энергии. Сегодня стоимость киловатт-часа ветровой,

Не дороже угля

Сочетание различных ВЭС-источников энергии в рамках единой системы способно обеспечить надежное снабжение электроэнергией жилого, торгового, промышленного

▼ **ИССЛЕДОВАНИЕ для КАЛИФОРНИИ.** Чтобы продемонстрировать эффективность сочетания ресурсов, Грим Хост (Graeme Hoste) из Стэнфордского университета недавно рассчитал, как могло бы сочетание четырех возобновляемых источников полностью удовлетворить в 2020 г. потребности Калифорнии в электроэнергии в течение полных суток в типичный июльский день. Необходимые для этого гидроэнергетические мощности уже существуют

ЧИСТАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ КРУГЛЫЕ СУТКИ



геотермальной и гидроэнергии составляет меньше 7 центов, волновой и солнечной — дороже. Однако ожидается, что к 2020 г. и в дальнейшем стоимость ветровой, геотермальной и гидроэнергии будет меньше четырех центов за кВтч.

Для сравнения: в 2007 г. средняя стоимость выработки и передачи традиционных видов электроэнергии в США составляла 7 центов за кВтч, а к 2020 г., вероятно, достигнет восьми. Стоимость электроэнергии, полученной от ветровых источников, уже сегодня практически равняется стоимости электроэнергии от новых электростанций, работающих на угле или природном газе, а в будущем станет меньше. Благодаря дешевизне сегодня в США ветряные электростанции занимают второе место по количеству введенных в строй (уступая лишь газовым).

Солнечная энергия пока обходится дороже, но уже к 2020 г. станет конкурентоспособной. Тщательный анализ, проведенный Василисом Фтенакисом (Vasilis Fthenakis) из Брукхейвенской национальной лаборатории, показал, что через десять лет стоимость электроэнергии от солнечных батарей на вентиляционных фотоэлементах может упасть до 10 центов за кВтч, включая расходы на передачу на большие расстояния и стоимость накопителей на сжатом воздухе для получения энергии в ночные часы. Согласно тому же исследованию, стоимость электроэнергии от концентраторных солнечных электростанций в сочетании с накопителями тепла для круглосуточной генерации энергии весной, летом и осенью может составлять 10 центов за кВтч или даже меньше.

Транспорт в «мире ВВС» будет работать на аккумуляторах или топливных элементах, поэтому нужно сравнить экономические аспекты применения электрических транспортных средств с сегодняшними, работающими на двигателях внутреннего сгорания. Согласно исследованию, проведенному одним из авторов настоящей статьи (Марком Делукки) и Тимом Липманом (Tim Lipman) из Калифорнийского университета в Беркли, личный транспорт, работающий на передовых литий-ионных или никель-металлогидридных аккумуляторах (включая затраты на замену аккумуляторов), при массовом производстве обойдется владельцу в расчете на милю пробега не дороже, чем автомобиль с бензиновым двигателем (при цене бензина больше \$2 за галлон).

Если же учесть и косвенные затраты, связанные с вредным воздействием электростанций, работающих на ископаемых топливах, на здоровье людей, окружающую среду и климат, то конкурентоспособность ВВС-технологий окажется еще выше.

Суммарные затраты на строительство всемирной ВВС-системы за 20 лет могут составить около \$100 трлн, не считая затрат на систему транспортировки электроэнергии. Но эти деньги не лягут на плечи государства или потребителей. Это будут инвестиции, которые окупятся за счет продажи электроэнергии. Кроме того, сохранение существующей структуры источников электроэнергии потребует увеличения ее производства с 12,5 до 16,9 ТВт, следовательно, нужно будет построить тысячи новых электростанций, что обойдется примерно в \$10 трлн, не говоря уже о десятках триллионов, которые придется вложить в здравоохранение, защиту окружающей среды и безопасность. План ВВС предлагает миру новую, чистую и эффективную энергетику.

СТОИМОСТЬ ВЫРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ В 2020 Г.

цент/кВтч в долларах 2007 г.



О политической воле

Наш анализ дает все основания полагать, что ВВС-энергия со време-

нем станет экономически конкурентоспособной. Однако в переходный период некоторые ее формы обойдутся значительно дороже традиционных видов энергии, поэтому нужно будет использовать некое сочетание субсидий на ВЭС-энергию с налогами на углеродное топливо. Для масштабного развертывания новых технологий особенно эффективен специальный закупочный тариф (*Feed-In Tariff, FIT*), покрывающий разницу между себестоимостью выработки и розничной ценой на электроэнергию. Сочетание *FIT* с аукционом, когда право продавать энергию в сеть предоставляется тем, кто предлагает самые низкие цены, послужит для разработчиков ВЭС-систем постоянным стимулом к снижению затрат. Когда они сократятся достаточно, *FIT* можно будет отменить. *FIT* применялся в ряде европейских стран и в нескольких штатах США и оказался очень эффективным, в частности для стимулирования развития солнечной энергетики в Германии.

Эффективным может стать также налог на ископаемые виды топлива или их использование. Пока же, чтобы выровнять игровое поле, нужно как минимум отменить существующие привилегии для производителей энергии с использованием ископаемого топлива, в частности налоговые льготы на их разведку и добычу. Следует отменить и стимулирование менее перспективных альтернатив ВЭС-энергетики, например субсидирование производства биотоплив, — это неверный путь, т.к. он задерживает развитие более чистых систем. А законодателям, вырабатывающим энергетическую политику, следует найти способы сопротивления лоббированию со стороны традиционных отраслей энергетики.

Наконец, у каждой страны должно возникнуть желание вкладывать средства в надежные линии электропередачи большой протяженности, способные передавать большие ВЭС-мощности из отдаленных районов, богатых источниками энергии. Например, в США — из Великих



равнин, где преобладает энергия ветра, или пустынного Юго-Запада, где больше всего солнечной энергии, к центрам потребления, прежде всего городам. А для уменьшения потребительского спроса в периоды пиковой нагрузки нужно создавать интеллектуальные сети, предоставляющие и производителям, и потребителям гораздо больше возможностей управления расходом энергии от часа к часу.

Крупномасштабные ветровые, водные и солнечные энергетические системы способны удовлетворять потребности всего человечества, существенно влияя на улучшение климата, качество воздуха и воды, экологию и энергетическую безопасность. Как мы показали, их развитию препятствуют в основном факторы политические, а не технические. Сочетания специального закупочного тарифа (*FIT*) с внедрением стимулов для снижения затрат, отменой привилегий для производителей ископаемого топлива и разумным расширением энергосети может быть достаточно для быстрого развития ВЭС-энергетики. Разумеется, для изменений в существующей структуре производства и распределения электроэнергии потребуется преодолеть скрытые инвестиции в существующую инфраструктуру. Однако при разумной политике страны могут довести долю ВЭС-источников в общем производстве энергии до 25% за 10–15 лет и почти до 100% за 20–30 лет. При очень настойчивой

▲ **ШАХТЕРЫ И другие работники добывающих отраслей, профсоюзы и лоббисты, вероятно, будут препятствовать переходу на чистую энергетику. Политикам придется ее отстаивать**

политике теоретически можно за тот же срок полностью вывести из эксплуатации все существующие электростанции, работающие на ископаемом топливе, и заменить их новыми. При более умеренной (и более вероятной) политике это случится через 40–50 лет.

С технической и экономической точки зрения создание системы глобальной ВЭС-энергетики вполне реально. Надеемся, что мировые лидеры сумеют найти способы воплощения этого плана в реальность и с точки зрения политики. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. S. Pacala and R. Socolow in *Science*, Vol. 305, pages 968–972; 2004.
- Evaluation of Global Wind Power. Cristina L. Archer and Mark Z. Jacobson in *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, Vol. 110, D12110; June 30, 2005.
- The Technical, Geographical, and Economic Feasibility for Solar Energy to Supply the Energy Needs of the U.S. V. Fthenakis, J.E. Mason and K. Zweibel in *Energy Policy*, Vol. 37, pages 387–399; 2009.