

Товарная культура на ветряной ферме

Энергетика и Безопасность № 30

-
- [Товарная культура на ветряной ферме: Повышение значимости ветроэлектричества](#)
Арджун Макхиджани
 - [Основные выводы и рекомендации](#)
 - **Наука Для Критических Масс**
 - [Сбалансированное регулирование энергосистемы](#)
 - [Уважаемый Арджун: А что - масло заканчивается?](#)
 - [Расширь свой "электрический" словарь](#)
-

Товарная культура на ветряной ферме

Повышение значимости ветроэлектричества

Арджун Макхиджани

*Питер Бикель (Peter Bickel), Эйю Чен (Aiyou Chen) и Брайс Смит (Brice Smith)
совместно с*

*Арджуном Макхиджани участвовали в подготовке отчета, который лег в
основу этой статьи¹.*

В настоящее время в энергетике США возникают серьезные проблемы сразу по нескольким направлениям. Это колебания и рост цен на природный газ, вопросы безопасности, возникшие вследствие увеличения объемов импортируемой нефти, а также аварийные отключения электричества, которые с конца 1990-х годов спонтанно происходили во многих регионах страны. С момента первого энергетического кризиса в 1973 году таких прорех в энергосистеме не возникало ни по совокупности, ни по синхронности.

Более того, сегодня энергосистема переживает неведомые доселе трудности. Длительная засуха в западных штатах порождает более серьезные опасения и конфликты по поводу использования водных ресурсов, а тепловые электростанции потребляют гигантские объемы воды. На сегодняшний день существует единодушное мнение о том, что выбросы углекислого и других парниковых газов в результате человеческой деятельности оказывают сильное воздействие на изменение климата. За последние годы было построено много электростанций комбинированного цикла, работающих на природном газе, однако их использование осложняется высокими колебаниями цен на природный газ.

В США до сих пор не выработана новая политика в области энергетики взамен той, что была в ходу при президенте Картере, если не считать энергетической политикой ситуацию, при которой крупным энергетическим компаниям разрешено обеспечивать любой спрос на энергию. Несмотря на проблемы и недостатки Плана развития энергетики, обнародованного специальной комиссией во главе с вице-президентом Чейни², достоинство этого документа состоит в том, что он направил политические дебаты в первой половине 2001 года в русло национального обсуждения вопросов энергетики. Однако в силу различных причин, включая террористические атаки 11 сентября 2001 года, войну в Ираке и внутренние разногласия по вопросам энергетической политики, решение этих проблем зашло в тупик.

Разрешение энергетических проблем не может быть простым или однозначным. Здесь необходимо согласование по многим аспектам: техническим, географическим, экономическим и политическим. Многие исследовательские организации, также как Институт проблем энергетики и окружающей среды (IEER), изучали эти вопросы³. Эффективность, в том числе норма пробега автомобилей, относится к числу таких решений. Другой ответ кроется в инфраструктуре ЛЭП. А поскольку речь идет об обеспечении спроса, то на первый план выдвигаются возобновляемые источники энергии.

Наряду с другими упомянутыми источниками ветроэлектрическая энергия, вероятно, играет самую важную роль в краткосрочной и среднесрочной перспективе, поскольку ее затраты значительно снизились и сегодня в целом сопоставимы с производством обычной энергии (даже не принимая в расчет затраты, связанные с изменением климата или распространением атомной энергии). Ветроэнергетические ресурсы США очень велики - это примерно два с половиной объема всего производства электроэнергии США без учета морских ресурсов. Годовой потенциал энергии ветра США сопоставим по масштабам со всей нефтедобычей стран-членов ОПЕК.

С точки зрения охраны окружающей среды использование ветроэнергетических ресурсов, доступных освоению в США (за исключением населенных районов, национальных парков и т.п.), может способствовать значительному сокращению выбросов парниковых газов, появляющихся вследствие применения ископаемого топлива, в сочетании с мерами по повышению энергоэффективности и другими методами. Кроме того использование энергии ветра может оказать положительный эффект на охрану водных ресурсов.

Однако ветер не всегда предсказуем. Сопутствующие этому явлению затраты играют основную роль в определении стоимости ветроэлектрической энергии для ее

потребителей.

Существует изрядное количество литературы по *затратам* на ветровую энергию. Последнее изучение этого вопроса было проведено IEEР совместно со специалистами по статистике университета Калифорния-Беркли (University of California-Berkeley) Питером Бикелем (Peter Bickel) и Эйю Ченом (Aiyou Chen). Это исследование дополнило существующие труды анализом *ценообразования* ветроэлектрической энергии с учетом непредсказуемости потенциальной скорости ветра. В отчете "*Товарная культура на ветряной ферме*", в котором исследуется благоприятный ветровой район штата Нью-Мексико, рассматривается возможность влияния прогнозов скорости ветра, охраны водных ресурсов, снижения колебаний цен на природный газ, а также сокращения выбросов углекислого газа на повышение значимости ветроэнергетики.

Настоящая статья содержит краткое изложение этого отчета. Ссылки можно найти в [полном отчете](#). Отчет представлен на североамериканском энергетическом саммите Ассоциации западных губернаторов, проходившем в апреле 2004 года в городе Альбукерке, штат Нью-Мексико, США.

Потенциал ветра

За последние пятнадцать лет экономическую жизнеспособность обрел новый богатый источник энергии - ветер. Мировые наземные ветроэнергетические ресурсы в несколько раз превышают все мировые объемы производства электричества. А потенциал морских и океанических ресурсов может быть еще выше.

США щедро наделены энергией ветра в зонах, доступных для освоения. Двенадцать основных ветровых штатов (из менее благоприятных 48) с сильной ветровой энергетикой в районах с большими фермами и обширными земельными угодьями, которые подходят для возведения ветротурбин, обладают общим потенциалом энергии примерно в 10 миллиардов мегаватт в час (мгвт/ч). Это приблизительно в 2,6 раза больше общего объема производства энергии в США. На таблице 1 (ниже) представлены подробные результаты исследований в двенадцати штатах. Оффшорные ветроресурсы не включены.

Таблица 1: Материальная база по ветроресурсам в 12 благоприятных ветровых штатах (граничащие штаты)

Штат	Годовой потенциал производства электричества, в миллиардах киловатт-час электроэнергии (кВт-ч/э)	Соответствующая доля общего производства электричества в США за 2003 год ^а
Северная Дакота	1,210	31.5
Техас	1,190	30.8

Канзас	1,070	27.8
Южная Дакота	1,030	26.8
Монтана	1,020	26.5
Небраска	868	22.6
Вайоминг	747	19.4
Оклахома	725	18.9
Миннесота	657	17.1
Айова	551	14.3
Колорадо	481	12.5
Нью-Мексико	435	11.3
Общий итог по 12 штатам	9,984	259.6
Итого по региону Совета ERCOT (штат Техас), главным образом энергосеть штата Техас	~1,000 ^б	
Итого по региону Вестерн Интерконнект, примерно в пределах линии Север-Юг Монтана-Нью-Мексико	~3,000 ^б	
Итого по региону Истерн Интерконнект, охватывая остальные 48 менее благоприятных штатов (т.е. включая штаты на Востоке, Юге и Среднем Западе)	~6,000 ^б	

Источник: Отчет [Assessment of the Available Windy Land Area and Wind Energy Potential in the Contiguous United States](#), Северо-западная тихоокеанская лаборатория (Pacific Northwest Laboratory), 1991г., на который ссылается Американская ассоциация по ветроэнергетике.

Примечания:

(а) Производство электричества за 2003 год = 3846 миллиардов кВт-ч (киловатт-час). Источник Информационного исполкома по вопросам энергии (EIA - Energy Information Administration).

(б) Совокупные показатели по взаимосвязанным регионам имеют приблизительное значение, поскольку эти

территории не совпадают целиком с границами штатов. Совет штата Техас по электроснабжению (Electric Reliability Council of Texas) охватывает большую часть штата Техас, за исключением узкой полосы штата между двумя другими территориями. Передача электроэнергии в настоящее время координируется внутри регионов Интерконнект (Interconnect regions).

За последние годы ветроэнергетика начала продвигаться быстрыми темпами. Это самый быстроразвивающийся источник электричества. При этом задействована незначительная база. Общая установленная ветровая мощность в США к концу 2003 года составляла 6 370 МВт. Это намного меньше показателя Евросоюза на конец 2003 года - 28 440 МВт, который эквивалентен объемам потребления электричества 35 миллионами жителей ЕС (2,4% от общего потребления электричества в ЕС).

В 2002, а затем в 2003 году прирост ветровых мощностей в Европе был примерно равен объему всей установленной мощности в США, где энергия ветра обеспечивает менее 0,5% спроса на электричество. На сегодняшний день очевидно разительное несоответствие между низким уровнем использования энергии ветра и огромным потенциалом США с точки зрения экономики, окружающей среды и безопасности.

Когда речь идет о ветроэнергетике, разница между обещанным и действительным обусловлена сразу несколькими причинами. Это и отсутствие адекватной инфраструктуры ЛЭП, и несбалансированные нормы передачи энергии и включения энергии ветра в электроэнергетический рынок, и несовершенная структура ценообразования ветроэлектричества. Остановимся на последнем.

Определение цены ветра

Цена ветровой энергии, получаемой с ветряных ферм, основана на ее стоимости, рассчитываемой закупщиками. Исходя из действующих расчетов для определения цены, компании-производители ветровой энергии зачастую не в состоянии покрывать затраты за счет выручки от продажи электроэнергии. Затраты на производство ветроэлектричества даже в оптимальных ветровых районах значительно выше цен, по которым производители реализуют ветровую энергию. Существующую разницу покрывает федеральная субсидия, (известна как налоговый кредит на производство энергии)⁴, а некоторые штаты предоставляют собственные налоговые льготы. По окончании срока федеральных налоговых льгот, как это было 31 декабря 2003 года, разработка новых крупномасштабных проектов по ветроэнергетике может прекратиться. В целом 2004 год пока потерян для крупномасштабного освоения ветроэнергетики в США. Это губительно сказывается на этой отрасли, окружающей среде и безопасности.

Как правило, соглашения о закупке энергии обеспечивают менее высокую прибыль, по сравнению с той, что сулит рынок. Иными словами, цена за ветроэлектричество была бы гораздо выше, если бы рынок обеспечивал равные возможности. Кроме того соглашения о закупке энергии, как правило, приносят компаниям-производителям прибыль, которая ниже затрат на производство энергии. В результате структура ценообразования сегодня либо затрудняет, либо не позволяет компаниям-производителям ветровой энергии получать финансирование на ВЭУ, не считая налогового кредита.

Налоговые льготы на производство ветровой энергии имеют серьезную поддержку в конгрессе США и внесены в обсуждаемый законопроект по производству энергии. Однако перспективы его принятия на момент написания этой статьи туманны, поскольку данный законопроект изобилует дорогостоящими и спорными субсидиями для ископаемого топлива и атомной энергетики при текущем высоком дефиците федерального бюджета. В таких штатах, как Нью-Мексико, налоговые льготы на уровне штата способны лишь частично покрывать разницу. Это может оказаться достаточным для возмещения затрат в наилучших ветровых зонах. Когда же речь идет о темпах развития ветроэнергетики США, то неопределенность с налоговым кредитом становится камнем преткновения при решении возникающих проблем.

Основная техническая задача исследований IEER состояла в разработке метода расчета фактической *стоимости энергии ветра*, которая позволит компаниям-производителям усовершенствовать ценовую политику исходя из предельных альтернативных затрат и типовых соглашений о закупке энергии крупных ветряных ферм.

Компания-производитель ветровой энергии, способная продавать необходимый объем электричества и таким образом предотвратить возведение новой электростанции, могла бы в принципе привести доводы в пользу оплаты полного объема затрат, которые понесла бы энергетическая компания, развернув строительство электростанции. Такая стоимость называется полной альтернативной стоимостью. Это общая себестоимость производства единицы электричества, в том числе капитальные и прочие фиксированные затраты, а также переменные издержки и эксплуатационные расходы.

Исходя из сказанного, типичная полная альтернативная себестоимость для станций базовых нагрузок, работающих на угле, составляет примерно 40 долларов за мВт/ч. Цены на электричество атомных электростанций менее устойчивы, поскольку наблюдается значительный разброс в капитальных затратах, преобладающих в общей себестоимости. Полная альтернативная себестоимость атомной энергии варьируется от 40 до 70 долларов за мВт/ч с учетом капитальных затрат. Для электростанций комбинированного цикла, которые работают на природном газе и также используются в качестве станций базовых нагрузок (хотя предпочтение отдается уже возведенным установкам, работающим на угле или атомным станциям), полная альтернативная себестоимость составляет от 30 до 50 долларов или выше. Эта себестоимость формируется в основном за счет топлива, которое превалирует в структуре стоимости по ценам выше затрат на природный газ на уровне 3 долларов за миллион британских тепловых единиц (Btu). Цена спотового рынка за миллион Btu в июле 2004 года составляла примерно 5,5 доллара, так что полная альтернативная себестоимость электростанций комбинированного цикла, работающих на природном газе, составляла примерно 50 долларов за мВт/ч. Эти издержки кратко представлены в таблице ниже.

Тип установок	Полные альтернативные затраты, мВт/ч
Угольные ТЭС	Около 40 долларов

АЭС

От 40 до 70 долларов

Станции комбинированного цикла,
работающие на природном газе

От 30 до 50 долларов или более (в
настоящее время примерно 50
долларов)

Такие полные альтернативные затраты необходимо рассматривать с учетом возможности данных установок обеспечивать запланированные объемы электроэнергии, иными словами, с учетом тех генерирующих мощностей, которые операторы независимых систем могут задействовать заблаговременно (не принимая в расчет непредвиденные и внеплановые простои, которые случаются относительно редко). Энергия ветра не может иметь полных альтернативных затрат, поскольку она скачкообразна и довольно непредсказуема. О ветроэнергетике говорят так: "не подлежит распределению"⁵.

Прогнозирование ветра

Однако ветер не так уж непредсказуем. Потенциальную ветровую энергию можно прогнозировать с определенной степенью достоверности. Характер прогнозирования зависит от следующих факторов:

- период, на который прогнозируется скорость ветра;
- общий период времени, на который составляется прогноз скорости ветра;
- желаемая степень достоверности прогноза, то есть допустимого диапазона погрешностей (с недооценкой или переоценкой), который зависит от стоимости ошибок при прогнозировании;
- объем данных о скорости ветра за истекшее время.

Например, абсолютно невозможно предсказать среднюю скорость ветра на год или даже на месяц в определенный час в будущем. Колебания вокруг среднего значения, как правило, очень высоки. Однако нередко с приемлемой степенью достоверности можно подсчитать среднюю скорость ветра, скажем, в июле в часы пиковых нагрузок (с 6 утра до 10 вечера) и в остальные часы слабого спроса на энергию (с 10 вечера до 6 утра), за данный месяц при наличии сводки данных о скорости ветра за несколько лет.

Аналогичным образом, поскольку существует некая взаимосвязь между скоростью ветра на данный и на предыдущий час, мы можем с некоторой долей уверенности рассчитать образование скорости ветра на следующий час (хотя существенных погрешностей все же время от времени не избежать).

Основным определяющим фактором экономической привлекательности потенциальной ветровой энергии является степень точности, с которой можно составлять прогноз. Совершенствование прогнозов может способствовать снижению ошибок и, соответственно, себестоимости расширения ветровых мощностей в энергосистеме с учетом определенной степени завоевания ими рынка.

Для поставщика ветровой энергии статистическая задача заключается в разработке оптимальной стратегии по продаже энергии за час или за день. Какой объем энергии ветра следует выставить на продажу, учитывая непредсказуемость потенциальной скорости ветра?

Статистическая модель, где предложена единственно приемлемая стратегия по оптимизации продаж на спотовом рынке, была разработана для исследовательских целей IEER. Эта модель подробно изложена в разделе Модель ниже (для всех знатоков эконометрики, так же ищущих истину, как мы).

Поскольку ветер поддается прогнозированию максимум за час или за день, его можно предложить на продажу заблаговременно. Поскольку продавец не может гарантировать поставку всего объема энергии ветра, он должен быть готов компенсировать покупателю недостачу. В разделе Модель рассматривается ситуация, при которой продавец и покупатель могли бы заключить приемлемое соглашение. При таком соглашении покупатель не потерял бы электроэнергию в случае ее недопоставки, поскольку все участники договора получают электричество из единой энергосистемы. Покупатель мог бы закупать некоторые объемы энергии у другой энергосистемы и получать оттуда счета к оплате. Это финансовые сделки.

Можно также рассматривать сезонные соглашения о поставке ветровой энергии. Скорость ветра гораздо хуже поддается точному прогнозированию за день, нежели усредненная скорость ветра за весь сезон или большую часть сезона, поскольку сезонные погодные явления имеют более предсказуемый характер. Если в соглашении рассматривается общий сезонный период, себестоимость производства ветроэлектричества, которая предварительно оговорена контрактом (например, себестоимость производства для продавца ветровой энергии в безветренные дни, когда ожидался ветер) будут низкими потому, что у продавца есть отличная возможность поставить покупателю обещанные объемы энергии за сезон. Далее. Недопоставку энергии за сезон можно компенсировать закупкой электричества на спотовом рынке в подходящее для этого время. Сезонные соглашения особенно выгодны тогда, когда производитель ветровой энергии предлагает ее взамен дорогостоящему производству с использованием природного газа в период летнего или зимнего максимального спроса.

Область изучения: благоприятный ветровой район штата Нью-Мексико

Мы выбрали район, позволивший нам сосредоточиться на основной проблеме, которую мы принялись решать: это оценка того, насколько стоимость ветроэлектричества способна покрывать и перекрывать предельные альтернативные издержки. Таким образом, мы выбрали зону, где есть:

- активные ветры;
- коридоры и инфраструктура ЛЭП (без оценки ее фактического состояния, поскольку это скорее методологическое исследование, а не анализ, имеющий целью фактическое развитие конкретного района);
- дорожная и железнодорожная инфраструктура;

- правительство штата, поддерживающее развитие ветроэнергетики.

Последний фактор рассматривается, поскольку политика штата способна существенно стимулировать развитие ветроэнергетики, особенно с учетом серьезной неопределенности в политике федеральной. Этот район, где находится гипотетическая ветряная ферма, расположен в городе Сан-Хуан, зона 604, штат Нью-Мексико.

Учитывая объем продаж на спотовом рынке, предположим, что реализация энергии происходит в центре "Фо Конерс" (Four Corners), расположенном в северо-западном штате Нью-Мексико, при этом мы располагаем данными спотового рынка за 2003 год. Полная себестоимость ветроэлектричества, поставленного в центр "Фо Конерс", где электроэнергия реализуется, составляет 44 доллара за мВт/ч.

На диаграмме 1 представлена цена реализации, себестоимость, а также цена реализации плюс налоговый кредит на производство энергии штата Нью-Мексико в размере 10 долларов за мВт/ч. С налоговым кредитом на производство энергии штата Нью-Мексико цена реализации немного ниже средних издержек. Это значит, что в рассмотренном примере продажа ветровой энергии на спотовом рынке и налоговый кредит штата Нью-Мексико, без федерального налогового кредита (на данный момент истекшего), способны покрыть почти всю себестоимость производства ветровой энергии.

Диаграмма 1: Цена реализации ветровой энергии на спотовом рынке с учетом и без учета налогового кредита на производство энергии штата Нью-Мексико



Предполагаемые цены реализации от спотовой продажи ветроэлектричества за час в центре "Фо Конерс", информация о ценах за 2003 год, информация о ветровой энергии за 2000 и 2001 гг. PTC (Production tax credit) - налоговый кредит на производство энергии.

Мы могли бы кратко описать ситуацию с "Фо Конерс" следующим образом. Хотя "Фо Конерс" передает большие объемы энергии, производимой в этой зоне (при действующей

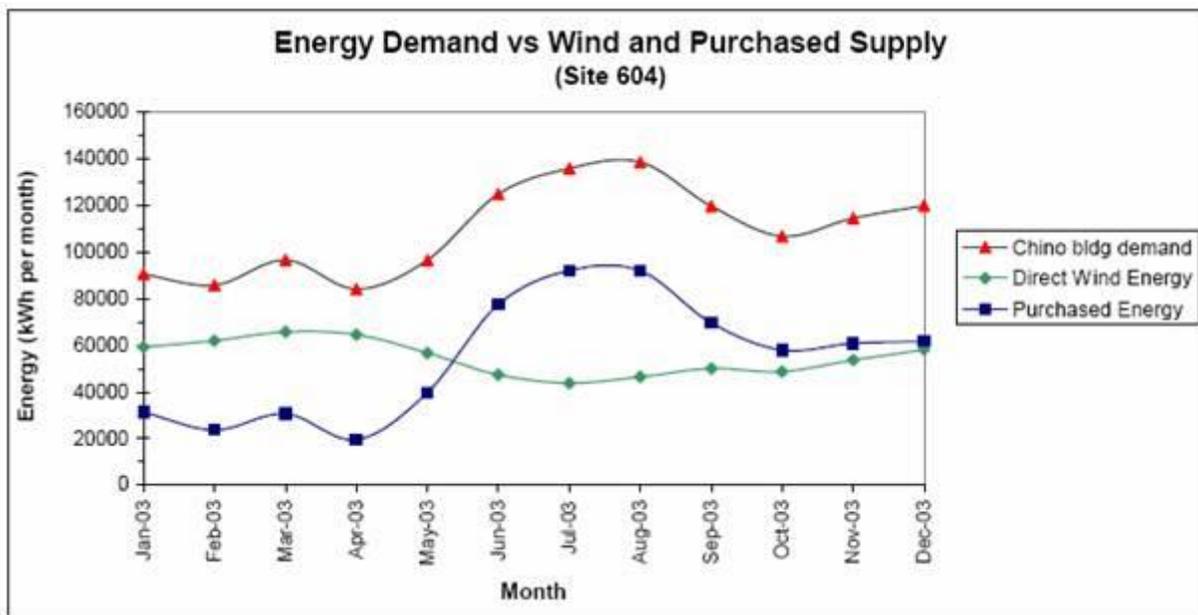
электростанции с мощностью в несколько тысяч мегаватт), а также с учетом энергии, которая проходит через этот рынок, почти вся энергия продается по долгосрочным соглашениям между индивидуальными покупателями или продавцами, которые попросту используют коридор ЛЭП вместо того, чтобы продавать эту энергию на спотовом рынке. "Фо Конерс" не может служить центром крупных спотовых продаж ветроэлектричества в отсутствие гораздо более развитого спотового рынка, то есть пока объемы почасовых продаж не будут значительно увеличены.

Это свидетельствует о том, что развитие ветроэнергетики все же возможно даже при отсутствии федерального налогового кредита на производство в условиях существования развитых спотовых рынков. Как мы убедились, пока "Фо Конерс" не является таким рынком. Далее мы рассмотрим продажи ветровой энергии в ситуации, когда есть крупный коммерческий заказчик в штате Нью-Мексико - это фирма "Чино Билдинг" (Chino Building) из города Санта-Фе, которая регулирует продажи.

Власти штата Нью-Мексико используют здание "Чино Билдинг" под офисы. Сотрудник, отвечающий в нем за коммунальные услуги, предоставил нам подробную информацию о потреблении электричества за 2003 год и соответствующие цены на него.

Кривые на диаграмме 2 показывают предположительную покупку энергии "Чино Билдинг" у ветряной фермы, расположенной в Нью-Мексико Сайт 604. Предположим, что среднемесячные коэффициенты использования мощностей с июля 1999 года по июнь 2001 года (отмеченные кружками) - это значения по ветряной ферме за год, на который мы производим расчеты. Для наглядного примера предположим, что соглашение с ВЭУ будет подготовлено таким образом, что ветряная ферма обязуется поставлять половину всего годового объема электричества, которое потребляет "Чино Билдинг", по графику поставок, который соответствует ежемесячным коэффициентам использования производственных мощностей такой ВЭУ. То есть, операторы "Чино Билдинг" закупают больший объем электричества в месяцы, когда ветроэлектричества генерируется больше, и наоборот. Закупленная у других продавцов энергия компенсирует разницу.

Диаграмма 2: Соотношение спроса на энергию и предложения ветровой энергии и энергии, закупленной из других источников (Сайт 604)



Спрос на энергию для здания "Чино Билдинг" в городе Санта-Фе в штате Нью-Мексико (отмечен треугольниками), предполагаемые закупки энергии у ветряной фермы мощностью 188 кВт, расположенной в 604 зоне (отмечены кружками), а также энергия, закупленная у других источников (квадраты). Средняя мощность ветровой энергии, приобретенной за год, соответствует 50% общего годового спроса.

Схема ветровой энергии в данной зоне не совсем соответствует потребностям здания "Чино Билдинг", поскольку она имеет высокий коэффициент использования мощностей в апреле, в период низкого спроса на энергию. При таких обстоятельствах пользователь может ожидать дополнительной платы за мощность. Плата за мощность - это платежи, взимаемые энергетической компанией с потребителя за использование электроэнергии в период пиковой нагрузки. Это соответствует уровню потребления пиковой мощности, как, например, в случае с потребляемой мощностью двигателя при подъеме автомобиля в гору.

В этом случае себестоимость коммунального электричества для офисов, размещенных в "Чино Билдинг" не увеличилась бы в цене, даже если половина этого электричества поставлялась бы ветряными фермами. При этом можно обойтись без субсидирования налоговых кредитов на производство энергии.

Если предположить, что мощность ветрового электричества абсолютно непредсказуема, то есть, если кредит на установленную мощность не предусматривается, тогда увеличение тарифов на электроэнергию будет незначительным (менее одного процента). Если кредит достигал бы 80% (очень высокий верхний предел кредитования), то чистые сбережения составляли бы около двух процентов.

Сокращение выбросов парниковых газов

У энергии ветра существует ряд других ощутимых преимуществ. К примеру, штат Нью-Мексико мог бы примерно на 50% снизить выбросы углекислого газа (CO₂),

возникающего в связи с поставкой электричества в здание "Чино Билдинг", а также обеспечить незначительное повышение тарифов на электроэнергию в нем.

В первом приближении сокращение на 50% мощностей, закупленных у другой энергосистемы, также способствовало бы сокращению примерно на 50% выбросов парниковых газов, поскольку производством электроэнергии в Нью-Мексико занимаются преимущественно электростанции, работающие на угле. По более точному расчету процент таких сокращений может оказаться ниже или выше, в зависимости от структуры топлива, поступающего для здания "Чино Билдинг" в разное время года. Если ветроэлектричество на какое-то время заменит атомную энергию АЭС, и при этом увеличится соответствующая доля производства на основе ископаемого топлива в структуре покупаемой энергии, то сокращение выбросов CO₂ составит менее 50%. Если ветроэлектричество преимущественно заменит угольную энергию и увеличит долю производства энергии ГЭС и АЭС, тогда снижение выбросов составит более 50%. Так или иначе, это был бы очень хороший результат и в процентном соотношении даже значительно превысил требования Киотского протокола, которые необходимо выполнить примерно к 2010 году.

Если бы кредиты за снижение выбросов CO₂ имели в США такое же широкое хождение, как и в Европе, стоимость сокращения выбросов CO₂ в случае замены угольных электростанций составляла бы от 2,25 до 4,50 доллара за мвт/ч, а в случае вытеснения газовых установок комбинированного цикла - от 0,75 до 1,50 доллара.

Замена природного газа

Такие факторы, как высокие цены на природный газ и их колебания, длительные процессы подготовки и строительства газовой инфраструктуры, а также вопросы безопасности, связанные с ввозом сжиженного природного газа, усилили вероятность того, что благодаря использованию энергии ветра можно частично отказаться от природного газа, который в настоящее время используется на электростанциях. Это может дать несколько различных экономических преимуществ:

- энергетической компании, обладающей установкой комбинированного цикла, работающей на природном газе, было бы выгодно высвободить часть природного газа за счет ветроэлектричества;
- ветровая энергия могла бы заменить одноступенчатые пиковые газовые турбины, которые обычно задействованы только несколько сотен часов в год;
- ветровая мощность могла бы обеспечить своеобразную защиту от повышения цен на природный газ;
- высокая степень проникновения ветровой энергии в энергосистему способствовала бы высвобождению достаточных объемов природного газа и стабилизации цен;
- с помощью энергии ветра, в сочетании с повышением эффективности систем отопления и вентиляции (особенно в подземных теплонасосных установках), можно было бы заменить большие объемы природного газа в долгосрочном плане, что, в свою очередь, способствовало бы частичному отказу от использования нефти в транспортных средствах и переходу на природный газ.

Поскольку на сегодняшний день ветроэлектричество гораздо лучше одноступенчатых газовых турбин, его использование в периоды пиковых нагрузок можно объединить с работой существующих одноступенчатых турбин, работающих в резервном режиме для поддержки ветровой мощности. Это был бы недорогой способ получения кредита на увеличение ветровых мощностей, поскольку он не требует наращивания новых газотурбинных мощностей.

Одноступенчатые турбины способны обеспечить недорогой резерв мощностей для ветровой энергии. Газотурбинные установки достаточно дешевые при дорогостоящем газе, так что можно было бы платить за неиспользуемые установки и использовать генерирующие ветровые установки, запуская газовые турбины, если ветер неожиданно ослабевает. В связи с этим, развитие ветроэнергетики может точно предусматривать замену природного газа во время пиковых нагрузок в одноступенчатых газовых турбинах, предварительно оговаривая это в контрактах. Альтернативные затраты только на генерирование и техническое обслуживание составляют около 60 долларов за мГВт/ч. Это также в некоторой степени экономично для энергоустановок комбинированного цикла, где альтернативные затраты при текущих расценках на природный газ составляют примерно 50 долларов за мГВт/ч.

За несколько лет стоимость ветроэлектричества, обеспечивающая своеобразную защиту от колебаний в ценах на природный газ, могла бы составлять несколько долларов за мГВт/ч.

Географическое распределение ветряных ферм

Кредитование мощностей можно также увеличивать за счет географического распределения и прочной системы магистральных ЛЭП. Большие расстояния между зонами с высоким ветровым потенциалом могут принести ряд значительных преимуществ с точки зрения экономики и надежности. В Европейских научных исследованиях⁶ изучена корреляция ветров, а также их влияние на энергосистему. Эти исследования показали, что при существенном географическом разбросе и системе магистральных ЛЭП, соединяющей ВЭУ (в данном случае изучалась высоковольтная линия передачи постоянного тока), ветровая мощность может быть надежно интегрирована в энергосистему. Иными словами, географическое рассредоточение ветряных ферм повышает вероятность того, что ветер будет дуть в одной зоне при отсутствии его в другой. В этом смысле дальнейшее освоение ветровой энергии, образующейся на больших расстояниях и соединенной прочной системой магистральных ЛЭП, может снизить необходимость в резервных мощностях.

Включение топливных элементов

Топливные элементы способны обеспечить эффективное использование потребителем ветровой энергии, а также открыть возможности по оптимизации себестоимости энергии, например, можно запустить их на полную мощность в периоды пиковой нагрузки и пополнить запасы водорода в часы слабого спроса на энергию.

Включение топливных элементов значительно увеличит затраты системы не только из-за

высокой стоимости этих элементов, но и в силу потерь энергии, связанных с генерированием водорода из электричества, а затем электричества из водорода. Такие потери энергии увеличивают установленную мощность ветровой энергии, которая необходима для обеспечения определенной нагрузки, как в случае с "Чино Билдинг".

Для того, чтобы определить затраты такой системы, мы предположили, что капитальные затраты на топливные элементы составили 4 миллиона долларов за мВт, включая запас водорода на несколько дней, а также гальванические элементы, необходимые для выработки водорода. При таких условиях затраты на обеспечение энергией здания "Чино Билдинг" сразу увеличиваются более чем на одну треть на производство ветроэлектрической энергии из Сайт 604.

Наш анализ показывает, что в настоящее время широкомасштабное включение топливных элементов в электроэнергетическую систему не выгодно. Однако существуют преимущества в проведении такой политики, которая поможет сделать использование возобновляемых источников энергии в зданиях выгодным и тем самым отказаться от использования природного газа для отопления помещений и водяного обогрева. Это дало бы возможность высвободить природный газ и применять его в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, отказаться от импортной нефти, тем самым улучшая безопасность и сокращая выбросы CO₂. Применение топливных элементов может сыграть значительную роль в создании подобной энергосистемы.

Энергосистема будущего

Комплексное планирование всей энергосистемы, при котором ветровая энергия частично заменяла бы использование природного газа для выработки электричества, способствовало бы переходу США к новой энергосистеме, выбрасывающей намного меньше углекислого газа, гораздо меньше загрязняющей атмосферу и значительно сокращающей импорт нефти.

Сочетание различных элементов в энергосистеме - ветра, топливных элементов, эффективности подземных теплонасосных установок, а также применение природного газа в автомобилях - позволит значительно сократить использование природного газа для отопления помещений и водяного обогрева в коммерческом секторе, высвободив его для автомобильной отрасли⁷. Даже один процент природного газа, высвобожденного от отопления коммерческого сектора для использования его на транспорте, сократил бы потребление 80 миллионов галлонов бензина в год, что равноценно годовому "съеданию" бензина 100.000 автомобилей. Соответственно, это привело бы к сокращению выбросов CO₂ более чем на 300.000 метрических тонн в год, а также снижению уровня загрязнения воздуха в городах, укреплению национальной безопасности благодаря снижению импорта нефти.

Несомненно, подобный проект требует крупных инвестиций. Мы не проводили подробный анализ осуществимости проекта, который оптимизировал бы различные факторы. Однако наше исследование о распределении электричества в здании "Чино Билдинг", не включающее оптимизацию стоимости, показывает, что цена выполнения

таких задач, в том числе по снижению в зданиях выбросов парниковых газов примерно на 50%, была бы скромной и составляла бы лишь какую-то часть от сегодняшней себестоимости услуг энергетического сектора, таких как отопление, охлаждение и освещение.

Модель

Профессор Питер Бикель (Peter Bickel) разработал статистическую модель для анализа себестоимости периодической выработки ветровой энергии за день или за час. При этом предполагается, что развитый рынок сформировался, и покупателям обеспечено гарантированное предложение. Независимый оператор ВЭУ предлагает на продажу электричество за день или за час. Предположим, что прибыль, полученная от этих продаж, это средняя цена на спотовом рынке за данный период времени. Допустим, что любые недопоставки энергии компенсируются закупкой электричества по максимальной спотовой цене за тот же период времени. Наконец предположим, что ВЭУ включена в энергосистему, которая хорошо регулируется и способна обеспечить достаточный запас мощностей. Стоимость недопоставки энергии в рамках выполнения обязательств по таким соглашениям возмещалась бы закупщику сразу после факта недостачи. В настоящем проекте модели мы не рассматриваем случаи избыточного производства энергии. Исходя из этих предположений, возможна доработка модели и создания на ее основе оптимальной стратегии по организации продаж ветровой энергии за час или за день.

В данном случае продавец предлагает на продажу электричество по средней цене, преобладающей на спотовом рынке, за определенный период времени (за час или день), а также в случае недовыработки энергии возмещает ее покупателю по максимальной цене за такой же период времени. План продавца по оптимизации расчетов объемов ветроэлектричества, ожидаемых к поставке, основан на соотношении средней и максимальной цены. Если это соотношение близко к единице, то продавец предлагает на продажу большой объем энергии ветра, поскольку при погрешности ее стоимость будет низкой. Если это соотношение гораздо меньше единицы, то продавец предлагает небольшой объем энергии, поскольку тогда себестоимость в случае ошибок будет высокой.

Мы хотим изучить значение предыдущих прогнозов скорости ветра или производства энергии для валового дохода от продаж ветровой энергии, ожидаемого энергетической компанией.

"Фо Конерс" (Four Corners) - один из крупнейших центров по экспорту электричества, который расположен на западе штата Нью-Мексико. Поскольку мы не располагаем данными о ветровых прогнозах за большой промежуток времени, для наглядного примера предположим, что информация о ветре за определенный период времени носит репрезентативный характер и не повлияет на основные количественные результаты представленной здесь информации.

Технически модель построена таким образом, что оператор ветряной фермы может предложить на продажу некоторый объем электроэнергии заблаговременно, основываясь при этом на ожидаемом объеме производства ветровой энергии на будущий период времени, когда производится поставка, а также имея в виду ее себестоимость в случае неполной поставки. Любые недопоставки энергии компенсируются за счет ее закупки у единой энергосистемы. Такая техническая структура требует заключения предварительного соглашения о том, что оператор ВЭУ обязуется приобрести электричество энергосистемы у любой другой организации, у которой либо имеется избыточная мощность в оперативном режиме, либо поддерживается резерв вращения. Такое соглашение для системного оператора ВЭУ является своеобразной гарантией того, что он сможет выполнить свои обязательства по продажам, даже если запланированная энергия ветра не будет выработана.

Показав эту модель в работе, ее можно соответственно применить для ежедневного, почасового прогнозирования производства ветровой энергии в течение установленного срока, скажем, за апрель 2000 года. В этом случае выработка энергии на 2 апреля будет исходить из ее выработки 1 апреля. Тогда выполнение обязательств по продажам будет основано на максимальных и средних спотовых ценах на энергию, прогнозируемую за день (или за час). Наконец общая прибыль за месяц рассчитывается с помощью суммирования дней и, соответственно, часов этого месяца. Эти цифры не включают подсчет прибыли за избыточное производство энергии (т.е. объемы энергии сверх предусмотренных на продажу по обязательствам).

Результаты вычисления по этой модели дают возможность определить смету чистых доходов, ожидаемых от ветряной фермы при продаже объемов энергии на спотовом рынке по схеме за день или за час. С помощью этой модели также можно рассчитать себестоимость периодической выработки ветровой энергии для системного оператора ВЭУ и, следовательно, указать стоимость на основе более точного прогноза ветра.

Источники

1. Статья основана на отчете Арджуна Макхиджани и др, [Товарная культура на ветряной ферме. Детальное изучение цен, затрат и стоимости электричества, вырабатываемого энергией ветра в штате Нью-Мексико](#), подготовленном на североамериканском энергетическом саммите Ассоциации западных губернаторов, который состоялся 15-16 апреля, 2004 года в г. Альбукерке, штат Нью-Мексико. Ссылки даны в отчете.
2. Критическую статью об этом см. в бюллетене [ЭБ, № 18](#), 2001 г.
3. См. доклад Арджуна Макхиджани [Обеспечение энергетического будущего США: слабые места нефтяной, атомной и электрической отраслей и план действий после 11 сентября 2001 года](#) (*Securing the Energy Future of the United States: Oil, Nuclear, and Electricity Vulnerabilities and a post-September 11, 2001 Roadmap for Action*), Институт энергетике и окружающей среды, Такома Парк, штат Мэриленд, США, ноябрь 2001 года.
4. В 2003 году этот кредит составлял 1,8 цента за киловатт-час (это 18 долларов за мГвт/ч); кредит предоставляется в течение первых десяти лет после ввода в эксплуатацию ВЭУ, после чего его выделение прекращается.

5. Для электроэнергетических систем требуется распределяемая мощность, при которой генерирующая установка может реагировать на изменения в нагрузке от нескольких минут до нескольких часов. Установки базовой нагрузки способны генерировать электричество круглые сутки, семь дней в неделю. Поскольку ветер не может дуть постоянно, он не способен обеспечивать работу базовой нагрузки.
6. Грегор Гибель (Gregor Giebel), Нильс Джиллинг Мортенсен (Niels Gylling Mortensen) и Грегор Чиз (Gregor Czisch), [Effects of Large-Scale Distribution of Wind Energy in and Around Europe](#), дата неизвестна, скорее всего опубликованный в 2003 г. Также включена презентация статьи от организации "Power Point" на Международной энергетической конференции [Energy Technologies for post Kyoto targets in the medium term](#), которая состоялась в Национальной лаборатории Рисо (Riso National Laboratory) в Дании 19-21 мая 2003 г.
7. Мы еще подробно не изучали вопрос о замещении солнечных фотогальванических элементов или включения их в подобную энергосистему. В пустынных зонах солнечные элементы могут служить дополнением к энергии ветра, особенно при слабой скорости ветра в периоды пиковых нагрузок в системе.

Основные выводы и рекомендации

к статье [Товарная культура на ветряной ферме](#)

Основные выводы

1. **Генерирование электричества за счет энергии ветра в благоприятных ветровых районах, на больших "ветряных фермах" на сегодняшний день экономически выгодно.** Потребители не столкнутся с повышением тарифов на электроэнергию при более широком применении ветроэлектричества, которое, помимо прочего, не претендует на льготы за неиспользованные водные ресурсы и отсутствие выбросов в атмосферу парниковых газов.
2. **Ветроэнергетические ресурсы США огромны и способны намного быстрее обеспечить рост производства электричества за счет энергии ветра.** У США есть материальная база по ветроресурсам, с помощью которой можно добиться высокого и экономичного использования ветровых мощностей. Континентальная часть США с двенадцатью благоприятнейшими ветровыми штатами обладает таким потенциалом энергии ветра, который аналогичен примерно двум с половиной объемам всего производства электроэнергии в США за 2003 год.
3. **Для достижения высокого уровня использования энергии ветра в разумные сроки необходимо политическое решение.** В трех европейских регионах ветровая энергия уже используется на 27% от ветровой мощности. Отчасти это произошло благодаря устойчивому консенсусу между европейскими политическими и отраслевыми структурами, включая промышленность, о необходимости снижения выбросов парниковых газов и увеличения доли возобновляемых источников энергии. На сегодняшний день США занимают лидирующую позицию в производстве энергии за счет возобновляемых источников, а также в области снижения выбросов парниковых газов. Однако из-за отсутствия экономических и

политических решений, например, таких, как программа развития возобновляемых источников энергии (Renewable Portfolio Standard), в развитии ветроэнергетики США будет наблюдаться серьезное отставание от потенциальных возможностей страны.

4. **Отсутствует как адекватная инфраструктура ЛЭП, так и институциональная инфраструктура, необходимые для крупномасштабного развития ветроэнергетики.** Развитие ветроэнергетики США сильно отстает от Европы во многом потому, что инфраструктура ЛЭП, а также экономический и политический консенсус относительно ее развития находятся в Европе на более высоком уровне по сравнению с США.
5. **Цены на ветроэлектрическую энергию в Типовых соглашениях о закупке энергии (Power Purchase Agreements) значительно ниже стоимости той же электроэнергии при продаже ее конечному потребителю.** Средняя цена на электричество, вырабатываемое за счет энергии ветра, во многих соглашениях о закупке энергии составляет 25-35 долларов за мегаватт-час (мгвт/ч). Однако цена, которую в состоянии платить конечный потребитель, *без повышения тарифов на электроэнергию*, намного выше. Иными словами, скрытая конечная цена энергии ветра (принимая в расчет затраты на передачу и распределение электроэнергии, а также интеграцию энергосистемы) в значительной степени превышает поступления производителей ветровой энергии. Такая разница в конечной цене и прибыли производителей ветровой энергии приводит к необходимости налоговых скидок (кредитов). Если бы компаниям-производителям ветровой энергии удалось возместить скрытую цену, темпы развития ветроэнергетики могли бы значительно ускориться.
6. **При надлежащем регулировании и инвестировании в ветроэнергетику и эффективные проекты задача по значительному снижению выбросов парниковых газов экономически выполнима.** Поскольку энергия ветра не выделяет углекислый газ (CO₂) и на сегодняшний день это экономически выгодно, при правильных условиях и мерах регулирования это означает, что можно значительно снизить объемы выбросов CO₂, не прибегая к повышению себестоимости электричества. В настоящее время в Европе уже осуществляются подобные проекты. Несмотря на то что кредиты за снижение выбросов CO₂ очень важны для США, эти виды льгот на сегодняшний день пока довольно скромные.
7. **В сегодняшних условиях на федеральном уровне и на уровне штатов необходимы налоговые льготы (кредиты) на производство энергии.** Отсутствие национальной или единой региональной структуры, а также адекватной инфраструктуры ЛЭП и другой инфраструктуры для интеграции ветра приводит к необходимости выделять налоговые кредиты на производство энергии на федеральном уровне и на уровне штатов для обеспечения непрерывного развития энергосистемы.
8. **Поскольку миллион британских тепловых единиц или более обходится на сегодняшний день в 5 долларов, замена природного газа ветроэнергетикой экономически обоснована с учетом предельных альтернативных издержек.** Стоимость производства электричества за счет энергии ветра, включая 3 доллара за мгвт/ч за подключение в энергосистему, варьируется от 38 до 45 долларов за мгвт/ч в благоприятных ветровых зонах в пяти районах штата Нью-

Мексико, о которых шла речь в статье. При этом предельные альтернативные издержки (т.е. издержки за вычетом капитальных и прочих фиксированных затрат) для энергоустановок с комбинированным циклом составляют примерно 38-40 долларов за мВт/ч. Ветер также выгоден тем, что нет необходимости прибегать к водным ресурсам (экономия - несколько долларов за мВт/ч). Кроме того обеспечивается своеобразная защита от колебаний в ценах на природный газ (также экономия в несколько долларов за мВт/ч). Еще более выгодна замена электричества, производимого турбинной установкой за счет сжигания топлива, или электроэнергии, производимой одноступенчатыми газовыми турбинами в часы пиковых нагрузок, поскольку альтернативные затраты в этих двух случаях составляют 50 и 60 долларов за мВт/ч соответственно.

9. **Для ветроэлектричества необходим кредит на расширение мощностей, а не только на генерирование электричества.** Ветер не так уж и непредсказуем. Его "количество" и мощность можно "рассчитать", с небольшими погрешностями, за час, за день или за сезон. Для планирования необходимых мощностей в энергосистеме можно использовать статистические анализы. Диапазон погрешностей и, соответственно, затрат можно снизить за счет: а) совершенствования прогнозов; б) разных источников ветровой энергии, разделяемых большими расстояниями и объединенных в единую энергосистему; в) инфраструктуры ЛЭП и включения энергии ветра в энергосистему. Кредитование на расширение мощностей с учетом определенного уровня стоимости и надежности возможно, если планирование новых мощностей предусматривает снижение доли природного газа в производстве электричества.
10. **Экономику ветроэнергетики можно было бы улучшить, если бы производителям ветроэнергии удалось получить обоснованный налоговый кредит на увеличение мощностей.** В рассмотренных выше примерах льготы на расширение мощностей могли бы составлять 2-3 доллара за мВт/ч. Это значительная часть разницы между ценой, обозначенной в Типовом соглашении о закупке энергии, и стоимостью энергии ветра (разница, которая на сегодняшний день компенсируется налоговыми скидками).
11. **Благодаря ветроэлектричеству можно высвободить природный газ для транспортных средств (косвенно).** Можно объединить подземные теплонасосные установки (ТНУ), теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и энергию ветра и отказаться от использования природного газа для отопления помещений и водяного отопления в зданиях. В свою очередь этот природный газ можно использовать для транспортных средств в виде сжатого природного газа, и таким образом отказаться от бензина и снизить импорт нефти. Эти меры позволили бы значительно снизить как автомобильные выбросы CO₂, так и бытовые, снизив уровень загрязнения воздуха в городах.
12. **Включение топливных элементов в источники возобновляемой энергии потребует повышения эффективности производства топливных элементов и водорода, а также снижения затрат на топливные элементы.** Интегрирование производства водорода и топливных элементов в систему электроснабжения в рамках стратегии по увеличению возобновляемых источников энергии способно увеличить кредитование на расширение ветровых мощностей. Однако на сегодняшний день это неэкономично из-за высоких затрат на топливные элементы

и в целом низкого КПД преобразования ветроэлектричества в водород и электричество на топливных элементах.

Рекомендации

- 1. Ассоциация губернаторов западных штатов (Western Governor's Association) должна официально одобрить программу 20% электроснабжения региона за счет возобновляемых источников энергии.** Учитывая, что энергии ветра много и при удачном стечении обстоятельств она экономически выгодна, необходимо принять решение о достижении 20% производимой в регионе электроэнергии за счет возобновляемых источников, с акцентом на включение энергии ветра в энергосистему по причинам, изложенным в разделе "Основные выводы". Безусловно, каждый штат может принять собственные нормативы по внедрению соответствующей Программы развития возобновляемых источников энергии (Renewable Portfolio Standard) и достижению 20% доли производимой энергии за счет возобновляемых источников. Ассоциация губернаторов западных штатов должна убедить Ассоциацию национальных губернаторов и федеральное правительство принять такую программу.
- 2. Развитие ветроэнергетики должно быть частью комплексного планирования в целях снижения колебаний в ценах на природный газ.** Поскольку по сегодняшним расценкам затраты на ветроэлектричество в благоприятных ветровых районах часто бывают ниже альтернативных затрат на природный газ, то регулирующие органы и операторы независимых систем должны рассмотреть преимущества использования электричества, генерируемого за счет энергии ветра. Цель - прекратить использование одноступенчатой газотурбинной пиковой установки, а также внедрить несколько однотипных резервных установок, что отчасти поможет решить задачу обеспечения высокой доли ветровых мощностей при умеренных затратах. Для такой интеграции необходимо создать нормативную базу.
- 3. Ассоциация губернаторов западных штатов должна рассмотреть вопрос о крупномасштабной интеграции энергии ветра на уровне региона.** Необходимо создать комитет по изучению технических и экономических требований для крупномасштабного развития ветроэнергетики в регионе Вестерн Интерконнект. Речь идет в том числе об особенностях спроса и предложения, себестоимости и финансировании региональных ЛЭП, увеличении возможностей метеослужб, экономических преимуществах с точки зрения сохранения водных ресурсов, создании механизмов финансирования инфраструктуры, развитию ветроэнергетики в сочетании с сокращением использования природного газа. Кроме того необходимо иметь в виду правила и нормативы, способствующие интернационализации затрат на выбросы CO₂ и использование водных ресурсов.
- 4. Необходимо создать новые нормативы для равного доступа к конечному потребителю.** В штатах с регулируемой системой электроснабжения можно разработать нормы, позволяющие энергетическим компаниям возмещать обоснованные издержки (в том числе прибыль на инвестированный капитал) в рамках Программы развития возобновляемых источников энергии. Мы считаем, что развитие ветроэнергетики в благоприятных зонах скорее всего существенно не

- отразится на конечной стоимости электричества для потребителей.
5. **Согласованная интернационализация затрат на потребление воды и выбросы парниковых газов должна осуществляться во всех регионах.** Принцип включения затрат на выбросы CO₂ и использование водных ресурсов в себестоимость производимой тепловыми электростанциями энергии мог бы значительно ускорить процесс развития ветроэнергетики. В результате цена на электричество, генерируемое ветром, в Типовых соглашениях о закупке энергии может вырасти примерно на 5 долларов за мГВт/ч.
 6. **В штате Нью-Мексико необходимо создать специальный проект, демонстрирующий использование энергии ветра, тепловые элементы, солнечное фотоэлектричество, эффективность производства, а также применение сжатого природного газа в автомобильной промышленности.** Такой комплекс мер обладает огромным потенциалом и преимуществами для окружающей среды и безопасности. Однако, к сожалению, сегодня это экономически не выгодно. Этот демонстрационный проект, в котором тщательно оцениваются как преимущества, так и затраты, мог бы иметь огромное значение для оценки перспектив и препятствий на пути к будущему с возобновляемыми источниками энергии, когда водород, природный газ и возобновляемые виды энергии станут основными источниками энергии, а потребление нефти сильно снизится. Несмотря на то что мы не изучали этот вопрос, возможно, имеет смысл включить в подобный проект несколько вариантов непосредственного использования солнечного фотоэлектричества, чтобы оценить снижение пиковых нагрузок в сети и льготы на расширение ветровых мощностей. Штат Нью-Мексико лучше всего подходит для демонстрации подобного проекта для земель Ассоциации губернаторов западных штатов, а также для всей страны, поскольку в этом штате имеются первоклассные научные и технические ресурсы в виде национальных лабораторий, включая НАСА (в Уайт Сэндсе), правительство, оказавшее политическую поддержку возобновляемым источникам энергии, а также по большей части сформированная правовая инфраструктура.

См. полный отчет и представление работы, Товарная культура на ветряной ферме.

Средства на проведение исследования и подготовку отчета "Товарная культура на ветряной ферме" были любезно предоставлены Фондом для жизни (Livingry Foundation), Фондом "Новый виток" (New Cycle Foundation), фондом "Энергетика" (Energy Foundation), а также Благотворительным фондом Маккьюна (McCune Charitable Foundation).

Сбалансированное регулирование энергосистемы

Поскольку возникновение ветра невозможно предугадать, то его энергию так же невозможно и "распределить" наперед. Иными словами, электросеть способна принять энергию от ветроэнергетической установки (ВЭУ), однако ее наличие в определенный период в будущем невозможно спрогнозировать.

Но несмотря на слабую предсказуемость ветра, вполне возможно составить график нагрузки и продать производимую ВЭУ энергию заранее, например, за день или за час. Хотя, нужно сказать, существуют затраты, связанные с неверной оценкой предстоящей выработки электроэнергии.

Для того чтобы понять характер этих затрат, необходимо рассмотреть различные отрезки времени в работе энергетической системы. В обзоре научных работ по затратам и эффекту включения энергии ветра в энергосистему (публикация Национальной лаборатории возобновляемой энергии) этот вопрос изложен весьма лапидарно:

"Сбалансированное регулирование энергосистемы осуществляется в течение нескольких отрезков времени. Например, необходимо на несколько лет вперед планировать и осуществлять строительство генерирующих установок, чтобы обеспечивать соответствующие мощности для требуемых нагрузок. Работая в режиме реального времени, системные операторы составляют однодневный прогноз для требуемых нагрузок и выбирают свободные генерирующие установки, которые способны обеспечить ожидаемые объемы по наименьшей себестоимости. Важную роль играют точные прогнозы, получаемые по индивидуальным нагрузкам и генерирующим мощностям, но лишь постольку поскольку в совокупности они представляют собой общий прогноз в пределах контролируемой зоны ...

Ошибки в прогнозировании приводят к затратам либо потому, что системный оператор знает, что прогноз ненадежен и подразумевает дополнительные ресурсы в структуре задействованного производства энергии, либо потому, что непредвиденные ошибки приводят к необходимости корректировать структуру генерирующих мощностей в самый последний момент. В любом случае, получаемое сочетание генерирующих мощностей не отвечает оптимальным критериям."¹

Энергия ветра имеет в отдаленной перспективе два преимущества, и это связано с приростом производственных мощностей. Строительство ветровых установок можно осуществлять довольно оперативно, а наращивание производственных мощностей - постепенно и небольшими объемами. Поскольку долгосрочные прогнозы электростанций относительно будущих нагрузок могут иметь значительные погрешности по объемам, то длительные (многолетние) процессы подготовки и строительства объектов, характерные для установок, работающих на угле, и атомных электростанций, сопряжены с рисками, которые можно избежать с помощью ВЭУ.

Однако здесь важно иметь в виду два обстоятельства. Во-первых, энергия ветра не способна обеспечивать мощность базовой нагрузки без дорогостоящего хранения энергии, что, в свою очередь, может нивелировать преимущество оперативного освоения объекта.² Во-вторых, включение ветровых мощностей в энергосистему можно быстро осуществить только при наличии развитой системы электропередачи, которая соединяет ветровые зоны, где необходимо возводить ветроэнергетические установки, с региональной энергосистемой. Такая энергосистема должна обладать достаточной мощностью для

передачи больших объемов энергии. Ограниченные возможности линий электропередачи часто имеют решающее значение. С учетом этих двух условий, подключение ВЭУ к единой энергосистеме способно привести к снижению риска ошибок в долгосрочном прогнозировании объемов электроэнергии.

Энергосистема имеет еще три временных периода:

1. **Регулирование.** Продолжительность этого интервала составляет от нескольких секунд до 10 минут. Корректировка в энергосистеме в этом временном интервале происходит автоматически с помощью компьютера. Это помогает реагировать на быстрые колебания спроса, которые обычно малы по сравнению с общим объемом спроса. Возрастающий спрос за этот период времени удовлетворяют за счет энергоблоков, работающих в оперативном режиме, но не на полную мощность, а также с помощью резерва вращения.
2. **Слежение за нагрузкой.** Продолжительность этого интервала составляет от десяти минут до нескольких часов. Это время, за которое в нагрузке могут произойти значительные изменения, и энергосистеме необходимо реагировать на такие изменения. Регулируемые государством энергетические компании, которые управляют собственным производством, передачей и распределением электроэнергии, имеют интегрированную систему управления для обеспечения необходимого объема свободных мощностей, чтобы удовлетворять меняющемуся спросу. Возрастающий спрос за этот период времени обеспечивается за счет энергоблоков, работающих в оперативном режиме, но не на полную мощность, а также за счет резерва вращения и установок, которые при необходимости можно быстро запускать. Это, как правило, одноступенчатые газовые турбины или гидроэлектростанции.
3. **Введение установок.** Этот интервал времени подразумевает введение отдельных установок, для запуска и/или отключения которых требуется довольно много времени (несколько часов, иногда больше). Поскольку колебания спроса на электроэнергию в течение дня и в межсезонье не отклоняются от прогнозируемой схемы, введение установки производится по заказу за день, несколько дней и с учетом времени года (чтобы можно было составить график технического обслуживания больших установок).

Линии электропередач и интеграция ветра

Пропускная способность ЛЭП является основополагающим фактором, определяющим возможности и объемы распространения ветра в благоприятных ветровых районах. Однако это еще не все. Плотная система магистральных ЛЭП с достаточным объемом мощности способна увеличить степень проникновения ветра с учетом определенной стоимости интеграции. Здесь может помочь даже мощная система распределения. Например, большой объем мощности наземного ветра в Дании не проходит через высоковольтную систему магистральных ЛЭП, а напрямую поставляется в систему распределения, уменьшая при этом потери энергии и затраты на энергоносители.

Термин "система магистральных линий электропередач" имеет отношение к высоковольтной удаленной части электрической сети. А термин "система распределения" относится к локальному элементу энергосети, где высокое напряжение постепенно преобразуется в более низкое напряжение и наконец поступает к бытовым,

коммерческим и мелким промышленным потребителям. Для снижения потерь электроэнергия на большое расстояние передается под высоким напряжением.

В Европе энергия ветра уже обеспечивает 2,4 % спроса на электричество. В трех европейских зонах ветровая энергия достигает 27% мощности. В Германии это Шлесвиг-Хольштейн (Schleswig-Holstein), в Дании - Ютланд-Фюнени (Jutland-Funen), в Испании - Наварра (Navarra). Пока у нас нет подробных данных о затратах такого уровня использования энергии ветра, европейские энергетические компании пришли к согласию с политическими и общественными структурами о том, что энергия свежего ветра необходима для выполнения намеченных целей по снижению выбросов углекислого газа. Кроме того смета для использования ветра, то есть подключение большего числа "ветряных ферм" к единой энергосистеме, не высока.

Потребуется крупные инвестиции не только в ветровые электростанции, но и в инфраструктуру, особенно в инфраструктуру ЛЭП. Сделать это необходимо прежде чем хотя бы малая толика материальной базы станет технической и экономической реальностью энергосистемы США.

Из статьи [Товарная культура на ветряной ферме](#) Арджуна Макхиджани и др., представленной на североамериканском энергетическом саммите Ассоциации западных губернаторов (Western Governors' Association North American Energy Summit), который состоялся 15-16 апреля 2004 года.

Источники

1. Parsons, et al., *Grid Impacts of Wind Power: A Summary of Recent Studies in the United States*. Проект статьи был представлен на Европейской конференции по ветроэнергетике в июне 2003г. Мадрид, Испания. (Golden, CO: Национальная лаборатория возобновляемой энергии (NREL), 2003 г).
2. Распределение ВЭУ на огромной территории и их подключение к одной энергосистеме могут частично снять остроту этой проблемы. Безусловно, здесь есть ряд вопросов относительно крупных инвестиций в систему электропередач и интеграцию энергосистемы.

Уважаемый Арджун

А что - масло заканчивается?

В девятнадцатом веке готовить на масле и жире считалось роскошью. Позднее растительные масла и насыщенные жиры приобрели плохую репутацию. При нынешнем разгуле низкокалорийных диет и подобных явлений, вряд ли.... Подождите! Вы ведь про нефть, этот ароматный "техасский чай", это "черное золото", что используют для заправки

машин! Прошу прощения. Должно быть, я просто проголодался.

Этот сорт масла подразумевает питание с очень высоким содержанием углекислого газа, которое не только приводит в движение, но и заряжает энергией. Свыше ста лет вокруг него крутятся различные вариации одного и того же мифа. Версия № 1. Мировые запасы нефти скоро иссякнут. Версия № 1.1. Мировые запасы дешевой нефти скоро иссякнут. Версия № 6. Скоро наступит пик мировой нефтедобычи; возрастающий спрос столкнется с быстро снижающимся предложением; цены на нефть подскочат. Результат - экономическая катастрофа.

Вековое наращивание объемов мировой добычи и запасов нефти и столетний промах в прогнозах все-таки не остановили мифотворчество. Все запасы когда-нибудь заканчиваются. Однако некоторые из них заканчиваются быстрее.

Мировые запасы нефти велики. Только в Саудовской Аравии разведанные резервы нефти составляют один триллион баррелей. С учетом текущих темпов мирового потребления этого хватит на 35 лет. Одна четвертая часть из них - доказанные запасы. В Ираке доказанные запасы нефти составляют сто миллиардов баррелей, но с учетом неразработанных месторождений эти цифры, вероятно, еще выше. В Персидском заливе континентальная добыча галлона нефти из доказанных запасов обходится меньше чем в один никель (никель - монета в пять центов - редактор).

Если бы повышение мировых цен на нефть действительно было продиктовано истощением нефтяных ресурсов, то очень скоро мир перешел бы на природный газ, газифицированный и сжиженный уголь и даже водород, производимый энергией ветра. Одна только континентальная часть США с двенадцатью благоприятнейшими ветровыми штатами обладает таким потенциалом производства водорода за счет энергии ветра, который сопоставим по масштабам с объемами всей нефтедобычи Организации стран-экспортеров нефти (ОПЕК), включая весь регион Персидского залива.

Мы загубим окружающую среду гораздо раньше, чем извлечем всю нефть и ее эквиваленты. Способность Матери-Природы поглощать все чудеса нашей технологической мысли по вливанию в атмосферу углекислого газа далеко перевалила за свою критическую отметку. И это не просто теоретическая угроза в перспективе. Подавляющее большинство ученых пришли к единодушному выводу, что эта проблема уже существует. Таят ледники, гибнут миллионы акров лесных массивов, участились случаи климатических аномалий, таких как суровые засухи и сильные наводнения.

Бить тревогу вокруг истощения нефтяных ресурсов развлечение опасное. Маниакальная фиксация на этом вопросе отвлекает внимание от действительно серьезных проблем, связанных со всей современной энергосистемой. Это в первую очередь тяжелые последствия глобального изменения климата, вопросы безопасности и аварий в атомной энергетике, проблемы, связанные с распространением плутония, *а также проблемы слишком дешевой нефти в местах, не являющихся центром ее потребления.*

Слишком дешевая нефть

Слишком дешевая нефть стоит во главе мировых проблем, связанных с энергетикой и безопасностью. В Персидском заливе континентальная добыча нефти стоит меньше двух долларов за 42-галлонную баррель. Сегодняшняя цена на нефть (данные на август 2004 года) составляет около 35-40 долларов за баррель. Таким образом, текущие доказанные запасы Персидского залива - это клад, ожидающий своего искателя, стоимостью свыше двадцати триллионов - да, двадцать *триллионов* - долларов за право добычи и прибыль от нефти. Только в Ираке дополнительные потенциальные нефтяные запасы, которые еще не разведаны или не освоены, со временем способны принести прибыль больше чем три триллиона долларов. А Саудовская Аравия - это просто несметная сокровищница.

На дешевую нефть в Персидский залив ринулись и транснациональные корпорации, и империалисты. Первыми прибыли англичане - сначала в Иран, затем в Ирак. Дешевая нефть и огромные прибыли продолжают оставаться движущей силой империализма, войн и глобального потепления.

Англичане стремились взять под контроль Персидский залив прежде всего потому, что перевели свой военно-морской флот с угля на нефть в Первую мировую войну. Военно-морские силы Великобритании играли огромную роль в сохранении империи. У этой страны было много угля, но не было нефти. Оказалось, что Персидский залив не просто очень богат нефтью, - она там дешевая.

Но с точки зрения экологии и безопасности эта нефть досталась огромной ценой, начиная от глобального потепления и заканчивая убитыми и покалеченными солдатами, сражавшимися на протяжении почти ста лет в песках Ближнего Востока. Это были солдаты из Индии, Великобритании, США, а также из самого региона. С ближневосточной нефтью связан не один конфликт с использованием ядерного оружия, включая кризис 1958 года, когда в результате военного переворота был смещен обхаживаемый западом король Ирака. Таким образом, одна из проблем хронического пристрастия Запада к дешевой ближневосточной нефти - это сопутствующий флирт с фундаменталистами и пожизненными диктаторами (саудовские короли, шах Ирана, Садам Хусейн до 1990 года, и т.п.).

В смысле экологии и безопасности нефть оказалась совсем не дешевой, а очень и очень дорогой. Однако у нас не нашлось эффективного способа ограничить ее потребление, чтобы отразить понесенные затраты. Использование только подтвержденных запасов нефти, не говоря уже о неразведанных и неосвоенных ресурсах, способно увеличить концентрацию углекислого газа в атмосфере почти на 30%. Это может только обострить угрозу глобального изменения климата, которое уже идет полным ходом. Более того, создавать шумиху вокруг истощения нефтяных ресурсов, значит, играть на руку сторонникам атомной энергии, а также апологетам использования плутония в атомных реакторах.

Мы гораздо раньше доведем до истощения природу, прежде чем нефть подорожает из-за истощения запасов. Что касается безопасности, то нефть уже унесла слишком много

жизней. Наконец как я уже говорил в специальном выпуске бюллетеня SDA (июнь 2003 года), даже международная монетарная система с доминирующим положением доллара пришла в зависимость от устанавливаемых цен на нефть.

Что делать?

Что можно сделать, если дешевая нефть - источник всемирных бед с точки зрения экологии и безопасности? Многие считают, что просто нужно установить налог на нефть. Европейские автомобили во многом лучше американских, прежде всего, благодаря жестким тарифам на бензин в Европе. Однако, на мой взгляд, это не сможет в корне решить проблему.

Нефть облагается регрессивным налогом. Чтобы как-то воздействовать на изменение климата, налоговые ставки пришлось бы довести до угрожающих размеров в глобальном масштабе. Это несправедливо, неразумно и непрактично отчасти потому, что многим людям почти недоступны сферы, обеспечиваемые нефтью. Более того, технологии, способные во многом улучшить эффективность автомобильного производства, не допускают на рынок отчасти из-за потребительского выбора, а отчасти из-за автомобильных компаний. Даже на рынках Европы или Японии существует колоссальный разрыв между имеющимися техническими возможностями и реально низкой эффективностью.

Например, автомобильный концерн "Ауди" выпустил коммерческий вариант автомобиля, использующий галлон топлива на 80 миль. Здесь даже не применяются технологии гибридных двигателей. Это усовершенствованный дизель. "Фольксваген" разработал легковой автомобиль, на сегодняшний день очень дорогой и пока не доступный для потребителя, хотя этой машине хватает галлон бензина на целых 265 миль. Наряду с техникой безопасности необходимо ввести жесткие стандарты эффективности автомобилей, производство которых быстро и неуклонно растет. Даже с активизацией передвижения использование нефти может существенно снизиться.

Было бы также разумно значительно повысить налоги на неэффективные и небезопасные автомобили, препятствовать их производству и использовать эти налоги на развитие системы возобновляемых источников энергии. Усилия по повышению эффективности транспортных средств можно объединить с увеличением использования доли природного газа, который выделяет меньше углекислого газа, нежели нефть или уголь. Он совместим с топливными элементами, которые, на мой взгляд, в будущем должны занять центральное место в мировой энергосистеме. Это происходит потому, что топливные элементы способны извлекать водород из возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра и солнца. Природного газа в мире много. Он распространяется лучше дешевой нефти. К тому же он может обеспечить относительно плавное перемещение в другой энергетический мир. Однако это лишь частичное решение проблемы, поскольку существует много параллельных применений природного газа. Да и цены на него растут (хотя намного ниже цен на бензин).

Проблемы глобального изменения климата и безопасности, которые тесно переплелись с

проблемами нефти и транспортных средств, решить совсем не просто. Давайте сосредоточимся на настоящих проблемах и перспективах их решения. Замыкаться на экономической катастрофе вследствие скорого наступления пика нефтедобычи или истощения запасов дешевой нефти, значит, отвлекаться от насущных проблем. Это в лучшем случае. В худшем, это подольет масла в огонь и увеличит спрос на производство нефти или атомной энергии.

Арджун Макхиджани

Материал статьи основан на трех радиокomentarиях по теме "Нефть заканчивается?", звучавших в эфире радиостанции KUNM (г. Альбукерке, США) в январе 2004 г. Эти и другие радиокomentarии IEER слушайте на сайте <http://ieer.org/resource/topic/audiovideo/>

Расширь свой "электрический" словарь

Найди правильный ответ.

Альтернативные затраты это:

- а) деньги, сэкономленные за счет использования талонов в продовольственном магазине;
- б) то, что в нефтяной, газовой и атомной отрасли называется государственными субсидиями;
- в) затраты на производство единицы электричества, которые удастся избежать энергокомпаниям благодаря тому, что она покупает электричество у других компаний (к примеру, у независимых производителей электроэнергии (IPP)). Альтернативные затраты, как правило, намного ниже розничных цен.

Энергоустановки с комбинированным циклом это:

- а) вид местного американского древесного растения, которое растет по берегам рек и водотоков;
- б) энергогенерирующая установка, работающая на основе двух велотренажеров;
- в) газотурбинная установка для производства электричества, работающая на двигателях внутреннего сгорания и паровых турбинах. Природный газ сжигается в газовой турбине либо в поршневом газовом двигателе. Горячий отходящий газ используется для производства пара, приводящего в действие паровую турбину.

Независимый системный оператор это:

- а) еще некоторое время для размышлений для не определившегося избирателя;
- б) сленговое выражение, характеризующее дамского угодника;

в) лицо, отвечающее за надежную работу электрической системы, в том числе за поддержание в рабочем состоянии ее систем в случае возникновения проблем с подачей электричества.

Соглашение о закупке энергии это:

- а) переговоры с Дональдом Трампом или нечто подобное другое;
- б) крупный взнос в политическую партию;
- в) договор между электрической компанией и независимым производителем электроэнергии, где изложены сроки и условия, на которых компания покупает электроэнергию у независимого производителя.

Спотовый рынок это:

- а) продовольственный магазин, реализующий товары по сниженным ценам. Имеются в виду перезрелые фрукты и овощи;
- б) место, где продаются щенки;
- в) рынок, где электричество покупают или продают для поставки в оговоренную дату и по согласованной цене в ближайшем будущем. (оптовый спотовый рынок электроэнергии).

Правильные ответы:

в, в, в, в, в

[Энергетика и Безопасность](#) | ([английский вариант](#))
[IEER](#)

Институт исследований энергетики и окружающей среды

Ваши вопросы и замечание посылайте директору по внешним связям: ieer@ieer.org
Такома Парк, Мэриленд США

2005 г. (Английский вариант издания был опубликован в октябре 2004 г.)

Опубликовано в Интернете в апреле 2005 г.