

8. УСТОЙЧИВАТА ЕНЕРГИЯ: ВАРИАНТИ ЗА ИЗБОР, ПРОБЛЕМИ И ВЪЗМОЖНОСТИ*

Дейвид Елиът

Отворен университет, Великобритания

УВОД

Разработването на модели за устойчиво производство и употреба на енергия все по-често се разглежда като належаш въпрос поради нарастващото безпокойство за потенциалното социално и икономическо влияние на изменението на климата. Настоящата статия разглежда енергийните варианти за устойчиво бъдеще, като се концентрира върху онези от тях, които могат да намалят или ограничат нивото на емисиите на въглероден диоксид.

Проблемът с изменението на климата е световен и приносът на развиващите се страни за решаването му ще се увеличава с нарастването на индустриализацията в тях. Индустриално развитите държави обаче носят отговорността за разработването на технологиите, които създадоха този проблем. Съвсем логично е да се очаква от тях да играят водеща роля и при разработването на технологии, които биха спомогнали за неговото ограничаване.

Макар като цяло този аспект да се разглежда в световен мащаб, настоящата статия дава примери предимно от Великобритания, която започна мащабна програма за развиването на устойчива енергия. Това не би трябвало да навежда на мисълта, че по този въпрос не се работи и в други части на света; точно обратното, Великобритания в много отношения изостава в сравнение с инициативите, предприети от държавите пионери като Дания и Германия, особено в областта на вятърната енергия.

Фокусът на настоящия обзор и основна тема на статията е технологиите за възобновяема енергия. Въпреки това, за да бъде по-пълна картината, се разглеждат и перспективите за другите основни

варианти за технологично развитие, в т.ч. улавянето на въглерод, съхраняването на енергия и ядрената енергия. Прави се опит за сравнение на основните предимства на всеки вариант, така че да се представи обща картина на потенциалните варианти за избор.

Основните критерии за избор на видове енергия, пред които е изправен светът, са не само екологични. Важно значение имат и икономическите фактори. Но краткотрайният икономически просперитет може да е без значение, ако не могат да се запазят здравето, благосъстоянието и жизнеността на засегнатото население. Имаше период, в който най-голямата грижа на повечето еколози бе страхът, че основните горива скоро ще бъдат изчерпани. В днешни дни, макар цената на горивата да си остава важен политически въпрос, недостигът на гориво остава на по-заден план. Вместо това основният въпрос, бъдещ тревога, е дали можем да използваме безопасно резервите от горива, които са ни останали (Елиът и Кларк, 1997).

ИЗМЕНЕНИЕ НА КЛИМАТА

Количеството изгорени изкопаеми горива се е увеличило значително от индустриалната революция насам – над двадесет пъти, и ако не се направят промени в начина на производство и използване на енергията, има голяма вероятност този размер да продължава да расте. Прогнозите са, че световното потребление на енергия ще се увеличи с 59 % между 1999 и 2020 г., като по-голямата част от производството на тази енергия ще дойде от изкопаемите горива (Международна агенция по енергетика, 2001). В развитите в промишлено отношение страни употребата им е разделена, най-общо казано, поравно меж-

* Статията е публикувана през 2003 г. в Hester, R., and R. Harrison (edt.), *Sustainability and Environmental Impact of Renewable Energy Resources* (Issues in Environmental Science and Technology), Royal Society of Chemistry, pp. 19-47.

ду производството на електроенергия (въглища), отопление (природен газ) и транспорт (петрол), макар газта все повече да замества въглищата при производството на електроенергия, както и в транспортния сектор.

Използването на изкопаеми горива създава проблеми за околната среда. В допълнение към проблемите с емисиите на киселини изгарянето на изкопаеми горива в електроцентралите и в двигателите на превозните средства неизбежно произвежда въглероден диоксид, а за тези емисии, както и за други парникови газове като метана се твърди, че играят важна роля в процеса на глобалното изменение на климата. Макар да са малцина хората, които се съмняват в изменението на климата, не всеки е съгласен, че тези промени непременно се дължат на човешката дейност или че трябва и можем да направим нещо по въпроса. Въпреки това Междуправителственият панел за изменението на климата (МПИК) излезе със заключение, че човешката дейност е основната причина за тези промени и ако не предприемем някакви действия, може да се очаква нарастване на екологичните, социалните и икономическите проблеми по целия свят. Тъй като климатичните модели стават все по-непостоянни и изменчиви, съществува голяма вероятност на места да се разразяват все по-силни бури и големи наводнения, а на други да върлува суша, като с повишаването на температурата ще се повишава и морското равнище, в резултат на което районите с по-ниска надморска височина ще бъдат наводнени (МПИК, 2001).

Трудно е да се изрази в точни числа икономическата стойност на потенциалната вреда и реорганизацията, особено след като голяма част от влиянието от климатичните промени ще засегне развиващите се страни не само със загуба на земеделски райони, но и с ръст на заболяванията и социалните безредици. Въпреки това, съсредоточавайки се само върху индустриално развитите държави, застрахователната компания Munich Re е изчислила, че ако се удвоят въглеродните емисии, това би довело до преки разходи за Великобритания в размер на 25 млрд. щатски долара годишно и около 150 млрд. щатски долара годишно за САЩ, което представлява 1,4 % от текущия БВП на САЩ. Тази оценка обаче по-скоро подценява пълния размер на глобалния проблем. Бившият научен съветник на правителството на Обедине-

ното кралство, сър Робърт Мей, отбеляза, че в допълнение към разходите за преки щети на имуществото и икономиката може да се наблюдава и значително влияние върху екологичните процеси като образуването на почвите, водоснабдяването, хранителните цикли, обработката на отпадъци и опрашването, които биха довели до непреки икономически усложнения по целия свят. Той изнесе данни, че по приблизителни изчисления икономическата стойност на тези процеси е в размер на около 10-34 трилиона лири годишно, почти два пъти стойността на световния БВП и отбеляза, че *„голяма част от тези 10-34 трилиона лири са в риск от вероятните екологични и природни изменения, описани от Междуправителствения панел за изменението на климата“* (Робърт Мей, 1997).

Има вероятност част от тези щети да се превърнат в реалност, без значение какво се прави в настоящето, понеже е много възможно дисбалансът на въглеродния диоксид, който вече е налице, да продължава да съществува още известно време (въпреки че се наблюдава постоянно взаимодействие между въздуха, морето и другите въглеродни депа, може да са нужни десетилетия, за да се абсорбират излишните количества въглероден диоксид). Нещо повече, ако не се направят радикални промени, положението би могло да се влоши още повече с нарастването на търсенето на енергия. По прогнозни данни емисиите на CO₂ по света ще нараснат от 6,1 млрд. метрични тона въглерод за 1999 г. до 9,8 млрд. метрични тона през 2020 г., което е 60-процентно повишение, и вероятно до 2050 г. ще достигнат до 15,1 млрд. метрични тона, което е 152-процентно повишение в сравнение с нивата през 1990 г. (Кралската комисия по въпросите на замърсяването на околната среда, 2000).

Междуправителственият панел за изменението на климата обаче препоръчва, че за да се направи опит да се избегнат най-лошите прояви на измененията на климата, нивата на въглероден диоксид в горния слой на атмосферата трябва да се ограничат до около 550 ppm, което е почти два пъти повече от нивата преди индустриалната революция. Сегашното ниво е около 363 ppm. Това означава, че емисиите трябва да се намалят с 60 % (от нивата през 1999 г.) в световен мащаб – цел, която Кралската комисия по въпросите на замърсяването на околната среда препоръчва като отнасяща се и за Обединеното

кралство, заедно с целевата дата – 2050 г. Като се има предвид, че почти 80 % от произведената енергия по света в момента се получава от изгарянето на изкопаеми горива, да се направи намаление в такъв голям мащаб ще бъде трудна задача.

ДЕПониране на въглерод

Един от начините за справяне с проблема с емисиите на въглероден диоксид е да се улови газът и да се складира на безопасно място. Очевидно това не е реалистична идея за повечето газове от транспортните средства, но би могло да бъде възможност за електроцентралите. Улавянето на въглеродния диоксид, който би излязъл през комина на електроцентралата обаче, изобщо не е евтино. Приблизителните изчисления показват, че това би добавило между 50 % – 80 % към цената на електричеството и би намалило с около 10 % ефикасността на преработката на енергията (Междуправителствен комитет по изменението на климата, 2001). Нещо повече, изобщо не е лесно да се намери такова място, на което да се складира големи обеми газ. Най-обещаващият вариант за складирането е природният газ да се компресираща и да се съхранява в изчерпани петролни и газови кладенци.

Има симетрия в тази концепция за депонирането на въглерод, тъй като поне част от него първоначално е дошла от земните недра. Също така има и случаи, при които инжектирането на CO₂ може да се използва, за да се подобри ефикасността на черпенето на петрола, преди да се изпразнят кладенците. Въпреки това в тях като цяло може да има място само за емисиите от няколко десетилетия. Прогнозите за капацитета на складиране показват между 40-100 Gt за петролните кладенци и между 90-400 Gt за газовите кладенци (Уилямс, 1998). Като се има предвид, че през 1999 г. емисиите на въглероден диоксид по света са около 6 Gt, както и че нивата на емисиите се повишават, този капацитет за складиране би бил достатъчен за емисиите за най-много 80 години.

Би могло да има повече място обаче в някои солени водоносни хоризонти¹, макар че относително малка част от тях са „затворени“ или запечатани и съответно подходящи за безопасно складиране – вероятно достатъчни за около 50 Gt. Точно обратното, в по-несигурните „отворени“ водоносни хоризонти има повече място, вероятно достатъчно за до 13 000 Gt или за емисиите за период от около 2000 години при настоящите им нива. Проблемът обаче е да се подсури, че в даден момент газът няма да изтече в резултат на геоложки размествания, а има и редица други неизвестни, свързани с околната среда (Световен енергиен съвет към ООН, 2000).

Друга по-конвенционална алтернатива за депониране е биологичното складиране в биомаса, която абсорбира въглероден диоксид, докато расте. Например бяха предприети действия да се засадят дървета, които да компенсират емисиите на въглерод от транспортните средства. Въпреки това няма чак толкова много място, за да може емисиите да се складира по този начин. За да се депонират всички непрекъснато увеличаващи се емисии на въглерод в Обединеното кралство в дървета, ще се наложи всяка година да се засаждат нови гори на площ с размерите на Девън и Корнуол (Тръст за съхранение на въглерод, 2001). Освен това този вид складиране не е постоянно. Макар че част от въглерода може да остане уловен в корените, горите могат да горят и накрая дърветата изгниват, като по този начин освобождават складирания въглероден диоксид.

Обикновено се оспорва фактът, че с цел ограничаване на въглерода би било много по-ефективно да се засадят и след това бързо да се изсекат бързооборотни фиданки на върба, които след изсичането да се използват за производството на електричество в електроцентралите, като се приема, че произведената енергия замества енергията, която иначе би била добита от изгарянето на изкопаеми горива. Въпреки това залесяването си има и своите привлекателни страни като междинно складиране на въглерод, понеже е относително евтино, ако предположим, че има земя на

¹ Изчерпани нефтени или газови находища, както и дълбоки водоносни или въгленосни хоризонти са считани за подходящи подземни резервоари за съхранение на CO₂. За допълнителна информация вж. например „Геолошко решение за климатичните промени“, Европейска мрежа за въглероден диоксид: <http://sites.uni-sofia.bg/co2net-east/download/BCbrochure.pdf> (бел. ред.).

разположение, а същевременно предлага и други ползи като по-голямо биоразнообразие.

Лесовъдството е само един от вариантите за създаването на нови биологични въглеродни депа. Прилагането на различни животновъдни и селскостопански практики също може да предложи варианти за депониране на въглерод. Например политиката „без обработка“ може да подобри абсорбирането на въглероден диоксид от почвата. Съществува също така новопоявилата се, но доста спекулативна алтернатива за депониране в океана. В допълнение към идеята за изпомпване на въглероден диоксид в дълбините се проявява и интерес към идеята да се увеличи депонирането в океаните посредством „залесяване“ на области с железен оксид. Но изменението на екологията на обширни области в морето би създавало редица екологични проблеми, а според оценките този подход вероятно е скъп и неефективен (Кралска комисия по въпросите на замърсяването на околната среда, 2000).

Ако оставим настрана депонирането в океана, като цяло е изчислено, че в глобален мащаб различните видове земни депа за въглерода (дървета, почва) в най-добрия случай могат да абсорбират около 100 Pg² въглеродни емисии годишно, което представлява 25 % от 400-те Pg въглеродни емисии, които биха били необходими, за да компенсират излишъците и за да се изпълни гореспоменатата цел за цялостно 60-процентно намаление на емисиите до 2050 г. В този контекст „депонирането“ на въглерод в почвите и дърветата е еднакво осъществимо.

В крайна сметка въпреки цялата си привлекателност депонирането на въглерода би могло да се разглежда като доста несръчен подход за справянето с проблемите с емисиите, който по същество се опитва да реши проблема след появата му. Със сигурност по-добра идея е като начало да не се произвежда толкова много въглероден диоксид.

ПРОИЗВОДСТВО НА ЕФЕКТИВНА ЕНЕРГИЯ

Най-прекият начин да се намали производството на въглероден диоксид е да се изгарят по-мал-

ко горива. Има различни начини, по които това може да се постигне. Най-простият е хората в действителност да потребяват по-малко енергия, т.е. да се задоволяват с по-нискоенергийни услуги, което би означавало да водят по-икономичен живот. Макар наистина да има полза от редица действия като изключването на осветлението, когато не ни е необходимо, обличането на пуловер, вместо да засилваме отоплението или доброволно да се откажем от някои особено енергоемки дейности като летенето, като цяло „запазването на енергията“ (или по-точно запазването на горивата) може да се постигне също и посредством технически мерки, които намаляват нейното прехосване.

Възможно е да се използват по-ефективно изкопаемите горива, за да се добие по-полезна енергия на всеки произведен тон въглероден диоксид или ако го формулираме по по-положителен начин – да получим същото количество полезна енергия с по-малко въглеродни емисии. Това важи както за производството, така и за потреблението. Класическият пример по отношение на производството е **когенерацията** – технологията за комбинирано производство на топлинна и електрическа енергия в електроцентралите. Традиционните електроцентрали, работещи с твърдо гориво, обикновено изхвърлят 70 % или повече от енергията на използваното гориво в околната среда, която най-често се отделя като топлина от охладителните кули. Почти половината от тази топлина може да бъде извлечена и използвана да захранва районните отоплителни мрежи. Това може да удвои цялостната ефективност на енергийната преработка или да позволи на централите да доставят същото общо количество енергия, произведена от половината от обичайно необходимото гориво, със съответното намаление на въглеродните емисии.

Технологията на когенерацията е доста широко разпространена и приета в някои части на света, най-вече в Северна Европа, но през последните години се наблюдава, че насоките са към изместване на големите електроцентрали на твърдо гориво за отопление на градовете от по-малки газови станции – микрокогенерационни станции. Цялостната стратегия на Обединеното кралство в тази насока е през 2010 г. да се произвеждат

² 1 Pg (петаграм) = 10¹⁵ g = 10¹² kg = 1 billion metric tons (милиард метрични тона).

10 GW чрез когенерация, което на практика спестява употребата на изкопаеми горива с енергийна стойност приблизително 5 GW, като по-голямата част от тази енергия да бъде произведена от малки до средни по размер електроцентрали.

Колкото и надеждна да е когенерацията, енергийният отрасъл предпочете предимно друг вариант – преминаването към средноголеми **турбини с комбиниран паро-газов цикъл** без когенерация. Причината за тяхната популярност е, че газът е евтин, а газово задвижваните турбини се инсталират бързо – в основата си те представляват реактивни двигатели, които задвижват електрогенератор, при които отделяните горещи газове също се използват за производството на пара за конвенционална турбина в двуфазна система. Не са толкова ефикасни като когенерацията, но са много по-добри от традиционните централи, тъй като постигат цялостна ефективност на производството на енергия в размер на петдесет или повече процента.

В резултат на тази повишена ефективност, а също и поради използването на природен газ (метан) вместо въглища се постига по-малко производство на въглероден диоксид на киловатчас произведена енергия. При прилагането на технологията с турбини с комбиниран паро-газов цикъл се произвежда с около 40 % по-малко въглероден диоксид на киловатчас произведена електроенергия, отколкото при изгарянето на твърдо гориво в традиционните електроцентрали. Преминаването от горене на въглища към горене на газ за производството на електроенергия спомогна Обединеното кралство да намали емисиите на въглероден диоксид в съответствие с договорените международни цели след срещата на върха за земята, която се проведе в Рио де Жанейро през 1992 г., без да се налага да прави почти нищо друго.

Мащабът на тази „треска за газ“ в Обединеното кралство бе значителен. Докато преди 80 % от използваната електроенергия в Обединеното кралство се произвеждаха от изгарянето на въглища, днес този дял е спаднал до 28 %, а природният газ осигурява 40 % от използваната електроенергия. Въпреки това има определени граници относно това, още колко работещи с въглища топлоелектроцентрали могат да бъдат заменени с газови централи, така че ръстът на намаляването

на емисиите да спре. С нарастването на търсенето на електроенергия, което изглежда доста вероятно, отново ще започнат да се покачват и нетните емисии. И газовите резерви са ограничени. Например с изчерпването и поскъпването на резервите от Северно море до 2020 г. в съответствие със съществуващите тенденции Обединеното кралство би могло да се сдобива със 70-80 % от необходимия му газ от отдалечените райони на Североизточна Русия или, ако това се окаже трудно, от страни като Алжир. Предвид геополитическата несигурност не всеки е убеден, че това би бил надежден сценарий за гарантиране на сигурността на доставките (Камара на общините, Комисия по търговия и промишленост, 2001).

Има интерес към опитите да се изчистят емисиите от изгарянето на твърдо гориво, като се има предвид, че по света резервите на въглища са по-големи, отколкото на газ. Две са основните технологии за това. Електроцентрали за горене на стрити на прах въглища са по-ефективни при изгарянето на въглищата от традиционните електроцентрали и могат да намалят киселинните емисии. При технологията за улавяне на газа преди изгаряне – интегриран комбиниран цикъл на газификация, въглищата се преобразуват в газ, който впоследствие се изгаря в турбини с комбиниран паро-газов цикъл. Тези технологии обаче, предвид това, че са само частично разработени, е много вероятно да бъдат скъпи, като капиталовите разходи за киловат за централите със стрити на прах въглища вероятно биха били два пъти по-големи в сравнение с турбините с комбиниран паро-газов цикъл, а дори и повече в случая с интегрирания комбиниран цикъл на газификация. Освен това цялостното производство на електроенергия в тези централи много вероятно е по-малко, отколкото на централите с газови турбини с комбиниран паро-газов цикъл. Следователно те биха произвеждали повече въглероден диоксид за киловатчас произведено електричество (Уотсън, 1998).

При технологията с интегрирания комбиниран цикъл на газификация предимството е, че е по-лесно да се улови CO₂ от процеса на газификация на въглищата, отколкото от емисиите на традиционните централи, работещи с горене на въглища, така че депонирането би било по-лесно. Въпреки това не е ясно, дали допълнителните разходи и по-ниската ефективност на централата

биха били компенсирани. В доклад на Министерството на търговията и промишлеността за по-чиста технология с въглища, публикуван през 2001 г., е направено заключението, че „няма смисъл от икономическа гледна точка да се изгражда нова централа, работеща с въглища при настоящите цени на електричеството“. Дори и без улавянето и складирането на въглерода новата централа с по-чиста технология с въглища би произвеждала електричество в диапазона между 2,6-3,7 пенса на киловатчас³; с улавянето и складирането на въглерода производството би се повишило с около 4,8-5,8 пенса на киловатчас (Министерство на търговията и промишлеността, 2002).

ЕФЕКТИВНОСТ В КРАЙНОТО ЕНЕРГИЙНО ПОТРЕБЛЕНИЕ

Въпреки че употребата на газ и газови турбини с комбиниран паро-газов цикъл очевидно има своите добри страни, а и в момента те са преобладаващият вариант за генериране на нов вид енергия в много страни, предвид факта, че се разчита на изчерпаемо изкопаемо гориво, този подход може да предложи само временно и частично решение на проблема с емисиите. За разлика от него запазването на енергията в момента на употреба изглежда доста по-привлекателно. Със сигурност потенциалът за пестене на енергия с въвеждането на по-ефективни системи в момента на употреба е много голям. Това е така, отчасти защото доскоро енергията бе относително евтина, а енергийната ефективност най-често бе пренебрегвана. Поради повишената тревога от изменението на климата сега се появиха нови политики, насочени към подобряване на ефикасността, с която се използват горивата, като по този начин се намаляват емисиите. Например в Обзорния доклад за енергетиката на правителствената служба на Обединеното кралство, публикуван през 2002 г., се отбелязва, че ефективността на енергетиката в битовия сектор може и трябва да се повиши с 20 % до 2010 г. и с още 20 % до 2020 г.

Вече има известен успех при извършването на значителни икономии в други отрасли на Об-

единеното кралство, най-вече в промишлеността, където търсенето на енергия е намаляло с почти 40 % през последните три десетилетия, най-вече въз основа на икономия на разходите, осъществена чрез инвестиране в нови и по-ефективни технологии. Въпреки това може да не е възможно да се постигнат такива икономии във всички отрасли, особено в транспортния сектор, който очевидно е най-проблемен поради на пръв поглед неумолимото нарастване на продажбите на превозни средства и навъртените километри по света. Въпреки всичко Въглеродният тръст – агенция, създадена с подкрепата на правителството за насърчаване на бъдеще с по-ниски емисии на въглерод за Обединеното кралство, е изчислил, че всички мерки за запазване на енергията могат евентуално да постигнат половината от целевото 60-процентно намаление на въглеродните емисии до 2050 г. по предложение на Кралската комисия по въпросите на замърсяването на околната среда.

Със сигурност ентузиастите, които призовават за енергийна ефективност, вярват, че могат да се постигнат грандиозни икономии. Например твърди се, че комбинацията от мерки за ефективност и мерки за управление на търсенето би довела до подобрения от типа „фактор 4“⁴, а вероятно и повече, в потреблението на енергия в повечето сектори (Фон Вайцзакер, Ловинс и Ловинс, 1994). Въпреки това, макар на теория това да е възможно, на практика може да се появят проблеми. След като евтините и бързи варианти за икономии на енергия бъдат внедрени на практика, възможността за по-нататъшни икономии може да започне да намалява, докато разходите се повишават. Освен това, независимо че е вероятно да има много технически и производствени нововъведения, които могат да повишат ефективността, е трудно да се предвиди как подобренията в областта на ефективността могат постоянно да се копират, така че да не се изостава от прогнозираното двупроцентно годишно нарастване на базовото глобално търсене на енергия в бъдеще.

Пример в голям мащаб в това отношение е транспортният сектор. Въпреки че през последните 30 години въздухоплавателните средства по света са удвоили ефективността на използваното

³ p/kWh; към 2011 г. 1 пени е равно на 0,01 евро (бел. ред.).

⁴ Идеята да бъдеш два пъти по-продуктивен с половината от ресурсите (материали и енергия), което води до фактор 4 подобряване на ефективността (бел. ред.).

гориво, глобалният въздушен трафик е нараснал четирикратно от 1970 г. насам – от 350 млрд. прелетени пътнически мили до 1500 млрд. прелетени пътнически мили на година, като предвижданията са за удвояването, даже за утрояването им до 2050 г. За да представим проблема нагледно, докато обикновено ефективността при употребата на гориво се повишава с 3 % годишно, използването на авиационно гориво в Обединеното кралство през 2000 г. се е повишило с 10 %. Към момента авиацията произвежда приблизително 3 % от световните въглеродни емисии (и приблизително 10 % от общите емисии на парникови газове), а според Междуправителствения комитет по изменението на климата в резултат на повишеното търсене въглеродните емисии от този отрасъл могат да се увеличат с 478 % за периода от 1992 до 2050 г. Ако търсенето не бъде обуздано по някакъв начин, биха се наложили основни технически промени и усъвършенстване на ефективността, за да се намали този процент.

Подобни предизвикателства съществуват и за повечето други видове енергийно търсене от потребителите. В действителност в някои случаи ситуацията може да бъде и по-неблагоприятна поради т.нар. „ефект на рикошета“, който може да осуети опитите за намаляване на емисиите посредством енергийна ефективност (Херинг, 2000). С други думи, парите, които домакинствата спестят от предприемането на мерки за пестене на енергия, могат да се похарчат, на първо място, за поддържане на по-високи температурни нива, а след това и за други енергоемки стоки и услуги като почивки в чужбина със самолет. В резултат може да се окаже, че някои от първоначалните икономии на енергия и емисии са обезсмислени от последствията. Все още точният размер на „ефекта на рикошета“ е спорен, като оптимистите предполагат, че щом повечето продукти и услуги са по-малко енергоемки от пряката употреба на енергията, „ефектът на рикошета“, асоцииран с допълнително изразходване на средства за стоки и услуги, може да доведе само с до 10 % намаление на емисиите от това, което иначе би било постигнато.

Въпреки това вероятно при равни други условия, ако дадена стока поевтинее, тя би се използвала повече. Оптимистите понякога оспорват, че може да има нива на насищане при търсенето в

богатите и благоденстващите индустриални държави, така че всяко ново богатство би било по-скоро изразходвано за повишаване ефективността на енергията, отколкото за нейната употреба. Засега обаче, на макроикономическо равнище потреблението на енергия не показва никакви признаци на намаляване въпреки драматичното повишаване на енергийната ефективност. Нещо повече, в резултат на това, че все повече хора по света се присъединяват към надпреварата за материално богатство, търсенето със сигурност ще продължава да расте.

С това не целим да наложим идеята, че опазването на енергията е важно, понеже е глупаво да я пилеем, особено след като е произведена на такава висока екологична цена, и като цяло повишената ефективност би трябвало да доведе до икономическа конкурентоспособност. С повишаването на натиска за по-добро качество на живот обаче, в един свят с нарастващо население повишеното търсене на енергия би могло да надвиши увеличаването на икономии, което може да се постигне, дори като се вземат предвид сериозните поети ангажменти за повишаване на енергийната ефективност. Може да се получи така, че дори при най-доброто запазване на енергията, посредством приемането на мерки за енергийна ефективност и управление на търсенето ще може само да се забави темпът на повишаване на глобалните въглеродни емисии. За да бъдат намалени в действителност, ще трябва да се премине към не-изкопаеми горива. Подобни алтернативи са ядрената енергия и възобновяемите енергийни източници.

ЯДРЕНА ЕНЕРГИЯ

Към началото на XXI век светът добива около 6 % от електроенергията от ядрени електроцентрали, но се предполага, че този дял може да се повиши в отговор на климатичните промени, тъй като ядрените електроцентрали не генерират въглероден диоксид, поне не пряко. Счита се, че има достатъчно количество уран за няколко столетия при сегашните нива на употреба, макар че ако ядрените програми се разраснат драстично в отговор на климатичните промени, тогава резервите биха се изчерпали бързо, което ще доведе до използването на по-скъпа руда с по-ниско качество или дори на уран, извлечан от море-

тата на още по-висока цена. Като алтернатива би могло да се прибегне до по-бързи реактори, които от своя страна да удължат урановите ресурси, така че ядрото да може да играе значима роля за известно време.

За да може ядрената енергетика да се разрасне, ще трябва да се преодолеят проблемите, които я изместиха от предпочитанията през последните десетилетия. Тук не е мястото за изчерпателен обзор на сложните и често спорни въпроси около ядрената енергия, които са предмет на редица публикации, разглеждани от различни аспекти, но най-общо казано, основните въпроси изглеждат са цената, безопасността и сигурността (Кралска академия на инженерите, 1999; Гримстън и Бек, 2000; Елиът, 2003).

Въпросът за цената влезе в полезрението на обществеността, когато през 1990 г. бе направен опит за приватизация на ядрените централи на Обединеното кралство. С разходи за производството на ядрена електроенергия в контекста на частния сектор в размер до 6 пенса на киловатчас е ясно, че то е неконкурентоспособно в сравнение с газовите централи, чиято цена е почти наполовина на горната. Бе наложен данък върху производството от неизкопаеми горива с цел да се посрещнат допълнителните разходи на производството от неизкопаеми горива, което по това време бе в размер на около 20 % електричество, произведено в ядрените централи. Този налог добави около 10 % върху сметките на потребителите за гориво, въпреки че малка част от него, първоначално в размер на 2 %, бе предназначена да подкрепя проекти за възобновяеми енергийни източници. В началото данъкът набираше почти 1,2 млрд. британски лири годишно за ядрената енергетика, преди да бъде отменен през 1998 г., като по същото време всички централи освен старата MAGNOX преминаха в частна собственост. Твърденията на отрасъла, че скоро ще бъде създадена нова технология (най-вече реорганизацията на водния реактор под налягане на Westinghouse AP 1000), която ще може да осигури производство на конкурентоспособни цени, вероятно на цена от 3 пенса на киловатчас, все още предстои да бъде изпробвана. По подобен начин твърдението, че новите т.нар. „напредничави пасивни“ проекти ще бъдат по-безопасни, предстои да бъде потвърдено (Правителствена служба на Обединеното кралство, 2002).

Очевидно безопасността е основен въпрос не само защото тя е една от причините за относително високата цена на ядрените електроцентрали, чието строителство може да струва до три пъти повече в сравнение с традиционните, тъй като при тях системите за безопасност и контрол може да формират до половината от стойността на разходите за производство на ядрена енергия. Едно от предимствата в полза на избора на пасивни, безопасни при авария характеристики, като охлаждането с конвекция, е, че при тях е по-малка необходимостта от скъпи, сложни и евентуално ненадеждни системи за контрол на аварийните ситуации.

Не е ясно обаче, дали дори ядреният отрасъл може да разработи по-евтини и по-безопасни реактори. Това задължително би довело до намаляване на съпротивата на обществото спрямо ядрената енергетика.

Като цяло обикновено около 70 % от обществото в повечето страни е против ядрената електроенергия, като тази опозиция нараства при всеки голям инцидент в ядрена централа. Скорошно проучване на мнението в Обединеното кралство разкрива, че 68 % от запитаните са на мнение, че Великобритания не бива да строи повече ядрени електроцентрали в близките десет години (Британско бюро за маркетингови изследвания, 2001).

Вследствие на обществената съпротива заедно с относително слабата икономика след инцидента през 1979 г. в САЩ на остров Трий Майл Айленд не бяха поръчани нови ядрени електроцентрали, а след трагедията в Чернобил, Украйна през 1986 г., по-голямата част от Западна Европа се оттегли от ядрената енергетика, като Германия е страната, която най-скоро изяви желание за постепенно спиране на ядрената енергетика. Дори Франция, някогашният основен център на европейската ядрена енергетика, наложи меморандум върху новите проекти през 1997 г. Великобритания следва политика на „разчитане във все по-малка степен“ на ядрената енергия. Като вземем предвид, че към момента не се планират никакви нови централи, това е еквивалент на постепенно спиране на този отрасъл.

Въпреки всичко ядрената промишленост все още има амбиции за разширяване. Някои страни в

Азия обмислят разширяване на ядрените си програми – например Япония и Китай, а също и Русия. Освен това САЩ се опитват да възобновят ядрената си програма, а ядреният отрасъл има желание Обединеното кралство също да последва тази тенденция в преследване на целта за избягване на въглеродните емисии.

Ако приемем, че можем да се справим с проблемите с цената и безопасността на ядрените централи, за да се осъществят тези амбиции, все още остава нерешен проблемът с дълготрайните ядрени отпадъци, които трябва да се държат изолирани от биосферата за период от хиляда години. Каквото и да стане с ядрената програма на Обединеното кралство, само през следващия век ще бъдат произведени приблизително 500 000 t ядрени отпадъци от различен вид, в т.ч. и отпадъците в резултат от бракуването на централите. Подобни проблеми съществуват в целия свят. Към момента обаче, макар някои държави да проучват вероятни обекти, не съществуват хранилища за съхранение за неопределен срок на дълготрайните ядрени отпадъци с висока степен на радиоактивност. Нещо повече, вероятно е неизбежно, но винаги има силна местна съпротива срещу всеки предложен нов обект. При това положение много хора са на мнение, че е безотговорно да се разширява отрасълът на ядрената енергия. Еколозите също поставят под въпрос защо трябва да се разрешава един глобален екологичен проблем като промяната на климата, като се създава друг, още по-голям като радиоактивното замърсяване? (Агенция за ядрена информация и услуги за ресурса, 2001)

Последният въпрос е все по-тревожният и злободневен проблем с разпространяването на ядрени оръжия и разнообразието на материал за правене на оръжия от извлечения от отработено гориво плутоний. Великобритания притежава около 70 t на склад, част от които са високорадиоактивни. С необходимите умения от няколко килограма плутоний може да се направи самоделна ядрена бомба. Също толкова тревожна, след събитията от 11 септември 2001 г., е и вероятността от терористична атака над ядрените централи или временните складове за съхранение на отпадъци, които биха могли да освободят опасни токсини на голяма територия, ако бъде нарушена херметизацията им (Европейски парламент, 2001).

Може би новите технологии и новите процедури на работа ще могат да намалят количеството произведени отпадъци. Със сигурност преустановяването на извличането на плутоний чрез преработката на отработено гориво би могло да намали количеството произведени отпадъци със средна и ниска радиоактивност и би запазило плутония във вид, труден за използване от терористите. Понастоящем Обединеното кралство и Франция продължават с преработката в значителен мащаб. Тъй като Обединеното кралство и Франция заедно със САЩ са закрили програмите си за разработки, единствената употреба на плутония освен за оръжия е за производството на новото гориво „комбиниран оксид“, чийто основен клиент в момента е Япония. Ако предвидим обаче и факта, че съществуват изобилни и много по-евтини запаси от уран, пазарът за този вид гориво е много вероятно да бъде ограничен, а търговията с него по света съдържа потенциални рискове от терористични атаки (Парламентарна служба на науката и технологиите, 2000).

Макар ядрената промишленост все още да е склонна да насърчава ядреното делене като част от решението на климатичните проблеми, все още има доста време, докато този вариант стане достъпен. Ядреното делене е все още във фазата на проучване и разработка и въпреки че по света досега са похарчени близо 20 млрд. британски лири, в най-добрия случай трябва да изминат още доста десетилетия, за да е налице реактор за търговски цели. Понякога ядреното топене се описва като по-чист и по-безопасен вариант от деленето. Въпреки това при повечето евентуални подходи в топенето участва плазма на радиоактивен тритий, която тече при температура 200 милиона градуса по Келвин, а рискът от аварийно отделяне би бил голям, както и съответните последици. Освен това неутронното лъчение в ядрото на реактора за топене би произвело радиоактивни материали, които трябва да се складираат. Макар да имат по-кратък живот на полуразпад от продуктите от деленето, справянето с тези отпадъци отново би представлявало проблем. Научната страна на нещата със сигурност е вълнуваща, но що се отнася до доставката на електроенергия, ядреното топене е много далечна цел с неизвестни разходи и проблеми с безопасността, нещо повече – едва ли ще бъде налично и достъпно навреме, за да помогне да се справим със спешния проблем с изменението на климата (Елиът, 1998).

ЕНЕРГИЯ ОТ ВЪЗОБНОВЯЕМИ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ

За щастие може да не ни се наложи да създадем малки слънца с ядрените реактори. Слънцето е работещ ядрен реактор, който предоставя повече енергия, отколкото човечеството би могло да използва, ако може да разработи технологии за нейното ефективно улавяне. Слънчевата енергия задвижва климатичната система на земята, създава ветровете, вълните и дъжда, като поддържа и растежа на биомасата. Използването на тези задвижвани от климата енергийни потоци и източници би представлявало доста елегантен начин да се затвори цикълът, след като обсъждаме използването на климатични системи, за да избегнем климатичните промени, като с тях заменим употребата на изкопаеми горива.

Не всички налични природни потоци енергия се задвижват от климата. В допълнение към непрекъснатото подновяващите се слънчеви източници гравитационното притегляне, което луната осъществява спрямо моретата, води до образуването на приливи – лунна енергия. Макар и да не е напълно възобновяем източник, също така е налице и топлината дълбоко под земята, образувана от радиоактивния разпад, източник на геотермална енергия.

Общото количество на енергията от различните възобновяеми енергийни източници е много голямо. В момента общият капацитет за производство на енергия от различните системи за добив на енергия, построени от човечеството, възлиза на приблизително 14 TW. Непрекъснати слънчев поток се равнява на 90 000 TW, от които около 1000 TW биха могли по принцип да бъдат уловени и трансформирани в енергия във вид, в който може да се използва от човека (Джаксън, 1992). Трябва да се вземат предвид загубата на ефективност и ограниченията при използването на земята, но дори при това положение би трябвало да има достатъчно енергия от тези източници, която многократно да отговори на нуждите на планетата.

Прогнозите за практическия принос, който възобновяемите енергоизточници биха могли да предоставят в бъдеще, неизменно зависят от преизчисленията за степента на финансова подкрепа и мащаба на ограниченията при традиционните и

ядрените алтернативи. Системите за възобновяеми енергийни източници включват нови технологии, които се опитват да си спечелят място на пазар, на който доминират съществуващите технологии за енергия и най-вече петролът, а напоследък все повече и газът. Широко се използват енергийни сценарии, които описват евентуалните пътища пред нас, а сценарият за устойчиво развитие, разработен през 1995 г. от Shell International, оказва силно влияние. Предполага се, че към 2060 г. възобновяемите енергийни източници биха могли да осигурят почти половината от общото количество необходима енергия (Шел Интернешънъл, 1995). В последващи проучвания бе изразено предположение, че по принцип до 2100 г. възобновяемите енергийни източници биха могли да задоволяват над 80 % от глобалните нужди от енергия, ако предположим, че бъдат третирани като приоритет по екологични причини (Световен енергиен съвет, 1994).

Неизбежно подобни дълготрайни прогнози са много спекулативни. Това, което наистина е от значение, е практическият напредък към технологично и икономически осъществими енергийни системи.

Приносът на възобновяемите енергийни източници започва от относително ниско ниво, най-вече от традиционната водна енергия и традиционната биомаса. Но дори да е така, трябва да отбележим, че почти 17 % от енергията по света се добива посредством тези два източника. Макар нивата на финансиране да бяха относително слаби, в сравнение с финансирането за ядрените технологии напредъкът на т.нар. нови възобновяеми енергийни източници бе доста бърз от 70-те години насам, когато първоначално интересът към тях възникна в резултат на кризата в цените на петрола. До 2000 г. новите възобновяеми енергийни източници вече доставяха приблизително 2 % от световната енергия или приблизително 3 % от електричеството по света. Приносът им бързо се разраства, стимулиран от някои доста амбициозни цели. Например Европейският съюз цели до 2010 г. 12,5 % от произвежданото електричество да бъде от възобновяемите енергийни източници, а някои държави членки си поставят още по-големи цели. Дания си е поставила за цел този дял да бъде 29 %, Финландия – 21,7 %, Португалия – 21,5 %, а Австрия – 21,1 %, като тези цифри не

включват приноса на големите водни централи (Европейски съюз, 2002).

НАПРЕДЪК С ВЪЗОБНОВЯЕМИТЕ ЕНЕРГИЙНИ ИЗТОЧНИЦИ

Наскоро бяха публикувани някои съвременни и актуални обзори на технологичния напредък при възобновяемите енергийни източници (Грос, Лийч и Бауен, 2003; Бойли, 2003). По-долу е представен преглед на най-значимите разработки в основните сфери.

Вятърната енергия е един от лидерите с първоначален пазарен ръст от над 20 % годишно, който след 1997 г. се ускори до 30 % годишно. Към средата на 2002 г. капацитетът от вятърни турбини в експлоатация е близо 23 000 MW, като Дания, една от държавите пионери в тази област, добива около 18 % от електричеството си от проекти за вятърна енергия. В Германия скоростта на инсталиране на такива мощности достига 1,5 GW годишно, като през 2002 г. тя разполага с почти 9000 MW мощности. Технологията се развива бързо от инсталации с ниска фиксирана скорост от 100-200 kW до инсталации с различна скорост в диапазона на 2 MW и повече. По този начин разходите за добиване на електричество спадат значително. Например, докато в началото на 90-те години в Обединеното кралство проектите за вятърна енергия добиват електричество на цена от 11 пенса за киловатчас с помощта на субсидия за неизкопаеми горива, през 2000 г. вятърните проекти се развиват до степен, която им позволява на някои места да постигат цена от около 2 пенса за киловатчас без нужда от субсидия.

Следващата стъпка е да се навлезе по-навътре в морето, където екологичните ограничения са по-малки, а скоростта на вятъра по принцип е по-висока и постоянна. Това може да компенсира повишените разходи, свързани с офшорните проекти (поради тяхната отдалеченост от брега), и за преноса на енергията обратно до сушата. Към 2002 г. ЕС разполага с капацитет от приблизително 100 MW, разположени далече от брега. Пионерите в тази област са Нидерландия, Дания и Швеция, плътно следвани от Германия, Обединеното кралство, Република Ирландия, Белгия и Франция. Германия е приела амбициозна про-

грама, чиято цел е да разположи мощности за вятърна енергия от офшорни ветропаркове, които до 2030 г. да достигнат 10 GW и да доставят около 25 % от електричеството в страната. Общият вятърен ресурс за ЕС се определя на близо 900 TWh годишно. Понастоящем проектите за вятърна енергия от офшорни ветропаркове добиват енергия на цена около 4-6 пенса за киловатчас, но с натрупването на опит и с появата на нови технологии цените спадат, а за последното десетилетие капиталовите разходи за киловатчас инсталирани мощности са намалели с около 30 %. Очевидно е, че при това положение има голяма вероятност използването на вятърната енергия да продължи да има успех (Гипе, 1995; Редлинггер, Андерсен и Морторст, 2002).

Докато вятърната енергия привлича в най-голяма степен вниманието на медиите, употребата на **биогаз**, получен от отпадна биомаса, се доказва като най-достъпен в икономическо отношение вариант, тъй като канализационният газ и газът от сметищата са един от най-евтините възобновяеми енергийни източници. Макар също да е икономически привлекателно, добиването на енергия чрез изгарянето на твърди общински и битови отпадъци е по-малко успешно предимно заради съпротивата на местните жители, загрижени за евентуалните емисии на диоксид от изгарянето на пластмаси. Освен това еколозите не гледат на тези отпадъци като истински възобновяеми енергийни източници, след като при тях се разчита на производство на материали, които според еколозите по възможност трябва да се избягват, а когато това е невъзможно, да се рециклират.

Обратно, еколозите обикновено считат специално отглежданите **енергийни култури** за по-атрактивни варианти за производство на енергия, стига честотата на тяхната употреба да съвпада със скоростта на повторното им садене с цел да се поддържа въглероден неутралитет. Течните горива, произвеждани от семената на рапица или слънчоглед, са намерили своята пазарна ниша в някои части на континентална Европа, в сферата на транспорта под формата на биодизел. Великобритания напредва в тази насока с програма за енергийни култури, основаващи се на стърготини от бързорастящи фиданки, като гориво за съвременните електроцентрали с газови турбини. Разходите са все още сравнително високи. Планът на станция ARBRE за 10 MW

в Йоркшир се очаква да добива на цена от 8 пенса за киловатчас.

Фотоволтаичните слънчеви (PV) системи са още по-далеч от търговска конкурентоспособност, с цена приблизително 5-10 пъти по-висока в сравнение с тази на традиционните източници на енергия. Въпреки това се полагат големи усилия за намаляването на разходите и тъй като в световен мащаб се счита, че слънчевите фотоволтаични системи имат голямо бъдеще, държави като САЩ, Германия и Япония подкрепят мащабни програми за фотоволтаични (PV) инсталации. Германия например е приела програма за реализация на 100 000 PV системи по покривите. Основните подобрения се очаква да бъдат свързани с употребата на нови материали с по-висока ефективност и по-ниски разходи. Ефективността на съвременните устройства, налични в търговската мрежа, е в диапазона 12-15 %, но в лабораторни условия са разработени устройства, чиято ефективност достига до 25 %, а някои по-сложни устройства достигат и по-високи нива. По отношение на разходите лесното производство е очевиден въпрос, а технологията с тънък слой аморфен силикон е доказала своята привлекателност въпреки по-ниската си ефективност. Налице са също и вълнуващи перспективи за развитието на технологии, базирани на някои по-нови полимерни клетки (Гратцел, 2001).

Икономиката обаче не е само въпрос на съоръжения. Новите приложения и модели за производство и употреба на енергия откриват нови пазари за фотоволтаичните системи. Последните рядко се разглеждат като пряка конкуренция на традиционните електроцентрали, а по-скоро като устройства, предоставящи възможност за производство на енергия директно на мястото на използване, като по този начин се избягват загубите по преноса. В много развиващи се страни фотоволтаичните системи, които не са включени в енергопреносната мрежа, могат да бъдат единственият избор за производство на електроенергия на ниво селище освен вносните горива дизел или петрол. По света има близо 2 млрд. души, които нямат достъп до електричество и които изобщо няма вероятност да се снабдят с такова посредством свързване с енергопреносна мрежа. В развитите страни домакинствата и офисите ще имат все по-често възможност да се оборудват с фотоволтаични клетки на покривите си, които

да осигурят част от електричеството, необходимо им за осветление. Излишното електричество ще се изнася по електропреносната мрежа, а недостигът на енергия ще се компенсира с енергия от енергопреносната мрежа. В Обединеното кралство вече има няколко примера, където тази система за „нетно измерване“ е донесла реална печалба за собственика на дома. Очевидно към настоящия момент за инсталирането на фотоволтаична система на покрива все още е необходима значителна капиталова инвестиция, която се изплаща за десетилетия. Въпреки това притежаването на вграден в сградата фотоволтаичен покрив, направен от ново поколение фотоволтаични панели, спестява разходите за традиционен покрив, което може да намали общите разходи. Освен това е привлекателно покривът сам да „заработва“ издръжката си. С разширяването на тази пазарна ниша и с нарастването на обема на производството цените би трябвало да паднат, така че в рамките на десетина години или малко повече фотоволтаичните системи биха могли да получат широко разпространение (КПМГ, 2000).

По-новите възобновяеми енергийни източници включват енергията на **морските вълни** и на **приливите и отливите**. Енергийните ресурси на Обединеното кралство от морски вълни са значителни. Възможно е половината и повече от електричеството на Великобритания да се произвежда от този източник, ако генераторите се разположат успешно навътре в морето, където се намират най-големите потенциални енергийни източници. Проучванията на енергията на морските вълни започват още през 70-те години на XX в. След няколко първоначални опита обаче е заявено, че цената за производство би била висока и финансираната от правителството програма е прекратена. Въпреки това част от дейността продължава както в Обединеното кралство, така и на други места. Напоследък се отбелязва известен подем на разработките във връзка с енергията на морските вълни. В Обединеното кралство пионерите са Wavegen с 500-киловатовото брегово устройство LIMPET на Айслей, което бе пуснато в експлоатация през 2000 г. През последните години те са насочили дейността си навътре в морето с помощта на ново плаващо устройство, придобито с безвъзмездна помощ от Министерството на търговията и промишлеността на Великобритания в размер на 1,67 млн. английски лири. Фирмата Ocean Power Delivery

изпробва своето устройство Pelamis Wave Snake във водите на Шотландия. На други места също се изпробва богато разнообразие от устройства, в т.ч. холандското устройство Archimedes Wave Swing и датското устройство Waverplane. Япония притежава плаващата тестова платформа Mighty Whale, а в Австралия се разработва новаторско устройство, което да използва вълните за добив на енергия (Камара на общините, 2001).

Технологиите за използване на енергията на приливите и отливите е по-нова разработка. На определен етап от нейното развитие се проявяваше интерес към идеята да се изградят големи приливни заграждения по протежението на подходящи за целта естуари, за да се регулира височината на водния стълб посредством улавянето на приливните потоци. Естуарът на р. Северн бе един от обещаващите обекти, който има възможност да поеме заграждение, от което да се добива енергия в размер на 8 GW. През 70-те години Франция строи малко заграждение на естуара на река Рейнс. Капиталовите разходи за изграждането на подобни заграждения обаче са твърде високи и такива проекти с дългия период, необходим за изграждане, не са привлекателни за частния сектор. За по-добро решение се смята използването на малки свободно стоящи турбини, монтирани на морското дъно, където са теченията на приливите и отливите. Тези турбини са модулни и до голяма степен по-малко агресивни към околната среда от големите и скъпи заграждения. Общите ресурси за заграждения и за течения на приливите и отливите в Обединеното кралство са почти едни и същи. Ако бъдат разработени напълно, двата метода биха могли да произвеждат около 20 % от електричеството на страната (Министерство на търговията и промишлеността, 1999).

Съществуват и други новаторски идеи за изграждането навътре в морето на кръгли басейни, които да улавят приливите и отливите, но като цяло бъдещето на енергията от приливите и отливите в Обединеното кралство изглежда е свързано с използването на теченията. Понастоящем се тестват първоначални модели. Например компанията Marine Current Turbines изпробва потопяема 300 kW турбина за приливите и отливите близо до бреговете на Девън благодарение на безвъзмездна помощ от ЕС в размер на 1 млн. евро и на помощ от 1 млн. британски лири, от-

пусната от Министерството на търговията и промишлеността, а до бреговете на Шетлъндс се изпитва новаторска система Stingray с хидроплан, монтирана на морското дъно чрез безвъзмездна помощ от 1 млн. британски лири от Министерството на търговията и промишлеността (Камара на общините, 2001).

Източниците на морска енергия като енергията на морските вълни и на приливите и отливите са по-предсказуеми и по-малко изменчиви от вятърната енергия. В действителност вълните са складирана вятърна енергия, а приливите и отливите се задвижват от регулярните лунни цикли. На практика те биха се съчетали добре с останалите основни варианти за добиване на енергия на сушата като вятърната енергия. Например съществуваха планове за комбинирането на устройства за добиване на енергия от морските вълни или приливите и отливите с вятърни турбини, макар да са налице някои търговски проблеми, понеже невинаги най-добрите местоположения за морските вълни и за приливите и отливите са и най-добрите местоположения за вятърна енергия. Но всички те имат едно общо и основно предимство – че са далеч от брега. Затова има далеч по-малко визуално натрапничество и влиянието върху околната среда, морската фауна и морските екосистеми много вероятно ще бъде по-малко. В действителност част от влиянието може да бъде и положително по отношение предоставянето на хабитат за някои морски видове (Доклад за Грийнпийс интернешънъл, 2000).

Докато по бреговете на Обединеното кралство има множество райони, подходящи за устройства за добиване на енергия от приливите и отливите, енергията на морските вълни е по-концентрирана, като по-голямата част се добива по бреговете в северната част на Атлантическия океан. Това предполага, че съоръженията трябва да бъдат разположени предимно в Шотландия. Основното търсене на електроенергия обаче, е в Югоизточна Англия. Тъй като съществуват пречки пред изграждането на нови големи връзки с енергопреносната мрежа в северните части на страната, интерес предизвиква идеята за прекарване на подводен кабел за високо напрежение от Шотландия до Англия и Уелс. Той обаче може да добави до 0,5 пенса за киловатчас към цената на пренасяната електроенергия (PВ Power, 1999, 2002).

Засега повечето екипи, работещи в областта на устройства за добиване на енергия от морските вълни и от приливите и отливите, очакват първите им прототипи да доставят енергия на приблизителна цена от 7 пенса за киловатчас, която е много по-добра, отколкото на енергията, получена от вятъра на сушата, на същия етап от разработката на тази технология. Надеята е, че когато устройствата стигнат фазата на серийно производство, ще доставят енергия на цена около 4 пенса за киловатчас, което ще ги направи осъществими и подходящи за употреба съгласно Разпоредбата за увеличаване дела на електроенергията от възобновяеми източници (три от проектите за енергия от морските вълни вече са сключили договор по Разпоредбата за неизкопаемите горива).

Макар че по-голямата част от първоначалната работа е извършена в Европа, морските възобновяеми енергийни източници са разпространени по целия свят. Проекти за енергия от морските вълни има в Индия, а компанията от Канада и Азорските острови Blue Energy е планирала амбициозно заграждение за приливите и отливите. То би трябвало да бъде инсталирано по маршрут между островите във Филипините и впоследствие може да се разшири, за да достигне производството на 2200 MW. Има и още по-амбициозни предложения, в т.ч. идеята за използването на редици потопяеми турбини, които да уловят големите енергийни потоци на Гълфстрийм (Елиът, 2003).

Съществуват и редица други мащабни и не толкова мащабни варианти за добиване на енергия от възобновяеми енергийни източници. След като се появиха опасенията за влиянието върху околната среда на мащабните **хидропроекти**, на малките хидропроекти започна да се гледа като на по-подходящ вариант. Макар геотермалната енергия да не е точно възобновяем енергиен източник, тъй като местният топлинен енергиен поток може да се изчерпи – поне за известно време, по света има инсталирани електроцентрали, произвеждащи около 7 GW електричество от **геотермална енергия**. Освен това геотермалните източници се използват широко за отопление, както, разбира се, и пряката **слънчева енергия**.

Покривните слънчеви колектори за бойлери са изключително широко разпространени в много

от по-слънчевите части на света, но те могат да се използват за отопление на помещения или вода и в други видове климат. Пасивните соларни проекти могат да играят още по-голяма роля. Слънчевата светлина може да бъде концентрирана, за да задвижва т.нар. слънчеви термални централи за производство на електричество; вече са изградени няколко такива. Съществуват и още по-новаторски идеи за изграждането на електрокомини, при които възходящата тяга се създава от големи оранжерии на приземно ниво, задвижващи въздушна турбина, инсталирана в комина. Освен тях има и редица варианти за биогаз и биогорива – например анаеробното разлагане на биологични материали и превръщането им чрез пиролиза в течни горива, което може да осигури гориво както за отопление, така и за производство на електроенергия, а в някои случаи и за задвижване на транспортните средства. Например може да е възможно да се произвежда водород от биомаса и отпадъци. Макар през последните години производството на електроенергия от традиционни източници да доминира над разработването с търговска цел на възобновяемите енергийни източници, е ясно, че те предоставят също толкова много варианти за производството на топлинна енергия, а също и на горива за транспортни цели (Йохансон, Кели, Реди и Уилиамс, 1993).

ОЦЕНКА НА СТОЙНОСТТА НА УСТОЙЧИВАТА ЕНЕРГИЯ

Направеният преглед на технологичните решения за добив на енергия от възобновяеми енергийни източници би трябвало да подчертае широката гама от съществуващи алтернативи, както и степента, до която те се конкурират за финансиране, и необходимостта по някакъв начин да се направи избор между тях. Това е особено трудно, тъй като всички тези варианти се намират в различни фази на развитие. Повечето от новите възобновяеми енергийни източници все още се намират в относително ранна фаза на развитие и въпреки това поне някои от тях вероятно ще играят голяма роля в бъдеще.

Икономическата оценка на цената на произведената енергия от даден източник е най-очевидният начин да се сравни жизнеспособността на алтернативни енергийни решения. Изборът на

вариант въз основа единствено на разходите в началните фази на развитие на моделите има известни ограничения, както е видно от опита на Обединеното кралство с енергията от морските вълни. Ранните оценки на цената на енергията от този източник възлязоха на 20 и дори на 50 пенса за киловатчас, когато бяха изпробвани единствено малки модели, и финансирането за тях беше оттеглено – най-напред през 1982 г. за дълбоководните морски вълни, а след това през 1994 г. за останалата част от програмата. Това стана близо 20 години преди една повторна оценка да направи предположения, че могат да се постигнат много по-ниски цени и през месец март 2001 г. Министерството на търговията и промишлеността стигна до следното заключение: „Днес, като се върнем назад във времето, виждаме, че решението да прекратим програмата очевидно бе погрешно“ (Рос, 2002).

Предстои да се разбере доколко обоснована е била тази повторна оценка. Но като цяло, вместо да се правят опити да бъдат „избрани победители“ в ранна фаза, изглежда по-мъдро да се позволи на повече разработки да продължат, особено ако равнището на разходите във фазата

на разработка и проучване е относително ниско. Изборът става по-важен на следващата, по-скъпа фаза в процеса на нововъведенията, когато се пристъпва към цялостно разработване и тестване на пазара. Част от проучванията на възобновяемите енергийни източници са достигнали тази фаза и следователно започва изготвянето на пазарните оценки, но повечето от тях са все още доста далеч от този етап.

В Таблица 8.1 са показани резултатите за някои основни възобновяеми енергийни източници, сравнени с традиционните източници. Със сигурност тези дългосрочни оценки са спекулативни и се основават на редица предположения за развитието на енергийните политики. Например, ако не бъде осигурено финансиране за възобновяемите енергийни източници или за нови ядрени технологии, тогава картината би изглеждала съвсем различно.

Една от основните неясноти е как в бъдеще ще се оценяват относителните екологични разходи за различните варианти. Ако например пълната социална и екологична стойност на емисиите на въглероден диоксид и киселинните емисии

ТАБЛИЦА 8.1. ЦЕНА НА ЕЛЕКТРИЧЕСТВОТО ВЪВ ВЕЛИКОБРИТАНИЯ ПРЕЗ 2020 Г.

	пенса на киловатчас
Наземни вятърни турбини	1,5 – 2,5
Офшорни вятърни турбини	2 – 3
Енергийни култури	2,5 – 4
Енергия от вълни и приливи	3 – 6
PV слънчеви инсталации	10 – 16
Газ (газова турбина с комбиниран цикъл)	2 – 2,3
Макрокогенерация (комбинирано производство на топлина и електричество)	под 2 пенса
Микрокогенерация	2,3 – 3,5
Въглища (интегрирана газификация с комбиниран цикъл)	3 – 3,5
Ядрена енергия	3 – 4

Източник: UK Government Cabinet Office, Performance and Innovation Unit, Energy Review, 2002 (Ref. 16).

от горенето на твърди горива се добави към стойността за производство, тогава сравненията биха се променили чувствително. Както виждаме, макар ядрените централи да не генерират въглероден диоксид, вариантът за ядрена енергия се съпътства от друг вид въздействие върху околната среда и други екологични и обществени рискове. Освен това дори и най-благоприятните възобновяеми енергийни източници ще оказват негативно влияние на местно равнище.

За да подпомогне изготвянето на сравнения, проектът „EU EXTERNE“ направи опит да определи цена на екологичното и социалното въздействие на използването на различни източници на енергия, като се концентрира върху производството на електричество в ЕС. Резултатите показаха, че цената на електричеството, произведено от въглища, ще се удвои, а цената на електричеството, произведено от газ, ще се увеличи с 30 %, ако към тези цени се добавят и вземат предвид външните косвени разходи, като вредите за околната среда и здравето. Изчислено е, че тези разходи възлизат на приблизително 1-2 % от brutния вътрешен продукт на ЕС (БВП), без да се включват вредите, причинени от глобалното затопляне (Европейска комисия, 2001).

Използваната методология за изчисляване на външните разходи при производството на елек-

трическа енергия е наречена Методология на трендовото въздействие. Тя започва с измерването на емисиите, след това разглежда разпространяването на замърсители и наблюдава последващото повишаване на концентрациите в околната среда. Накрая оценява влиянието върху редица фактори – добива от различни култури или върху здравето. Методологията приключва с оценка на получените стойности. Методологията на проекта „EXTERNE“ може да се приложи и в други отрасли, свързани с енергетиката, като транспортния. На практика първоначалната работа показва, че кумулативните разходи за пътният транспорт – преобладаващия източник на еко-вреди, добавят още 1-2 % от БВП към сметката. Резултатите за електричество то са показани в Таблица 8.2.

Както се вижда от този анализ, изкопаемите горива имат много по-голямо въздействие върху околната среда от всяка друга алтернатива, като въглищата очевидно са най-лошият вариант. За разлика от тях вятърната енергия е относително добър вариант, при който екологичните разходи са четири пъти по-ниски в сравнение с ядрената енергия.

При подобни оценки има множество методологически проблеми – например как да изчислим цената на конкретни видове вреди. Простата икономическа оценка, основаваща се на стойността за застрахователна подмяна, може да

Таблица 8.2. Допълнителни разходи в резултат на негативни ефекти върху околната среда

Разходи в допълнение на конвенционалните разходи за електричество според енергиен източник – при презумпция за 0,04 евро/кВч средно за ЕС, в евро/кВч

Въглища	0,057
Газ	0,016
Биомаса	0,016
PV слънчеви инсталации	0,006
Водноелектроцентрали	0,004
Ядрена енергия	0,004
Вятърна енергия	0,001

Източник: EU EXTERNE study (Ref 47).

не осигурява достатъчно реалистично измерване или заместител на стойността на изгубено удобство или увреждане на здравето от човешка гледна точка, още по-малко на екологичната стойност на някое разрушение. Още по-спорна е оценката на стойността на човешкия живот, която несправедливо, но неизменно се различава в различните точки на света.

Очевидно е, че част от тези оценки са субективни и това е проблем, който оказва още по-голямо влияние върху популярните оценки на влиянието на технологиите за възобновяеми енергийни източници. Например, макар въздействието на местно равнище на повечето възобновяеми енергийни източници да е малко в сравнение с повсеместното и глобално влияние от горенето на изкопаеми горива, въпреки всичко отново води до опасения сред обществото, както стана в случая с отрицателните местни реакции към визуалното натрапничество на някои проекти за вятърна енергия в Обединеното кралство (Елиът, 1994).

РИСКОВЕ

Проблемът с безпристрастните преценки на въздействието и цената на енергийните източници може да бъде още по-сложен, когато ста-

ва въпрос за оценка на въздействието на инциденти и на отражението им върху здравето на гражданите – една от множеството оценки, извършени в рамките на анализа на EXTERNE. В най-общи линии въздействието, което различните алтернативи оказват, е достатъчно ясно. Ядрената енергия причинява рисковете за здравето, свързани с радиоактивните отпадъци. Усложненията за здравето от киселинните емисии от изгарянето на изкопаеми горива причиняват здравословни усложнения на широк кръг от хора. Освен това съществуват рисковете за безопасността и при някои от възобновяемите енергийни източници като например големите водни централи.

Размерът на въздействието върху здравето и степента на риска често са спорни, наблюдават се разногласия за данните и анализа им, както стана видно от дългия дебат върху резултатите от ранните опити да се оцени рискът от ядрените централи (Размусен, 1973, 1974, 1975) и енергийните източници по принцип (Инхабер, 1978, 1982; Холдрен, 1979).

Проф. Уилям Нордхаус (1997), икономист от САЩ и защитник на ядрената енергия, изготви следния анализ за степента на смъртност и заболяемост, свързани с употребата на изкопаеми и ядрени горива.

Таблица 8.3. Сравнителен риск от производството на електричество според горивния цикъл

Брой смъртни случаи и заболявания на гигаватгодина – включвайки целия горивен цикъл и *изключвайки сериозните аварии*

	Рискове по месторабота		Рискове за широката общественост	
	фатални	нефатални	фатални	нефатални
Въглища	0,2-4,3	63	2,1-7,0	2018
Петрол	0,2-1,4	30	2,0-6,1	2000
Газ	0,1-1,0	15	0,2-0,4	15
Ядрена енергия (LWR*)	0,1-0,9	15	,006-0,2	16

* LWR = Light Water Reactor, the generic term for reactors using ordinary water for cooling, like PWRs.

Източник: Nordhaus, W., *The Swedish Nuclear Dilemma: Energy and the Environment, Resources for the Future, 1997 (Ref. 52).*

Най-шокиращото разкритие е изключително големият брой косвени наранявания на хора и смъртни случаи, свързани с въглищата и петрола, в сравнение с ядрената енергия. Газът също заема предна позиция при тези сравнения. Цифрите отразяват значителното въздействие, което оказват върху общественото здраве (например по отношение на дихателните заболявания) киселинните и други емисии от горенето на въглищата и петрола и по-малкото въздействие на газа. Що се отнася до професионалните рискове, струва си да бъде напомнено, че някои професионални заболявания и смъртни случаи от ядрената енергия, описани от проф. Нордхаус, са свързани с урановите мини, които трябва да бъдат поставени наред със смъртните случаи и нараняванията при дейностите по добив на въглища, газ и петрол.

Анализът на Нордхаус обаче, изключва тежките инциденти, които, ако се вземе предвид дори само Чернобил, може да се приеме, че подкопават достоверността му. За нещастие съществува спор по повод окончателния брой на смъртните случаи от тази катастрофа. Тридесет и един души умират непосредствено или много скоро след инцидента, но първоначалните преценки предполагат, че вероятно са настъпили до 40 000 ненавременни (т.е. преждевременни) смъртни случая през следващите години (Медведев, 1990). Със сигурност впоследствие са били изнесени доклади за сериозни увреждания на здравето и продължаващи смъртни случаи, приписвани на катастрофата – например измежду близо 200-те хиляди души, действащи като „ликвидатори“, които са били наети или са изпълнявали заповеди да събират и заравят радиоактивните материали, разпръснати при взрива. Проучването на Международната агенция за ядрена енергия, Световната здравна организация и Европейската комисия, представено на десетата годишнина от катастрофата, изразява предположения, че тези работници ще продължават да страдат и да понесат тежестта на 2500 вида ракови заболявания в резултат на работата им по почистването. Освен това в проучването се прави предположение, че жителите на общините в съседство също се очаква да страдат от повишена заболеваемост от ракови заболявания в резултат на излагането на разпръснатия се облак с радиоактивни частици от катастрофата (Международна агенция за ядрена енергия, Световна здравна организация и Европейска комисия, 1996).

Някои по-съвременни разработки обаче, представят по-ниски резултати. Например проучване на Научния комитет към ООН за резултатите от ядрена радиация, публикувано през 2000 г., в заключение обобщава, че освен първоначалните смъртни случаи и 1800-те случая на рак на щитовидната жлеза при деца, повечето от които се разглеждат като потенциално лечими, няма „*никакво доказателство за голямо въздействие върху общественото здраве*“. (Научен комитет за въздействието на ядрената радиация, 2000). Бяха изразени предположения в последващ доклад на ООН, че някои от заболяванията се появяват в резултат на стреса от прекалено агресивната евакуация и насилственото преселване, а някои дори могат да се припишат на психо-соматични причини (ПРООН/ВНИЦЕФ, 2002). Очевидно има място за несъгласие с тези оценки. Какво е положението с възобновяемите енергийни източници? Със сигурност тук има по-малко място за дебати. Проучване за фаталните случаи, свързани с производството на възобновяема енергия, направено от Урановия информационен център, изнася данни за инцидентите (като разрушаване на язовири), свързани с големи водни централи, които възлизат на 4000 непосредствени смъртни случая по света за периода 1970 – 1992 г. (Уранов информационен център, 2000).

Като вземем предвид, че общото количество на електричеството, произведено от водните и ядрените електроцентрали по света е горе-долу еднакво, вероятно би било уместно да сравним данните с инцидентите при водните централи със смъртните случаи, свързани с аварията в Чернобил. В допълнение към тези числа за големи инциденти в ядрени и водни централи обаче, трябва да отбележим, че обичайната експлоатация при цикъла за производство на ядрена енергия ще доведе до свързаните с това производство смъртни случаи и наранявания, отразени в данните на Нордхаус по-горе, които не биха се случили при експлоатацията на водните електроцентрали.

По-трудно се правят сравнения с вятърната енергия, тъй като тя е една относително нова технология. Досега, от началото на 2002 г., при инсталирани мощности от близо 23 GW (в сравнение с близо 350 GW ядрени мощности) са отчетени около 21 смъртни случая на оператори, свързани с вятърните турбини по света, повечето от които

се дължат на падания и наранявания с перките, и никакви косвени наранявания, причинени на обществото (Гипе, 2001).

Видно е, че за всички случаи – освен най-ясните и недвусмислени, при сравняването на рисковете има множество статистически и концептуални проблеми, като около тълкуването на данните винаги настъпват разногласия. Това, което първоначално може да изглежда просто, даже страховито упражнение за преброяване на труповете, се оказва доста по-сложна и заредена с конфликти дейност. Следователно все още сме далеч от надежден подход за извършването на сравнение на въздействието, оказвано от различните алтернативни енергийни източници.

ВЪГЛЕРОДНО ОТЧИТАНЕ И ЕНЕРГИЕН АНАЛИЗ

Вместо да се опитваме да определяме стойността на въздействието или да измерваме рисковете за здравето, друг все по-популярен подход в опитите да отразим значението за околната среда на енергийните технологии, е да се използват произведените в резултат от тях въглеродни емисии. Ако не друго, това може да помогне да се намали степента на субективност при изготвянето на сравнения между различните енергийни алтернативи. На практика по този начин се прави стъпка назад от анализа на EXTERNE.

Със сигурност въглеродните емисии са централен фактор за изменението на климата и може да се твърди, че те могат да бъдат причина за повечето други видове въздействие. В едно по-ранно проучване бе изчислено, че емисиите от целия цикъл на горене на централите, работещи с въглища, са 1058 t въглероден диоксид за гигаватчас. За сравнение емисиите са 824 t за централите с комбиниран паро-газов цикъл, 8,6 t – за ядрените централи, 7,4 t – за вятърните, и 6,6 t – за водните централи (Меридиан, 1998). По-съвременното проучване на жизнения цикъл на Hydro Quebec, публикувано през 2000 г., обхваща всички емисии на парникови газове и ги превръща в стойности, еквивалентни на въглеродния диоксид. То изчислява емисиите в размер на 974 t на гигаватчас за централите, работещи с въглища, и 511 t на гигаватчас за централите с комбиниран паро-газов цикъл в сравнение с 15 t

на гигаватчас общо за ядрените и водните централи и 9 t за гигаватчас за вятърните централи (Хидро Квебек, 2000).

Проучване на емисиите от парникови газове, направено от Международната агенция за ядрена енергия през 2000 г., обобщава обхвата на емисиите, както следва: газови централи – 439-688 грама еквивалент на въглероден диоксид на киловатчас, централите на въглища – 966-1306 грама на киловатчас; ядрените централи – 9-21 грама на киловатчас, и вятърните централи – 10-49 грама на киловатчас (Международна агенция за ядрена енергия, 2000).

За да бъде по-изчерпателно, въглеродното отчитане трябва да включва не само емисиите по време на работа, но и емисиите, свързани с използването на енергията при строителството на централата, материалите за строителството, както и енергията за бракуването на централата и (където е приложимо) депонирането на отпадъците. Пълният енергиен анализ на „жизнения цикъл“ от този вид придобива все по-голяма важност за всички продукти и системи като част от екологичната им оценка. В случая с електроцентралите резултатите могат да бъдат показателни. Например проучването на Hydro Quebec, споменато по-горе, изказва предположение, че цялостното съотношение между входящата и изходящата енергия за ядрените централи е само 16, за разлика от 39 за вятърните централи. Числото за централите на твърдо гориво е 11, газ/комбиниран цикъл – 14, докато за водните централи е посочено 205, вероятно поради дългия жизнен цикъл и голямата производителност на централата. Фотоволтаичните слънчеви плантации и плантациите с биомаса са с най-лошото съотношение, съответно 9 и 5, отразявайки големите енергийни дългове, натрупани при производството на фотоволтаичните клетки и използваната механична енергия за обирание на реколтата и транспортирането на енергийните култури (Хидро Квебек, 2000).

Въглеродното отчитане става все по-популярно в резултат на различните предложения за разрешителни за въглеродни емисии и споразуменията за търгуване с въглеродни емисии, които започнаха от срещата в Киото по повод изменението на климата (Киото, 1997). Макар сравненията между емисиите на парникови газове и въглерод да са

полезни и да имат важно значение за изменение на климата, съществуват и други въздействия, като киселинните и радиоактивните емисии, които трябва да бъдат разгледани, за да се получи цялостна оценка на въздействието на енергийните алтернативи върху околната среда. Следователно съществува опасност стремежът да се оптимизират ниските емисии на въглерод на практика да се окаже по-маловажен за околната среда като цяло. Разбира се, логично може да се твърди, че изменението на климата е толкова важно, че всички други въпроси остават на заден план. Но дори да е така, от гледна точка на оценката на различните варианти за ниски въглеродни емисии останалите видове въздействия остават значителни. Такъв е случаят например с радиоактивното замърсяване от цикъла на ядреното гориво. За нещастие това връща анализа към проблемите с оценката на влиянието върху здравето, които вече бяха разгледани, и към дебатите за влиянието на ниските нива на радиация.

За разлика от изложеното дотук изглежда по отношение на възобновяемите енергийни източници има по-големи възможности за ясен анализ. Със сигурност повечето от тези източници са с ниски емисии на въглерод, така че резултатите за местните екосистеми (т.е. във връзка с унищожаването на дивия живот, биоразнообразието и в случая на водните потоци – ерозията) биха били по-добри, ако се направи избор измежду тях. За възобновяемите енергийни източници е разработен и параметричен подход за изготвяне на сравнения за прякото въздействие въз основа на степента на нарушаване на естествен енергиен поток на локално равнище (Кларк, 1994). При това измерване фотоволтаичните устройства оказват много малко въздействие, а в другия край на скалата – с голямо въздействие са водните язовири и загражденията за приливите и отливите. Отчасти това се дължи на факта, че загражденията за приливите и отливите се опитват да извлекат голяма част от силно концентрираните природни енергийни потоци, докато слънчевите устройства прихващат само малка част от дифузияния поток. Устройствата за улавяне на енергията на морските вълни и на вятъра попадат между тези две крайности както по отношение на извлечената енергия, така и по отношение на размера на влиянието. Устройства за енергията от морските вълни се опитват да извлекат доста големи количества от силно

наситения поток енергия и може да имат умерено въздействие, но устройствата за енергията на вятъра извличат само малка част от енергийния поток с ниска плътност и оказват малко въздействие. Въз основа на настоящия анализ основният въпрос е да се разгледа естественото движение на енергийните потоци в локалната екосистема и след това да се направи оценка колко от тази енергия може да бъде извлечена, без ненужно да се нарушават основни природни процеси.

Водните централи имат особен проблем, а именно, че в някои местоположения (например в страни с по-топъл климат) анаеробното разлагане на биомасата, постоянно носена от водния поток и улавяна от язовирната стена, може да образува газ метан в такива количества, че електроцентраля, работеща на въглища със същия капацитет, би произвела по-малко парникови газове (Световна комисия по язовирите, 2001). Това, което се наблюдава, е резултат от нарушаването на естествения енергиен поток, който преди е осигурявал непрекъснатото размесване на водата, така че анаеробните процеси са били сведени до минимум.

Относително лесно е да се види как този подход на функционален анализ на енергийния поток може да се приложи към „поточните“ възобновяеми енергийни източници като енергията на вятъра, водата и морските вълни, но той може да се приложи и към тези, които притежават възобновяеми енергийни източници „на склад“ като биомасата. Въпросът следователно се трансформира от каква е енергийната в каква е екологичната стойност на използваните материали. Въпреки че може да отдели неутрални въглеродни емисии, ако скоростта на изгаряне се балансира със скоростта на засаждане, употребата на биомасата има двустранно потенциално въздействие, предизвикано както от произведените емисии при горенето ѝ, така и поради това, че горенето унищожават ценен органичен материал. Тези проблеми са същите и при изгарянето на твърди битови и общински отпадъци. В действителност поради наличието на пластмаси в отпадъците проблемът с токсичните емисии може да бъде и по-голям (Кларк и Елиът, 2002).

Настоящият функционален анализ може да се приложи и за традиционните горива, макар и на

по-общо ниво. Например може да се твърди, че когато енергията от изкопаемите и ядрените горива е складирана безопасно под земята, тя не оказва въздействие върху околната среда, но след като бъде освободена под формата на топлина, продукти за горене и/или радионуклиди, пътят ѝ през екосистемата води със себе си и рискове за околната среда.

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЗЕМЯТА

Друг конкретен начин да се оцени същността на енергийните системи на количествена база е да се сравни употребата на земята при тях. Тъй като съществуват конкурентни начини за използване на земята, в т.ч. за производството на храни, но и за жилища, промишленост и отдих, този критерий става все по-важен. След като повечето от потоците на възобновяемите енергийни източници се разсейват, технологиите на улавяне вероятно ще заемат по-голямо място в сравнение с конвенционалните енергийни технологии.

Енергийните култури (например бързорастящите фиданки върба) са възобновяемите енергийни източници, които използват най-често земя. В зависимост от местоположението горичките с фиданки могат да заемат до 20 пъти повече земя на площ на киловатчас енергия, отколкото биха заели фермите за вятърна енергия, а това може да е от значение при избора на енергиен източник, ако е налице недостиг на земни площи. Макар че все още са доста скъпи, фотоволтаичните слънчеви системи (върху покривите, така че в действителност те не заемат реални земни площи) също могат да доставят повече енергия за хектар, отколкото енергийните култури, което не е учудващо, когато ефективността на преобразуване на енергия от фотоволтаичните системи (достигаща до 15 %) се сравнява с ефективността на фотосинтезата (по-малка от 1 %). Според обзора на Hydro Quebec, споменат по-рано, фотоволтаичните системи са по-добри и от вятъра, с фактор от почти 2 пъти при съотношението енергия на хектар (Хидро Квебек, 2000). Въпреки че енергийните култури могат да се складираат, което им осигурява предимство пред непостоянните източници като вятъра и слънчевата енергия, те са насипно гориво, което обикновено трябва да се транспортира до централите за изгаряне, а

това също оказва влияние върху местната пътна инфраструктура.

Водните централи също предполагат използване на земя (тъй като се наводняват площи, за да се изградят язовирите), проблем, който не се отнася за загражденията на приливите и отливите. Последните обаче могат да окажат значително въздействие върху местната, а дори и върху регионалната екосистема, така че да се появят изменения на терена, въпреки че някои видове въздействие може на практика да са положителни. Устройствата за енергията от отдалечените от брега ветрове, морските вълни и потока на приливите и отливите не предполагат използване на земята, макар че ако са разположени в близост до брега, може да се появят проблеми с визуалното им натрапване (Кларк, 1995).

Въпреки че визуалното въздействие на вариантите, разположени далеч от брега, вероятно е доста малко, някои намират вятърните ферми на брега за грозни и натрапващи се, а енергийните култури са непопулярни, ако заемат големи площи. Това обаче са чисто човешки преценки, свързани с възприятието и естетиката, които е възможно да доведат до други опасения (например убеждението, че цените на жилищните имоти ще се понижат).

По този начин анализът се връща към субективните опасения, свързани с възприятието и дебатите за ценностите, и в крайна сметка до личните и политическите приоритети. Би могло да се твърди, че ако хората искат повече енергия, трябва да са готови да приемат някаква форма на натрапничество, както и че вятърните ферми например са едни от най-добрите екологични варианти (освен икономическата им привлекателност). Този довод обаче, може да не бъде приет от тези, които разглеждат всеки пробив в ценностните им убеждения като пагубен и чиято политика за устойчива енергия е „навсякъде другаде, но не и тук“. Въпреки всичко очевидно съществува проблем с естетиката, който трябва да се вземе предвид, както и необходимостта от внимателно определяне на местоположението и допитване до обществеността (Паскалети, Гипе и Райтер, 2000).

Съпротивата срещу вятърните проекти е доста силна, особено в някои части на Великобритания. Въпреки това мащабът на тази съпротива трябва

да се разглежда в перспектива. Редовните проучвания на общественото мнение показват безрезервна подкрепа за вятърната енергия по принцип, като обикновено 70-80 % са благоразположени към нея. В действителност последното проучване, проведено от Кралското дружество за защита на птиците (2001), показва, че само 3 % от запитаните са били против изграждането на вятърни ферми на сушата. Но кампаниите на местните опоненти се оказаха доста ефективни при забавянето на програмата за развитие на вятърната енергия. През последните години близо 70 % от проектните предложения бяха отхвърлени. За сравнение интересен е фактът, че в Дания, където около 80 % от вятърните проекти са собственост на местни лица, при някои проекти на местни кооперации нивото на съпротивата е доста по-ниско. По подобен начин и в Германия повечето проекти са собственост на местни лица и както беше отбелязано по-рано, Германия е инсталирала почти 9000 MW мощности за разлика на мощностите в Обединеното кралство – малко над 500 MW, където засега има само една вятърна кооперация. Очевидно икономическото участие на местните общности в проектите променя отношението (Елиът и Токи, 2000).

Някои противници на вятърните проекти са искрено загрижени за опазването на природата, а някои от тях вярват, че има и по-добри варианти, в т.ч. пестене на енергия или производство на вятърна енергия навътре в морето. Но ако размерът на проблема с изменението на климата е наистина толкова голям, колкото според някои предвиждания, и ако има желание за избягване на рисковете от ядрената енергия, ще се появи необходимост от разработване на възобновяемите енергийни източници, както и от разумни икономии на енергия. Може да се окаже, както вече беше споменато, че съхранението на въглерод също може да помогне, като се складира част от емисиите, произведени от продължаващата употреба на изкопаеми горива. Въпреки това сред новите технологии за добиване на енергия в по-дългосрочен аспект възобновяемите енергийни източници изглеждат най-обещаващата алтернатива.

ИЗБОР ЗА БЪДЕЩЕ С УСТОЙЧИВА ЕНЕРГИЯ

Всички технологии оказват някакво въздействие и това предполага, че се налага да се напра-

ви избор. В настоящия обзор беше показано, че енергийните технологии могат да се класифицират въз основа на емисиите на въглероден диоксид, които някои разглеждат не само като екологичен проблем от съществено значение, но и като предпоставка за друг вид въздействие върху околната среда. При това сравнение ядрената енергия и енергията от възобновяемите енергийни източници дават добри резултати. Този вид сравнение обаче не отчита евентуалните големи аварии и свързаните с тях рискове за здравето. Трудно е да се разбере как много от възобновяемите енергийни източници освен големите водни централи биха могли да изложат обществото на такъв риск и в такива размери, както ядрените електроцентрали. Въпреки това ядрените централи не произвеждат въглероден диоксид, затова се запазва известен интерес към този вариант, макар че все още предстои да бъде решен проблемът какво да се прави с получените радиоактивни отпадъци. Със сигурност повечето еколози са на мнение и твърдят, че би било глупаво да се решава един проблем (изменението на климата), като се създава друг (радиоактивно замърсяване).

Депонирането на въглерод може да предложи начин за съхраняване на емисиите за известно време, но складирането му под земята може да не се окаже надежден вариант в дългосрочна перспектива. Въпреки че може да се постигне много с по-ефективното използване на енергията, все пак се налага да се произвежда електроенергия, а с оглед на оказваното въздействие възобновяемите енергийни източници изглеждат са най-добрият вариант за бъдещето.

Обзорният доклад за енергетиката на Правителствената служба на Обединеното кралство стига до заключение, че *„непосредствените приоритети трябва да бъдат насочени към енергийната ефективност и насърчаването на възобновяеми енергийни източници“*, макар да добавя, че вариантите за чистото депониране на въглища/въглерод и за ядрената енергия трябва да останат отворени, в случай че възобновяемите енергийни източници или енергийната ефективност не дадат очакваните резултати. Подобна политика се подкрепя и от *Световната енергийна оценка*, извършена от Програмата за развитие на ООН, Отдела по икономика и социални дела на ООН и Световния енергиен съвет. В нея се посочва,

че „ако в близко бъдеще усилията за новаторство в енергетиката бъдат насочени към повишаване на енергийната ефективност, възобновяеми енергийни източници и енергия от полезни изкопаеми без въглеродни емисии, към 2020 г. или преди това световната общност ще бъде по-наясно от сега, дали ще се нуждае от ядрена енергия в големи размери, за да постигне поставените цели за устойчива енергия” (Световен енергиен съвет към ООН, 2000).

Да предположим, че се приеме този подход. Тогава на дневен ред излизат редица стратегически въпроси за това, как по най-добър начин да се разработят възобновяемите енергийни източници, кои варианти да се разработят и в какви размери. Повечето възобновяеми енергийни източници са с относително малки размери в сравнение с предходните технологии като ядрените или топлоцентралите с мощности от 1,2 GW. Въпреки това в резултат на треската за газ тенденцията е насочена към по-малки мултимегаватови централи, а в момента някои централи за възобновяеми енергийни източници работят на такова равнище. Например капацитетът за производство на вятърните ферми обикновено е около 10-20 MW, а централата на ARBRE за биомаса разполага с 10 MW мощност. Някои видове възобновяеми енергийни източници функционират по-добре в по-малки мащаби, почти на ниво къща или сграда, най-вече инсталираните по покривите фотоволтаични слънчеви и слънчевотоплинни колектори.

По този начин може да се стигне до изместване към по-децентрализирана и разпръсната енергийна система, използваща местни малки генератори с „микромощности” както в развиващите се страни, така и във вече развитите. В последните известно количество енергия ще продължава да се произвежда в средни до големи електроцентрали, отдалечени от потребителите (в т.ч. централите за енергия от вятъра, морските вълни и приливите и отливите), но част от енергията ще се произвежда директно от потребителите, които е възможно да захванват с излишната си енергия и част от местните регионални енергоразпределителни мрежи. По този начин националната енергийна мрежа би могла да се превърне в двупосочна мрежова система, балансирайки местното производство на електроенергия и местното търсене на енергия в страната. Така

с пускането на енергийни мощности в местните мрежи и задоволяването на местни нужди с помощта на местни източници биха могли да се намалят разходите по преноса на дълги разстояния. Освен това свързването на местни източници по този начин може да помогне да се реши проблемът, породен от непостоянния характер на някои възобновяеми енергийни източници – мрежата на практика балансира колебанията на местно равнище (Хюит, 2002).

При настоящите стойности на приноса на енергия от възобновяеми енергийни източници към националната мрежа на Обединеното кралство техният непостоянен характер не представлява голям проблем за мрежата. Колебанията трудно се отчитат от операторите на мрежата и са доста по-малки, отколкото при традиционното подаване и колебанията в търсенето. Въпреки това, ако и когато приносът на възобновяемите енергийни източници нарасне до и над 20-30 % от общото търсене на електричество, тези колебания се превръщат в повече от проблем. Електроенергията може да се съхранява в акумулатори, маховици, като сгъстен въздух, или чрез изпомпване на водни резерви, както е в Диноруик, но за момента съхраняването на електроенергията излиза скъпо. Би могъл да се използва междинният вариант, а именно евтини малки и бързо задействащи се газови турбини или евентуално захранвани от биомаса или биогаз турбини като резервен/поддържащ вариант.

Въпреки това, ако и когато се премине към употреба на водорода като нов вид гориво, това би осигурило солидна среда за складиране на енергия от непостоянните възобновяеми енергийни източници, като водородът ще се произвежда чрез електролиза на водата. Стига да се спазват основните процедури за безопасност, водородът има доста привлекателни характеристики като нов енергиен вектор. Освен това благодарение на свойството му да се съхранява той може да се транспортира по газопреносната мрежа, вероятно смесен с остатъчния метан при ниски разходи за пренос и ниски енергийни загуби. Той може да се изгаря директно като гориво за отопление или транспорт или за производство на електричество в електроцентрали, или да се използва за задвижване на горивни клетки, за къщи или транспортни средства. По този начин водородът може да се превърне в ключ към

бъдещето на устойчивата енергия, който да е свързващото звено между редица технологии за възобновяеми енергийни източници.

Основната привлекателна сила на възобновяемите енергийни източници е, че имат много варианти в различни размери. По този начин рискът от неуспех се разпределя между редица различни области. Повечето централи могат да се монтират бързо въз основа на гъвкава, модулна база и могат лесно да бъдат деинсталирани или премахнати, ако се наложи, с минимални щети върху околната среда и без никакви отпадъци.

Разбира се, може да има някои нови разработки, които в даден момент в бъдещето да променят тези оценки. Например имаше известен интерес към разработването на по-малки ядрени централи като модулния реактор Pebble Bed с мощност от 110 MW, разработен в Южна Африка с подкрепата на BNFL и от основната фирма доставчик от САЩ Exelon. Твърди се, че този модулен реактор може да се инсталира бързо и да работи с натоварване, което го прави подходящ за употреба в развиващите се страни. Въпреки това ще мине известно време, преди тази технология да се докаже. Тъй като ядрената енергия е приета, или в случая на САЩ повторно приета, изглежда по-вероятно да се използват актуализираните версии на традиционните по размери реактори като Westinghouse AP 1000 с мощност 1000 MW.

Очевидно комбинацията от използвани енергийни варианти ще зависи от местния контекст и местните ресурси. Например за Обединеното кралство Обзорният доклад за енергетиката на правителствената служба предлага до 2020 г. 20 % от електричеството в страната да се добива от възобновяеми енергийни източници, като ветровете на сушата и биомасата поемат основната тежест, евентуално следвани от фото-волтаичните слънчеви и морските източници на възобновяема енергия (турбини за производство на енергия от морските ветрове, морските вълни и приливите и отливите). Това е съвсем логично за една морска държава, която разполага с ограничена земна площ, но с изключителни енергийни ресурси в близост до бреговете и голям опит в тази насока.

За разлика от него държави като Китай притежават много големи възобновяеми енергийни източ-

ници, разположени на сушата, така че може да се очаква различен модел на поведение. Предвид броя на населението и бързо растящата икономика на Китай той вероятно ще се превърне в централна страна по отношение на енергийните модели в развиващия се в индустриално отношение свят. Наземните възобновяеми енергийни източници на Китай, ако се абстрахираме от големите традиционни хидросъоръжения, се равняват на над 400 GW, което е повече от капацитета на инсталираните към момента традиционни съоръжения за производство на електричество. Новите варианти за възобновяеми енергийни източници включват над 90 GW от малки хидромощности, около 250 GW от вятърна енергия, приблизително 125 GW от биомаса, около 6,7 GW от геотермална енергия и изобилие от слънчево лъчение. Към момента приносят от новите варианти за възобновяеми енергийни източници е близо 19 GW, като повечето от тях се произвеждат от малки водни централи, които произвеждат приблизително 5 % от общото електричество. Големите водни централи доставят около 18 %. В бъдеще вятърната енергия изглежда ще постигне най-голям ръст в Китай. Според настоящите планове се очаква мощностите, произведени от вятърна енергия, да нараснат от 500 MW, както е понастоящем, до 3 GW до 2005 г. и до 5 GW до 2010 г. Малките водни централи се очаква да повишат производството си до 22 GW към 2005 г. и до 25 GW към 2010 г. Към 2005 г. общият капацитет на възобновяеми енергийни източници би могъл да достигне около 26 GW, като се повиши до над 30 GW към 2010 г. (Хонгпенг, 2000).

Въпреки че програмата на Китай за икономическа модернизация и рационализация подобри ефективността на енергийните и промишлените системи, търсенето на енергия се увеличава с бързи темпове. Понастоящем по-голямата част от енергията на Китай се произвежда от въглища, от които страната разполага с големи резерви. Въпреки това изгарянето на въглища вече създава големи проблеми с качеството на въздуха, както и здравословни проблеми, които се дължат и на емисиите от въглероден диоксид. Макар, както беше отбелязано, да са налице много големи възможности за развитие на възобновяеми енергийни източници и програма за тяхното разрастване, Китай проявява интерес и към разширяване на ядрената си енергетика. Дали има

възможност и ще разшири ли мощностите си, остава неясно.

Както изглежда, докато по-голямата част от Европа е направила своя избор и напредва усилено с възобновяемите енергийни източници, а не с ядрените, Китай, както и много други бързоразвиващи се в индустриално отношение страни по света, изглежда се намира на кръстопът в енергетиката и не са взели окончателно решение кой тип енергия да развият приоритетно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Макар да е очевидно, че трябва да се направи избор между редица алтернативи, както и да се преодолеят много трудни технически и икономически проблеми, въпреки всичко е налице единодушие относно тезата, изразена от Световния енергиен съвет в доклада му *Оценка на световната енергия*, публикуван през 2000 г., която гласи: „не съществуват никакви фундаментални, технологични, икономически или ресурсни ограничения, които да попречат на света да се наслаждава едновременно на ползите от високоенергийни услуги и по-добра околна среда”, макар впоследствие да добавя малко по-предпазливо: „Един проспериращ, справедлив и стабилен в екологично отношение свят е в рамките на възможностите ни, но само при условие че правителствата приемат нова политика за насърчване на предоставянето на енергийните услуги по един по-чист и по-ефективен начин.”

Заплахата от промяна на климата подтикна повечето световни лидери да поемат ангажименти за намаляване на емисиите в болшинството индустриални страни. САЩ се разграничават от тази политика в подкрепа на Протокола от Киото, който призовава за намаляване емисиите на парникови газове с около 5 % спрямо равнищата през 1990 г. – цел, която трябва да бъде постигната през периода 2008 – 2012 г. В тези рамки някои държави си поставят за цел и по-големи намаления. Великобритания например доброволно избра до 2010 г. да намали емисиите на въглероден диоксид с 20 %. Неясното в този случай обаче е дали тези цели могат да бъдат постигнати, какви по-нататъшни намаления може да се наблюдават или да се осъществят в бъдеще, както и каква роля ще играят различните енергийни алтернативи, разгледани в настоящата статия.

Както видяхме, правителството на Великобритания обмисля до 2020 г. да добива 20 % от електрическата енергия на страната от възобновяеми енергийни източници. Вероятно по-голямата част от останалите европейски страни могат да постигнат и повече от това. Директивата на ЕС за възобновяемите енергийни източници навежда на мисълта, че до 2010 г. някои страни могат да постигнат 20 и повече процента, без да се отчитат големите хидрообекти. Интересен е фактът, че Шотландия вече обмисля да си постави за цел до 2020 г. да постигне 30 %, като се предполага, че Обединеното кралство като цяло също може да постигне тази цел (Екинс, 2001).

Природният газ ще остане преобладаващото гориво за производство на електроенергия известно време, но е много вероятно да се наблюдава спад на ядрената енергия, поне в Европа. Това естествено може да създаде временни проблеми по отношение на въглеродните емисии, ако енергията от възобновяеми енергийни източници не успее да се разрасне достатъчно, за да постигне подобаващ ефект. Въпреки това съществуват и някои временни решения. Например, както вече беше отбелязано, в Обединеното кралство през следващите две десетилетия около 9 GW от старите ядрени електроцентрали трябва да бъдат спрени от експлоатация. Страната планира до 2010 г. да бъдат инсталирани когенерационни мощности за производството на 10 GW наред с редицата други, планирани в бъдеще. Широко разпространение на газови когенерационни централи ще осигури топлоенергия (която иначе не би била достъпна за употреба), която ще отделя газ, понастоящем предназначен за отопление, който да се използва за производството на електричество. Това на практика ще замени производството на ядрените електроцентрали, след като бъдат спрени от експлоатация, без да доведе до повишение на въглеродните емисии, като ще остави възобновяемите енергийни източници да започнат да заменят изгарянето на твърдо гориво и да осигуряват електричество, водород и биогорива за нуждите на транспорта. Депонирането на въглерод може да се разглежда като подобен междинен вариант, който осигурява възможност природният газ да замени ядрената енергия, без да се създават допълнителни емисии. Успоредно с това инвестициите в енергийната ефективност и управлението на търсенето би трябвало да забавят темпа на повишаване на търсенето, като

в идеалния вариант спестените средства от консервиране на енергията се използват за финансиране на разрастването на енергията от възобновяеми енергийни източници.

Очевидно бързото разрастване на използването на възобновяемите енергийни източници ще бъде основното технологично предизвикателство,

но освен това на нея може да се гледа като на възможност за икономически и екологични печалби предвид перспективата за един голям международен пазар на технология за добив на енергия от възобновяеми енергийни източници. Може би няма да е съвсем далече от истината, ако се каже, че светът е на прага на „зелена индустриална революция“.

ЛИТЕРАТУРА

- D. Elliott, D., and A. Clarke, Developing Criteria for Sustainable Energy Technology, *International Journal of Global Energy Issues* Vol. 9 No. 4/5, pp. 264-274, Dec 1997.
- World Energy Outlook, International Energy Agency, Paris, 2001.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, Third Assessment Report: WG II “Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability”, Geneva, 2001.
- Sir May, R., Climate Change, UK Government Chief Scientific Adviser, Sept. 1997.
- Royal Commission on Environmental Pollution “Energy – the changing climate”, Twenty-second report, Cmd 4749, London HMSO, June 2000.
- Williams, R. H., A Technological Strategy for making Fossil Fuels Environment and Climate Friendly, *World Energy Council Journal*, July 1998, pp. 59-67.
- UN/World Energy Council “World Energy Assessment: Energy and the challenge of sustainability”, UN Development Programme, UN Department of Economic and Social Affairs and the World Energy Council, 2000.
- Climate Care (the Carbon Storage Trust), quoted in *Green Futures* July/Aug. 2001.
- The role of land carbon sequestration in mitigating global climate change, Royal Society, July 2001.
- House of Commons Select Committee on Trade and Industry, “Security of Energy Supply”, Session 2001-2 Second Report, HMSO, London.
- Watson, J., Evidence to the Government’s Review of Energy Sources for Power Generation on Advanced Fossil-Fuel Technologies for the UK Power Industry 1998, and Financing Cleaner Coal-Fired Power Plants in the UK, SPRU Report No. 20 Dec., Energy Programme of the Science Policy Research Unit at Sussex University, 1998.
- DTI Review into the case for government support for Cleaner Coal Technology Demonstration plant: final report, Department of Trade and Industry, 2002. In PDF from <http://www.dti.gov.uk/cct/cctdemohome.htm>
- Performance and Innovation Unit, Energy Review, Cabinet Offices, HMSO, Feb. 2002.
- Von Weizsacker, E. Lovins, A. H. Lovins, Factor Four, Earthscan, London, 1994.
- Herring, H., Is Energy Efficiency Environmentally friendly, *Energy and Environment*, Vol. 11, No. 3, 2000, pp. 313-325.
- Royal Society/Royal Academy of Engineering “Nuclear Energy: the Future Climate”, London, 1999.
- Grimston, M., and P. Beck, Civil Nuclear Energy: Fuel of the Future or Relic of the past? Royal Institute of International Affairs, London, 2000.
- Elliott, D., The Future of Nuclear Power, in “Energy Systems and Sustainability: Power for a Sustainable Future”, ed. G. Boyle, B. Everett and J. Ramage, OU/Oxford University press, 2003.
- British Energy, submission to the PIU Energy Review *ibid* ref. 13.
- British Market Research Bureau, Public Opinion Survey for the Royal Society for the Protection of Birds, 2001.
- Nuclear Information and Resource Service “CDM – a new nuclear subsidy?” Climate Change and the CDM, Briefing note, Washington DC, 2001.
- STOA Possible Toxic Effects from the Nuclear Reprocessing Plants at Sellafield (UK) and Cap de La Hague (France), WISE-Paris report for the European Parliament Scientific and Technological Options Assessment programme, Strasbourg, 2001.
- POST, Mixed Oxide Nuclear Fuel, Briefing paper, Parliamentary Office of Science and Technology, London, 2000.
- Elliott, D., Energy Society and Environment, Routledge, London, 1996. For a useful overview see the Parliamentary Office of Science & Technology’s “Nuclear Fusion Update”, POST Note 120, Nov. 1998, <http://www.parliament.uk/post/home.htm>

- Jackson, T., Renewable Energy: Summary Paper for the Renewable series, *Energy Policy*, Vol. 20, No. 9, 1992, pp. 861-883.
- Shell, The Evolution of the World's Energy System 1860 – 2060, Shell International, London, 1995.
- World Energy Council (1994), New and Renewable Energy Resources: A Guide to the Future, Kogan Page, London and World Energy Council (1995), Energy Our Common World – What will the Future ask of us?, Conclusions and Recommendations, 16th WEC Congress, Tokyo.
- European Union, Directive on Renewable Energy, Indicative Targets, 2002.
- Gross, R., M. Leach, A. Bauen, Progress in Renewable Energy, *Environmental International*, forthcoming 2003.
- Boyle, G. (ed.), Renewable Energy: Power for a Sustainable Future, OU/Oxford University Press, 2003 (First edition 1996).
- Gipe, P., Windpower Comes of Age, Wiley, 1995.
- Redlinger, R. Y., P. D. Andersen, and P. E. Morthorst, Wind Energy in the 21st Century: Economics, Policy, Technology, and the Changing Electricity Industry, Palgrave/UNEP, 2002.
- Gratzel, M., Photoelectrochemical cells, *Nature*, Vol. 414, Nov. 2001, pp. 338-344.
- KPMG, Solar Energy: from Perennial Promise to Competitive Alternative, report for Greenpeace, London, 2000.
- House of Commons Select Committee on Science and Technology, Wave and Tidal Energy, Session 200-2001, Seventh Report, HMSO, April 2001.
- Energy Technology Support Unit New and Renewable Energy: Prospects in the UK for the 21st Century, Supporting analysis for the DTI Energy Review, ETSU R-122, March 1999.
- Government reply to Science and Technology Committee report on Wave and Tidal Energy, *ibid* ref. 35, Nov. 2001 and the subsequent Parliamentary debate on Jan. 10th 2002.
- DEWI, North Sea Offshore Wind- a powerhouse for Europe: technical possibilities and ecological considerations. Produced for Greenpeace International, Amsterdam, Oct. 2000.
- PB Power, Electricity Network Limitations on Large-Scale Deployment of Wind Energy, report for the Energy Technology Support Unit, ETSU W/33/00529/REP 1999, and PB Power West Coast Interconnector Study, Concept paper for ETSU, Feb. 2002.
- Elliott, D., Tidal Power, in Renewable Energy: Power for a Sustainable Future, ed. G. Boyle, OU/Oxford University Press, 2003.
- Johansson, T., H. Kelly, A. Reddy, and R. Williams, Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity, Earthscan, London, 1993.
- Ross, D., Scupperping the waves: how they tried to repel clean energy, *Science and Public Policy*, Vol. 29, No. 1 Feb. 2002, pp. 25-35.
- European Commission, Externalities of Energy, reports on the EXTERNE programme, DG12, L-2920 Luxembourg, 2001.
- Elliott, D., Public Reactions to Wind farms: the dynamics of opinion formation, *Energy and Environment*, Vol. 5 No. 4, pp. 343-362, Dec. 1994.
- Rasmussen, N. The Safety of Nuclear Power Reactors (Light Water Cooled) and Related Facilities, WASH-1250, July 1973; An Assessment of Accident Risks in US. Commercial Nuclear Power Plants, WASH-1400, Aug. 1974, and Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, WASH 400/NUREG 75/014, Washington DC, Oct. 1975.
- Inhaber, H., Risks of Energy Production, Canadian Atomic Energy Control Board, AECB-1119, 1978, and Energy Risk Assessment, Gordon & Breach, New York, 1982.
- Holdren, J. P., Risk of Renewable Energy Sources: a critique of the Inhaber report, University of California report ERG 79-3, 1979.
- Nordhaus, W., The Swedish Nuclear Dilemma: Energy and the Environment, Resources for the Future, Washington DC, 1997.
- Medvedev, Z., The Legacy of Chernobyl, Basil Blackwell, Oxford, 1990.
- International Atomic Energy Agency, the World Health Organization and the European Commission conference "One Decade After Chernobyl", April 1996.
- UNSCEAR Report to the General Assembly by the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, 2000.
- UNDP/UNICEF, The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident, United Nations Development programme/ UN Childrens Fund, 2002.
- Uranium Information Centre, Nuclear Electricity, Sixth edition, Melbourne, August 2000.
- Gipe, P., Wind related deaths data base, *WindStats Newsletter*, Vol. 14 No. 4, Autumn 2001.
- Meridian, Energy System Emissions and Material Requirements, prepared for the Deputy Assistant Secretary for Renewable

- Energy, US Department of Energy, Washington DC, by the Meridian Corporation, 1998.
- Hydro Quebec, Comparing Environmental Impacts of Power Generation Options, Greenhouse gas emissions Fact Sheet, April 200, in PDF from <http://www.hydroquebec.com/environment/>
- International Atomic Energy Agency 2000 as reported on the World Nuclear Associations web site at: <http://www.world-nuclear.com/education/ueg.htm>
- Hydro Quebec, Energy pay back Fact Sheet, *ibid* ref. 56.
- UN Framework Convention on Climate Change, Kyoto Protocol, agreed at the third Conference of Parties held in Kyoto Japan, Dec. 1997.
- Clarke, A., Comparing the Impacts of Renewables, *International Journal of Ambient Energy*, Vol. 15, No. 2 pp. 59-72, April 1994.
- World Commission on Dams "Dams and Development: A New Framework for Decision-making", London, 2001.
- Clarke, A., and D. Elliott, An Assessment of Biomass as an energy sources: the case of energy from waste, *Energy and Environment* Vol. 13, No. 1, 2002, pp. 27-55.
- Elliott, D., Land use and Environmental Productivity, *Renew*, Sept.-Oct. 2001, p. 22.
- Hydro Quebec's, Land use, Fact Sheet, *ibid* ref. 56.
- Clarke, A., Environmental Impacts of renewable Energy: a literature review, OU Technology Policy Group report, May 1995.
- Pasqualetti, M., P. Gipe, and R. Richter (eds), *Wind Power in View: Energy Landscapes in a Crowded World*, Academic Press/Elsevier, London 2000.
- Elliott, D., and D. Toke, A Fresh Start for windpower? *International Journal of Ambient Energy*, Vol. 21, No. 2, 2000, pp. 67-76.
- Hewitt, C., *Power to the People*, the Institute for Public Policy Research, London, 2002.
- Hongpeng, L., Renewable Energy Development Strategy and Market Potential in China, World Renewable Energy Congress, VI Congress Papers, Pergamon Press, 2000 pp. 90-96.
- Ekins, P., *The UK's Transition to A Low Carbon Economy*, Forum for the Future, 2001.