

ДОЛГОСРОЧНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЗДОРОВЬЕ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

АРИ РАБЛЬ И МОНА ДРЕЙСЕР

Процесс производства электричества во всех энергосистемах включает факторы, которые оказывают определенное воздействие на здоровье и среду, окружающую людей, как живущих ныне, так и будущих поколений. Наши современные знания свидетельствуют о том, что некоторые виды воздействий очевидно проявятся в отдаленном будущем и их следует учитывать при оценке энергетических вариантов.

Однако вероятные воздействия на будущие поколения трудно поддаются оценке из-за большой отдаленности во времени, и поэтому они не всегда принимаются во внимание, хотя делать это необходимо. Даже при наличии ограниченной информации следует анализировать потенциальные опасности, в особенности потому, что будущие поколения не могут участвовать в принятии решений, которые, возможно, окажут влияние на их жизнь. В настоящее время считаются важными для рассмотрения в интересах будущих поколений следующие факторы воздействия: долгоживущие радионуклиды, глобальное потепление, тяжелые ядерные аварии, удаление отходов, использование земли и истощение ресурсов.

В целях обсуждения будущих воздействий представляется целесообразным определить несколько временных масштабов. Четкого разграничения во времени между нынешним поколением, принимающим решения, и будущими поколениями не существует, а поэтому принимается в расчет временной отрезок в 50 лет. Воздействие одного из наиболее важных долгосрочных факторов — глобального потепления — растянется, по всей видимости, на сотни лет. Воздействия других, и в первую очередь долгоживущих радионукли-



дов, могут растянуться на тысячи и даже миллионы лет. Поскольку неопределенность количественных оценок намного возрастает по мере удаления в глубь времен, их результаты должны представляться отдельно для разных временных периодов. Естественный горизонт для ближайшего будущего может быть установлен глобальным потеплением. Несмотря на отсутствие четко установленной шкалы времени, рубеж в 100 или 200 лет считается подходящим.

ЧТО СОБОЙ ПРЕДСТАВЛЯЮТ ВАЖНЕЙШИЕ ФАКТОРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ?

Глобально рассеянные радионуклиды. Среди радионуклидов, выбрасываемых в процессе производства ядерной энергии, два радионуклида — йод-129 и углерод-14 — обычно рассеиваются в глобальном масштабе. Они обладают достаточно длительными периодами полураспада, и поэтому их важно учесть в оценке будущих воздействий. Период полураспада йода-129

равняется примерно 16 млн. лет; он легко инкорпорируется в глобальный цикл устойчивого йода. Период полураспада углерода-14 составляет 5710 лет; он смешивается с глобальным углеродным циклом.

Воздействие радионуклидов на поколения в отдаленном будущем обусловлено главным образом возможным ростом раковых заболеваний с летальным исходом и генетическими последствиями из-за повышения уровня малоинтенсивного облучения. В то время как вероятность облучения и вредных последствий для отдельного лица является исключительно малой, вероятность коллективного облучения больших групп населения в течение целого ряда поколений (хотя бы и микроскопическими индивидуальными дозами) возрастает по совокупности до

Г-н Рабль — научный руководитель в Энергетическом центре при Горной школе, Париж, Франция, и профессор-исследователь по гражданскому строительству в Университете Колорадо, США; г-жа Дрейсер — консультант по экологическим экспертизам в Вашингтоне, США.

Фото: Угольная электростанция в Германии. (Siemens)

ОЦЕНКИ УЩЕРБА ОТ ДОЛГОСРОЧНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

| Вид ущерба | Показатель ущерба | ЕС | США | бывш. СССР | Китай | не члены ОЭСР | члены ОЭСР | Мир в целом |
|----------------------------|--|------|------|------------|-------|---------------|------------|-------------|
| Сельское хозяйство | Снижение благосостояния (% ВВП) | 0,21 | 0,16 | 0,24 | 2,10 | 0,28 | 0,17 | 0,23 |
| Лесное хозяйство | Потерянные лесные площади (км ²) | 52 | 282 | 908 | 121 | 334 | 901 | 1235 |
| Рыбное хозяйство | Сокращение улова (1000 т) | 558 | 452 | 814 | 464 | 4326 | 2503 | 6829 |
| Энергетика | Рост спроса на электричество (ТВт/ч) | 54,2 | 92,0 | 54,6 | 17,1 | 142,7 | 211,2 | 353,9 |
| Водное хозяйство | Сокращение запасов воды (км ³) | 15,3 | 32,7 | 24,7 | 32,2 | 168,5 | 62,2 | 230,7 |
| Защита побережья | Годовые капитальные затраты (млн. долл. США в год) | 133 | 176 | 51 | 24 | 514 | 493 | 1007 |
| Потеря суши | Потерянные площади (1000 км ²) | 1,6 | 10,7 | 23,9 | 0 | 99,5 | 40,4 | 139,9 |
| Потеря болот | Потерянные площади (1000 км ²) | 9,9 | 11,1 | 9,8 | 11,9 | 219,1 | 33,9 | 253,0 |
| Потеря экосистем | Число охраняемых мест обитания, предполагается 2% потерь | 16 | 8 | данных нет | 4 | 53 | 53 | 106 |
| Здоровье/ смертность | Число летальных исходов (1000) | 8,8 | 6,6 | 7,7 | 29,4 | 114,8 | 22,9 | 137,7 |
| Загрязнение атмосферы | | | | | | | | |
| Тропический О ₃ | (1000 т NO _x) | 566 | 1073 | 1548 | 227 | 2602 | 1943 | 4545 |
| SO ₂ | (1000 т серы) | 285 | 422 | 1100 | 258 | 1864 | 873 | 2737 |
| Миграция | Дополнительные иммигранты (тыс.) | 229 | 100 | 153 | 583 | 2279 | 455 | 2734 |
| Ураганы | | | | | | | | |
| Жертвы | Число летальных исходов | 0 | 72 | 44 | 779 | 7687 | 313 | 8000 |
| Ущерб | млн. долл. США | 0 | 115 | 1 | 13 | 124 | 506 | 630 |

Примечание: Убытки оценены с учетом удвоения выбросов двуокиси углерода в отдаленном будущем (потепление на 2,5°C).

Источник: S. Fankhauser, "Valuing Climate Change", the Economics of the Greenhouse, Earthscan, London (1995). Выведено из данных Межправительственной группы по климатическим изменениям (МГКИ).

значительной абсолютной величины. В рамках научного сообщества в области радиационной защиты ведутся интенсивные споры о том, являются ли подобные расчеты вообще обоснованными, поскольку реальный риск может быть нулевым.

Генетические последствия существенно менее значительны, чем риск возможных индуцированных раковых заболеваний; более подробные объяснения содержатся в других исследованиях, таких, например, как проект ExternE Европейской комиссии 1995 г.

Глобальное потепление. Глобальное потепление рассматривается в настоящее время как одно из наиболее важных потенциальных воздействий на окружающую среду, обусловленное образующимся в процессе сжигания ископаемого топлива парниковым газом CO₂. Еще одним парниковым газом, имеющим отношение к энергетическим

системам, является метан (CH₄). Его выбросы происходят в ходе добычи угля или в результате утечек из систем природного газа. Выбросы метана могут также иметь место вследствие наводнений или анаэробной ферментации после строительства гидроэлектрических сооружений. Даже в случае небольшого количества выброшенного метана (скорость утечки в современных системах природного газа ниже 1%) его воздействие может быть значительным, поскольку потенциал метана в глобальном потеплении в 20—50 раз выше по сравнению с CO₂.

Хотя наша способность количественно выразить влияние человека на глобальный климат в настоящее время ограничена по причине естественной изменчивости и неопределенности накопленных данных, Межправительственная группа по климатическим изменениям отмечает, что "на основании имеющихся

свидетельств можно говорить о заметном влиянии человека на глобальный климат". Достигнута почти единодушное согласие в отношении того, что относительное повышение концентраций парниковых газов в атмосфере может потенциально оказать разнообразное и сильное воздействие на климат. Это воздействие будет восприниматься теми же рецепторами человеческого организма и окружающей среды, на которые влияют другие формы загрязнения. Воздействие глобального потепления является крайне неопределенным и проявится в долгосрочной перспективе, а потому оно труднее поддается количественному выражению.

Ущерб, причиняемый изменением климата в течение длительных периодов времени, может быть представлен физическими величинами с использованием набора показателей ущерба (см. таблицу).

Тяжелые аварии. В результате любой тяжелой аварии происходит дополнительное загрязнение окружающей среды. Потенциальное воздействие такого загрязнения на здоровье людей может рассматриваться для отдаленного будущего (обычно до 10 тыс. лет). Дополнительное глобальное облучение будущих поколений вследствие катастрофических аварийных выбросов, как правило, незначительно по сравнению с облучением, получаемым в процессе повседневной деятельности. Это объясняется отчасти более локализованным распределением любых долгоживущих радионуклидов и низкой ожидаемой частотой таких аварий. Серьезного воздействия в отдаленном будущем аварий в неядерных энергетических системах не ожидается. Воздействие разливов нефти, например, как правило, прекращается через несколько десятков лет.

Отходы. Отходы от энергетических систем содержат материалы с широким диапазоном периодов полураспада в окружающей среде. При рассмотрении их воздействия в отдаленном будущем особую обеспокоенность аналитиков вызывают долгоживущие радионуклиды, долгоживущие материалы в безъядерных отходах (стойкие органические вещества) и материалы, остающиеся навсегда (токсичные металлы).

Воздействие производимых в настоящее время отходов в отдаленном будущем следует рассматривать исходя из существующих вариантов технологий в области обращения с отходами. Потенциальное воздействие и издержки, связанные с указанными отходами, зависят от методов их удаления. Двумя ключевыми вопросами, которые будут оказывать значительное влияние на уровень потенциального воздействия захороненных отходов в отдаленном будущем, являются выбор площадки для хранилища и технологии (например, наземное захоронение, инженерные приповерхностные сооружения или геологические хранилища) и управление хранилищами (с мониторингом или без него, с возмож-

ностью извлечения отходов или без нее).

Воздействие хранилища в будущем определяется тем, каким образом оно управляется сегодня и как им будут управлять завтра, поэтому для любой его оценки должен разрабатываться сценарий обращения с отходами. В большинстве прошлых исследований по сравнительным оценкам рисков выбирался вариант неизвлекаемого (или постоянного) захоронения как опасных, так и радиоактивных отходов.

Применение подхода с неизвлекаемым захоронением чревато потенциальным воздействием в отдаленном будущем многих типов отходов, а не только ядерных. Различные расчеты показывают, что будущий ущерб от выбросов из хранилищ с высокоактивными отходами был бы незначителен по сравнению с теми рисками, с которыми люди готовы мириться в повседневной жизни. Но сама возможность подобных выбросов породила сильные страхи в обществе и остается одним из главных доводов со стороны противников ядерной энергии. Потенциальное будущее воздействие неядерных токсичных отходов еще детально не изучено, хотя они могут быть долгоживущими, а их захоронение осуществляется зачастую на поверхности земли.

С учетом потенциального воздействия в отдаленном будущем в качестве альтернативного варианта для всех типов удаления отходов рассматривается их захоронение с возможностью извлечения, тем самым будущие поколения смогут, по своему выбору, усовершенствовать современные методологии обращения с отходами. Тем самым признается тот факт, что будущее поколение, вероятно, разработают более совершенные технологии для решения проблем удаления отходов (например, станет, по всей вероятности, практически осуществимой трансмутация радиоактивных отходов).

Использование земли. Производство электричества и последующее электроснабжение требуют и будут требовать и далее

использования земли, что оказывает влияние на размеры земельных площадей, остающихся для других целей. Можно утверждать, что такие воздействия, вероятно, прекратятся в будущем и процесс пойдет в обратном направлении. Однако некоторый практический опыт, полученный, например, в рамках деятельности Суперфонда США по рекультивации загрязненных земель, показывает, что даже при существующих технологиях не хватает ресурсов и политической воли для решения таких проблем. Воздействие на землю является, по всей вероятности, одним из наиболее спорных и социально значимых аспектов, подлежащих рассмотрению при принятии решений в области энергетической политики. В отдаленном будущем могут иметь место значительные социальные издержки.

Истощение ресурсов. Современные методы производства электричества базируются главным образом на невозобновляемых источниках энергии — ископаемом топливе и уране. Ископаемое топливо, по всей видимости, истощается быстрее, чем уран. Имеющиеся данные позволяют предположить, что выявленные на сегодня запасы нефти и газа окажутся истощенными уже в следующем столетии. По имеющимся расчетам, запасы угля будут истощены через несколько столетий.

Принимая во внимание все вышесказанное, можно предположить целый ряд изменений в секторе производства электричества в будущем:

- колебания в ценах на наличные ресурсы и увеличение использования материалов более низкого качества с возможным ростом их негативного воздействия на окружающую среду;
- рост эффективности производства и использования энергии;
- расширение масштабов использования возобновляемых источников энергии;
- переход к новым технологиям, таким, например, как ядерные реакторы на быстрых нейтронах; и
- переход от нефти к заменителям в качестве сырьевых мате-

риалов для производства пластических масс.

Ввиду того что большинство лиц, принимающих решения, действуют в узких временных рамках, некоторые факторы воздействия и издержки истощения ресурсов в отдаленном будущем, возможно, не будут учтены. Однако данный фактор воздействия легче поддается количественному выражению по сравнению с некоторыми другими, уже рассмотренными.

Применение макроэкономики позволяет осуществлять оценку прогрессирующего истощения ресурсов и смоделировать последствия колебаний цен. Следует иметь в виду, что полученные результаты будут чувствительными к допущениям в отношении будущего технологического прогресса и структурных изменений. Принципы, лежащие в основе устойчивого развития, предполагают необходимость определения рациональных темпов истощения ресурсов, которые гарантировали бы как современные темпы роста экономики, так и наличие разнообразных ресурсов в долгосрочной перспективе.

ВЗВЕШИВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Не все оцененные воздействия, являющиеся следствием использования различных методов производства электричества, представляют одинаковую серьезность или важность для общества. Ключевой проблемой в области сравнительной оценки рисков является нахождение общей меры для измерения воздействия или риска, которая позволила бы проводить непосредственные сравнения различных видов воздействия.

Большинство воздействий не поддается непосредственному сравнению (например, увеличение числа раковых заболеваний в связи с повышением уровня моря). Применение единой метрики с целью сделать их сравнимыми является большим упрощением. Оно может быть поучительным и в то же время вводить в заблуждение.

Механизмы включения стоимости (возможна денежная

оценка) или серьезности воздействия (например, многокритериальное взвешивание) являются предметом рассмотрения учеными-аналитиками уже в течение десятилетий. Все это становится еще более сложным при рассмотрении воздействия на поколения отдаленного будущего. Кроме количественного определения уровня рисков, которые могут проявиться в отдаленном будущем, аналитики должны думать о том, будут ли приемлемыми для будущих поколений риски, существующие в настоящее время. Идеального решения или ответа на эти вопросы пока еще не существует.

Методы денежной оценки применяются в первую очередь к оценке воздействий на здоровье людей, окружающую среду и на общество, которым придаются экономические значения в зависимости от степени их важности для общества. Нерыночные категории, такие как здоровье и жизнь людей, могут оцениваться в зависимости от индивидуальных предпочтений (готовность платить).

В целях выражения этих будущих денежных оценок в эквивалентных нынешних значениях используется стандартный экономический метод дисконтирования. Для дисконтирования в рамках нынешнего поколения (воздействие в ближайшем будущем) общепринятым и отвечающим цели считается социальный коэффициент дисконтирования, типичная величина которого определяется в процессе изучения рынка и колеблется от 3 до 8%. Для проверки чувствительности выбора указанного социального коэффициента дисконтирования в двух исследованиях, связанных с внешними издержками энергетических систем (проведенных Европейской комиссией и Окриджской национальной лабораторией/Ресурсы для будущего), в качестве центральной величины был выбран коэффициент 3%, и был показан диапазон конечных результатов для 0 и 10%.

В случае применения дисконтирования для оценки отдаленных по времени будущих воздействий выбор коэффициента дис-

континирования представляется исключительно важным. Дисконтирование может позволить сократить в отдаленном будущем относящиеся к разным поколениям установок издержки до пренебрежимо малых величин, если только значение коэффициента дисконтирования не приблизится вплотную к нулевой отметке. Другой ключевой вопрос заключается в том, смогут ли будущие технологические достижения (например, в области медицины) существенно сократить риски, считающиеся важными в настоящее время. По этой причине дисконтирование эффектов от разных поколений установок вызывает споры. Вопрос о том, отражают ли адекватно издержки, сведенные с помощью дисконтирования до пренебрежимо низких уровней, то значение, которое придает ущербу общество, должен решаться до того, как расчет результатов может считаться приемлемым.

Еще одним ключевым по важности считается вопрос о том, является ли риск добровольным или вынужденным. Риски, навязанные будущим поколениям, могут оказаться вынужденными. Однако в тех случаях, когда риски становятся очевидными, их можно избежать или уменьшить путем принятия необходимых мер.

Например, риски от хорошо оборудованного хранилища ядерных отходов могут поддерживаться на пренебрежимо низких уровнях, если будущие поколения будут продолжать мониторинг и соблюдать целостность хранилища, предупреждая тем самым любое рассеяние отходов в окружающей среде.

Несмотря на трудности количественного выражения возможного воздействия и затрат при принятии решений относительно энергопроизводящих систем, сравнительные оценки являются ценными инструментами. Они составляют важную часть процесса выработки политики, которой нельзя пренебрегать в стремлении служить наивысшим интересам нынешнего и будущих поколений. □