

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ПРОБЛЕМА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПЛАНЕТЕ

АКАДЕМИК, ДИРЕКТОР
ИНСТИТУТА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ РАН
Алексей Александрович
Макаров



Процессы изменения климата планеты требуют от России определить свои обязательства в «посткиотском процессе» уменьшения антропогенной эмиссии парниковых газов. Для энергетики страны вполне реально обеспечить стабилизацию в 2015–2025 годах размеров эмиссии парниковых газов в пределах 80–82% от уровня 1990 года с их уменьшением почти до 70% к 2050 году. Определены необходимые для этого изменения энергетической политики страны и предварительно оценены дополнительные затраты на энергоснабжение.

Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (организована в 1988 году Всемирной метеорологической организацией и Программой ООН по окружающей среде) утверждает, что с вероятностью более 90% рост концентрации антропогенных парниковых газов ответствен за большую часть глобального потепления, которое с 1965 по 2005 год составило 0,7°C и независимо от сценариев выброса парниковых газов увеличится в ближайшие 20 лет на 0,4°C. Даже сохранение эмиссии парниковых газов на современном уровне приведет к дальнейшему потеплению и многочисленным изменениям глобального климата, которые в XXI веке будут больше, чем в XX веке.

В этих условиях уже в ближайшие годы придется определяться с парадигмой развития цивилизации, находя приемлемый компромисс между «экономически ориентированным» (потребительским) и «экологически

приемлемым» (концепция устойчивого развития) будущим. Мировое сообщество отнюдь не единодушно в понимании причин и тем более путей решения проблемы изменения климата, но официальная позиция ООН и большинства стран связывает это с сокращением антропогенной эмиссии парниковых газов. Так, в конце 2007 года на острове Бали развитые и крупнейшие развивающиеся страны, включая Россию и США, подписали рамочное соглашение по снижению ее размеров после 2012 года с ориентиром на двукратное уменьшение к 2050 году от уровня 1990 года. Летом 2008 года саммит «Восьмерки» в Японии подтвердил эти цели.

Отношение к «киотскому процессу» во многом определит энергетическую политику России на предстоящие десятилетия. Поэтому при формировании Энергетической стратегии России до 2030 года наряду со сценариями *традиционного* развития учеными исследуется *экологический* сценарий, в котором после 2012 года станет возможным остановить рост эмиссии парниковых газов в России от использования органического топлива и после 2020 года обеспечить ее снижение. Исследование выполнено на упрощенной версии разработанного в ИНЭИ РАН комплекса математических моделей и баз данных для прогнозирования развития энергетики России.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РОССИИ

Традиционный сценарий социально-экономического развития страны соответствует «Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года», разработанной Министерством экономического развития (МЭР) и одобренной Правительством РФ в сентябре 2008 года. Из трех рассмотренных в Концепции вариантов – инерционного, энерго-сырьевого и инновационного – в данной работе использован последний.

Он предусматривает доминирование после 2010 года инновационных источников роста за счет реализации конкурентных преимуществ российской экономики как в традиционных (энергетика, транспорт, аграрный сектор), так и в новых наукоемких секторах экономики. По мнению специалистов МЭР, реализация этого сценария позволит выйти на уровень развитых постиндустриальных стран с увеличением ВВП за период 2005–2020 годов в 2,6 раза при значительном росте конкурентоспособности и структурной диверсификации российской экономики. Продолжение этого сценария расчетами на межотраслевой модели дало рост ВВП в 4,4 раза к 2030 году, а пролонгация сложившихся при этом тенденций до 2050 года увеличила его в 9,5 раза относительно 2005 года.

Экологический сценарий обеспечивает более медленное (на 0,4–0,5 процентного пункта ежегодно) развитие экономики с увеличением ВВП в 4,1 раза к 2030 году и в 8,4 раза к 2050 году. Замедление вызвано удорожанием основных фондов по всем видам деятельности (особенно в электроэнергетике, теплоснабжении и на транспорте) из-за интенсификации энергосбережения и реализации других мер сдерживания эмиссии парниковых газов. В результате потребление населением уменьшится на 7% в 2030 году и 13% в 2050 году, что означает задержку роста его жизненного уровня соответственно на 1,5 и 4 года.

ПРОГНОЗЫ ПОТРЕБНОСТИ В ТОПЛИВЕ И ЭНЕРГИИ

В отличие от мировой тенденции снижения энергоемкости ВВП Россия за время кризиса увеличила ее на 18% и в 1998 году превышала среднемировое значение в 2,3 раза и втрое – показатели развитых стран. С возобновлением экономического роста энергоемкость российского ВВП уменьшилась почти на 40% к 2007 году, вдвое сократив отставание от среднемирового уровня.

В последние годы интенсивное снижение общей энергоемкости и электроемкости ВВП России было обусловлено не столько конкретными *мерами энергосбережения*, сколько более полной загрузкой производственных мощностей (третья часть снижения энергоемкости) и изменением отраслевой и продуктовой структуры экономики в пользу менее энергоемких составляющих.

В рассматриваемой перспективе роль основных факторов снижения энергоемкости ВВП существенно меняется. Практически исчерпаны возможности увеличения загрузки мощностей потребителей энергии, но на смену должно прийти организационное и технологическое энергосбережение. Для остановки в 2015–2025 годах роста и последующего снижения эмиссии парниковых газов нужно интенсифицировать его на 33–40% от общего расхода энергии и на 16–20% от электропотребления. По укрупненным оценкам, это потребует дополнительно 60–80 млрд. долларов в период до 2030 года, на что уйдет до 2% прироста ВВП.

При всей важности организационно-технологических мер главным для сдерживания энергопотребления будет *структурная перестройка экономики*

с опережающим развитием малоэнергоемких отраслей экономики (в особенности торговли и сферы услуг) и ускоренным ростом производства продукции с пониженным расходом энергии на изготовление и эксплуатацию. Совершенствование структуры экономики компенсирует до 60% необходимого прироста энергопотребления и 46–47% прироста потребления электроэнергии в период с 2005 по 2030 год.

Действие всех факторов энергосбережения уменьшит относительно 2005 года общую энергоемкость российского ВВП в 2,7 раза по традиционному и в 3,1 раза по экологическому сценарию к 2030 году и соответственно в 4,3 и 5,4 раза к 2050 году. Необходимо отметить, что даже в экологическом сценарии прогнозируемые на 2010–2030 годы темпы уменьшения энергоемкости ВВП (в среднем на 3,2% в год) будут почти вдвое меньше уже реализованных с 1998 по 2007 год (на 5,7% ежегодно). Электроемкость ВВП страны снизится по обоим сценариям вдвое к 2030 году и в 2,7 раза к 2050 году.

Потребность в первичных энергоресурсах увеличится в экологическом сценарии вдвое меньше, чем в традиционном, – с 2005 года на 31% вместо 64% к 2030 году и на 56% взамен 120% к 2050 году. Наиболее динамично растет потребление *электроэнергии* – в 2,27 раза к 2030 году и 3,5 раза к 2050 году в традиционном и 2,05 и 3,1 раза в экологическом сценарии.

Прогнозируется очень умеренный рост централизованного теплоснабжения – в традиционном сценарии на 26% к 2030 году и 45% к 2050 году, а в экологическом – соответственно на 13% и 23%. Это связано со структурными сдвигами в экономике, реализацией накопленного потенциала экономии тепла и с преимущественным развитием децентрализованных источников тепла.

Потребление нефтяного моторного топлива увеличится в традиционном сценарии в 2,5 раза к 2050 году, а в экологическом только на 40% к 2030 году со снижением до 27% к 2050 году (благодаря повышению КПД транспортных средств и интенсивному использованию на транспорте экологически более чистого природного газа, а позднее водорода и электродвигателей).

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Производство электроэнергии вырастет с 2005 года по традиционному сценарию в 2,35 раза к 2030 году и в 3,3 раза к 2050 году и экологическому – соответственно в 2,05 и 2,75 раза (табл. 1). Но при столь небольших различиях общих объемов производства сдерживание эмиссии парниковых газов существенно изменит структуру электроэнергетики. Увеличится выработка ГЭС (на 10 млрд. кВт·ч к 2030 году и 40 млрд. кВт·ч к 2050 году преимущественно в Сибири и на Дальнем Востоке с замещением около 10 млн. т у.т. наиболее тяжелого эмитента – угля), но снижение в экологическом сценарии экспорта и внутреннего потребления электроэнергии и тепла (интенсификация энергосбережения) сократит выработку АЭС и, главное, тепловых электростанций на 18% к 2030 году и на 60–65%



Таблица 1

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ТИПАМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (млрд. кВт·ч)

	2005	2010	2015	2020	2030	2050
Россия – всего,	953,1	1143–1125	1385–1360	1665–1570	2220–1970	3370–2780
% к 2005 году	100	120–118	145–143	175–165	233–207	330–275
ГЭС	174,6	181	200	240–245	320–330	510–550
АЭС	149,4	175	240	330–340	600–580	1250–1200
КЭС	267,8	349–332	425–485	540	670–595	865–495
ТЭЦ	351,7	428	510–425	550–435	610–450	705–485

Первые значения для традиционного,
вторые – для экологического сценария.

Таблица 2

РАСХОД ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ (млн. т у.т.)

	2005	2010	2015	2020	2030	2050
Первичная энергия	392,1	438–432	487–455	565–475	720–505	1045–620
% к 2005 году	100,0	112–110	124–116	144–120	185–130	255–150
<i>в том числе:</i>						
органическое топливо	283,1	323–317	355–330	400–325	465–310	570–280
% к 2005 году	100,0	114–112	126–117	142–115	165–110	195–95
– газ	195,2	216–215	227–234	237–233	250–225	255–205
– мазут	7,9	10	10,1–8	10,1–7	10,1–5	8,1–1
– твердое	74,4	90–84	114–80	150–78	200–73	305–70
% от топлива						
– газ	68,9	67–68	64–71	59–72	53–73	45–74
– мазут	2,8	3,0	3–2,5	2,5	2	1–0
– твердое	26,3	28–27	32–24	37–24	43–24	53–25

Первые значения для традиционного,
вторые – для экологического сценария.

к 2050 году, с соответствующим уменьшением расхода топлива и эмиссии парниковых газов.

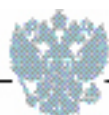
Главным же фактором сдерживания эмиссии парниковых газов в электроэнергетике станет радикальное замещение твердого топлива газом, что даст двойной эффект. Первый обусловлен относительной «чистотой» природного газа: при его сжигании на 1 т у.т. выделяется в 1,7 раза меньше CO₂, а сопутствующая этому дополнительная эмиссия метана (при добыче и транспорте используемого газа) отчасти компенсируется снижением выбросов другого парникового газа – закиси азота, образующейся в топках электростанций. Основным же эффектом от использования природного газа дает дополнительное снижение удельного расхода топлива тепловыми электростанциями до 30% к 2030 году и 45% к 2050 году благодаря их массовому переходу на самые энергоэффективные парогазовые установки (КПД до 65–70%).

Все эти меры понизят расход первичной энергии электростанциями в экологическом сценарии по сравнению с традиционным на 43% в 2030 году и почти на 70% в 2050 году. Опережающий рост в обоих сценариях выработки ГЭС и АЭС дополнительно уменьшит расход органи-

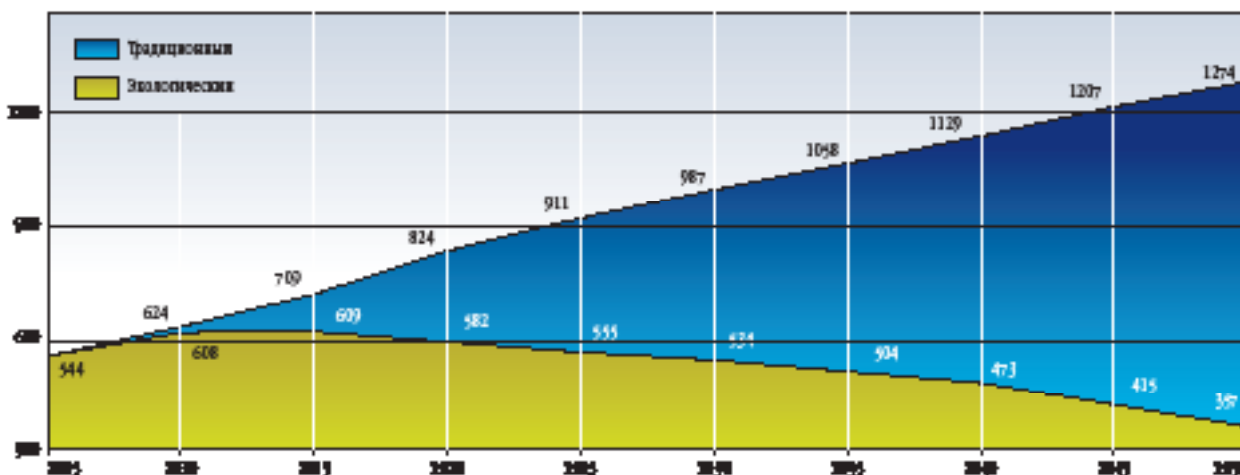
ческого топлива электростанциями. В итоге он сократится в экологическом сценарии по сравнению с традиционным в 1,5 раза к 2030 году и вдвое к 2050 году, а после 2015 года станет снижаться абсолютно и в 2050 году будет меньше его расхода в 2005 году (табл. 2).

Наиболее сильно изменится соотношение в использовании электростанциями газа и угля. До 2020 года расход газа в обоих сценариях практически одинаков и вся экономия топлива пойдет за счет угля и мазута, но в экологическом сценарии доля газа увеличится с 68,9% в 2005 году до 72% при уменьшении угля с 26,3 до 24%, а в традиционном сценарии, наоборот, доля газа снизится до 59% при росте угля до 37%. После 2020 года в экологическом сценарии одновременно уменьшается расход электростанциями всех видов топлива.

Радикальное изменение в экологическом сценарии размеров и структуры расхода топлива электростанциями вместе с применением более чистых технологий остановит в 2010–2015 годах рост эмиссии ими парниковых газов, к 2030 году опустит ее до уровня 2005 года и к 2050 году уменьшит еще на 35% (рис. 1). По сравнению с традиционным сценарием эмиссия парниковых



1

ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ (млн. тонн CO₂)

(и остальных) газов электростанциями уменьшится в 1,85 раза к 2030 году и в 3,6 раза к 2050 году, что станет главным фактором улучшения экологической ситуации в стране. Для этого потребуются на 20–25% увеличить капиталовложения в электроэнергетику (на 110–120 млрд. долларов в период до 2030 года, или около 4% прироста ВВП), пятая часть которых будет сэкономлена в газовой отрасли.

РАЗВИТИЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Совместная оптимизация развития топливно-энергетических отраслей для обеспечения внутренней потребности в топливе и энергии и нужд экспорта определила рациональные уровни добычи основных видов топлива и развития главных топливных баз. Добыча нефти и природного газа в традиционном сценарии предусматривает максимальное использование их экономически оправданных (при прогнозируемой динамике мировых цен) ресурсов и соответствуют потенциальным возможностям добычи. В экологическом же сценарии удастся с 2020 года на 5–10 млн. тонн в год уменьшить добычу нефти и, главное, стабилизировать добычу газа на уровне 800 млрд. куб. м вплоть до 2050 года, существенно отодвинув сроки освоения наиболее дорогих месторождений, особенно на полуострове Ямал (табл. 3).

В традиционном сценарии потенциальные возможности добычи угля используются также почти полностью, а в экологическом удастся остановить ее рост в 2015 году и затем уменьшить на 10% к 2030 году и еще на 20% к 2050 году. Это позволит стабилизировать с 2010 года добычу угля в экологически неблагоприятном Кузбассе в пределах 170–175 млн. тонн и более чем вчетверо замедлить рост добычи канско-ачинского угля.

В результате производство первичной энергии в стране увеличится относительно 2005 года на 39–24 к 2030 году и в 1,55–1,3 раза к 2050 году. В обоих сценариях энергетика России будет строиться на углево-

дорадах с уменьшением их доли в общем производстве от 81,1% в 2005 году до 73–78% в 2030 году и 65–69% в 2050 году при сохранении доли газа на уровне 41–43% до 2030 года и уменьшении до 38–40% к 2050 году со снижением доли нефти с 38,6% в 2005 году до 32–35% в 2030 году и 26–28% в 2050 году.

В отличие от этого развитие неуглеводородных ресурсов сильно зависит от энергетической политики государства. В традиционном сценарии доля угля в производстве энергоресурсов увеличится с 12,5% в 2005 году до 15% в 2030 году и 16% в 2050 году и доля нетопливных энергоресурсов вырастет с 6,4% в 2005 году соответственно до 12% и 19–20%. В экологическом же сценарии доля угля уменьшится до 10% в 2030 году и 8% в 2050 году при увеличении доли нетопливных ресурсов до 12% и 23%. При этом нетрадиционные возобновляемые энергоресурсы вырастут в 35 раз к 2030 году и стократно к 2050 году и по доле в производстве энергии в 2030 году сравняются с ГЭС (3,3%), а в 2050 году превзойдут их почти вдвое (9%) и приблизятся к атомной энергетике (10%).

Благодаря интенсификации энергосбережения и активной структурной политике экологический сценарий позволит в 2015–2025 годах практически стабилизировать эмиссию парниковых газов в России (от использования органического топлива) в пределах 80–82% от уровня 1990 года, а затем уменьшить ее до 78% в 2030 году и 70% в 2050 году (табл. 4). Их основными эмитентами останутся электростанции (30,9% в 2005 году) и транспорт (27,0%), но к 2020 году они меняются местами со снижением доли электроэнергетики до 28% в 2030 году и 21% в 2050 году, при увеличении доли транспорта соответственно до 31 и 33% (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обеспокоенность мирового сообщества происходящими изменениями климата на планете побуждает Россию определить свою позицию в «посткиотском процессе», выполнив полно-



Таблица 3

ПРОГНОЗЫ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА РОССИИ

Показатели	2005	2010	2015	2020	2030	2050
Внутрен. спрос, млн. т у.т.	949	1052–1045	1150–1105	1285–1170	1555–1245	2080–1460
<i>в том числе</i> – газ	496	545	575–582	610	660–595	745–565
– жидкое	181	209	240–230	270–240	325–255	410–245
– твердые	166	186–177	209–165	245–155	305–140	425–130
– нетопливные	106	115	127	160–165	265–250	500–520
Экспорт, млн. т у.т.	865	916–911	1020–1035	1070–1075	1000–1010	690–865
Всего расход (с резервом), млн. т у.т.	1813	1970–1958	2175–2145	2355–2250	2555–2255	2775–2330
Производство, млн. т у.т.	1733	1870–1860	2040–2010	2220–2115	2415–2150	2685–2260
– газ, млрд. куб. м	641	679	745–750	815–800	870–800	900–800
– нефть, млн. тонн	470	512	545	565–560	540–535	500–450
– уголь, млн. тонн	299	343–325	385–330	445–320	530–300	630–240
– атомная энергия, ГВт·ч	149	175	240	330–340	600–580	1250–1200
– гидроэнергия, ГВт·ч	175	181	202	240–245	320–330	510–550
– НВИЭ, млн. т у.т.	2	4–5	9–15	15–28	35–70	55–200
Импорт, млн. т у.т.	80	97	135–131	135–133	140–105	85–65

Первые значения для традиционного,
вторые – для экологического сценария.

Таблица 4

ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА (млн. тонн CO₂-эк)

Показатели	2005	2010	2015	2020	2030	2050
Эмиссия CO ₂	1582	1745–1720	1895–1770	2095–1790	2375–1705	2875–1505
<i>в том числе</i> от газа	814	900–899	955–965	1020–1015	1095–995	1260–980
– нефти	298	326–328	360–340	390–335	445–330	505–235
– угля	470	520–495	585–465	685–440	835–380	1110–290
% к 1990 году	71,5	79–78	86–80	95–81	108–77	130–68
Эмиссия – метан	186	205–200	225–215	250–220	280–215	310–200
млн. тонн – закись азота	4	4	4,9–4	4,9–4	5,9–4	6,9–4
Всего парниковые газы	1775	1955–1930	2130–1990	2355–2015	2670–1930	3200–1715
<i>в том числе</i> от газа	933	1025	1090–1105	1170–1160	1260–1145	1425–1130
– нефти	300	330	360–340	390–340	445–330	510–235
– угля	542	600–575	680–545	795–515	965–455	1265–350
% к 1990 году	72,0	79–78	86–81	96–82	108–78	130–70

Первые значения для традиционного,
вторые – для экологического сценария.

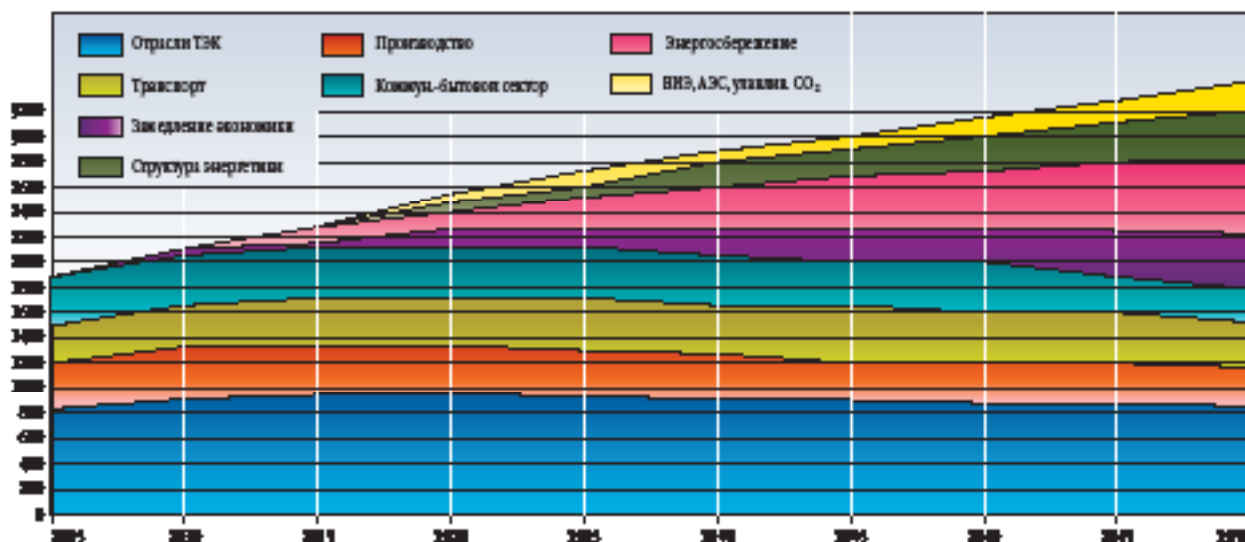
масштабное исследование последствий для своей экономики и энергетики политики сдерживания эмиссии парниковых газов. В стране имеется необходимый для этого научный и методический задел, однако предстоит много сделать для обновления используемой информации, особенно в части адаптации к российским условиям энергоэкологических характеристик и стоимости новых технологий по всей цепоч-

ке преобразования энергии от ее источников до потребителей включительно. Эту работу необходимо выполнить в рамках формируемой Энергетической стратегии России на период до 2030 года, чтобы не обесценить ее установки в первые же годы после принятия.

2. Приведенные результаты, хотя и имеют предварительный характер, демонстрируют не только посильность, но и явную прогрессивность для



2



ПРОГНОЗ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА И ФАКТОРОВ ЕЕ СДЕРЖИВАНИЯ, МЛН. ТОНН CO₂

экономики и энергетики России стабилизации в 2015–2025 годах и последующего снижения объемов эмиссии парниковых газов к 2030 году до 78% и к 2050 году до 70% от уровня 1990 года (а вместе с ними – почти пропорционально и других выбросов в атмосферу).

3. Экономика заплатит за это умеренным замедлением темпов роста ВВП (на 0,4–0,5 процентного пункта ежегодно) и благосостояния населения (задержка на 1,5 года за 25 лет), но получит сильный дополнительный импульс для инновационного развития – благодаря обновлению на основе передовых технологий всей сферы энергообеспечения, при сдерживании роста традиционных сырьевых отраслей, в частности нефтяной, газовой и особенно угольной промышленности.

4. Экологическая толерантность изменит энергетическую политику России, особенно в электроэнергетике. Усилив уже провозглашенный приоритет развития АЭС и ГЭС, это заставит отказаться от ориентации на угольные ТЭС в пользу газовых, у которых при троекратно меньшей стоимости строительства в полтора раза выше КПД и вдвое меньше выбросы в атмосферу.

5. Высокая энергетическая эффективность парогазовых технологий позволит довести долю газа на ТЭС России до 72–74% при снижении после 2015 года его абсолютного расхода – в отличие от дальнейшего увеличения расхода газа электростанциями в традиционном сценарии. Вместе с интенсификацией энергосбережения в других отраслях это замедлит рост добычи газа и стабилизирует ее с 2020 года на уровне 800 млрд. куб. м, без заметного уменьшения экспорта газа.

6. Угольная промышленность после небольшого увеличения внутреннего спроса к 2010–2015 годам будет терять его как в электроэнергетике, так и в других отраслях и вряд ли сможет компенсировать это на внешних рынках ввиду общей озабоченности сокращением эмиссии парниковых газов. Поэтому после роста добычи угля до 330 млн. тонн в 2015 году можно ожидать ее плавного снижения до 300 млн. тонн в 2030 году и 240 млн. тонн в 2050 году.

7. Снижение эмиссии парниковых газов относительно традиционного развития будет обеспечено путем:

- умеренного замедления развития экономики (20–25% в 2030–2050 годах);
- интенсификации энергосбережения (до 50% в 2030 году и 40% в 2050 году);
- изменения структуры энергетики на основе массового применения передовых газовых технологий (соответственно до 20 и 25%);
- ускоренного развития АЭС, ГЭС и нетрадиционных возобновляемых энергоресурсов, а также после 2030 года – прямого улавливания и захоронения CO₂ (около 10 и 15%).

8. Названные меры увеличат на 15–20% (относительно традиционного сценария) капиталовложения в энергосбережение и ТЭК – в основном в электроэнергетику при экономии инвестиций в топливных отраслях, особенно в газовой промышленности. Соответствующие количественные оценки будут корректироваться по мере уточнения используемой информации, что позволит выстроить приоритеты антиэмиссионной политики и выработать количественные рекомендации по их экономическому стимулированию.