

ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПРОЦЕССЕ ЗАМЕЩЕНИЯ МАССОВЫХ РЕСУРСОВ КАЧЕСТВЕННЫМИ

© 2011 Р.С. Соболев

кандидат экономических наук

Московский государственный институт электроники и математики

(Технический университет)

E-mail: OET2004@yandex.ru

Среди основных факторов, которые могут ограничивать демографическую динамику, сдерживая рост экономики, ключевую роль играют потребности в топливно-энергетических ресурсах (ТЭР), обеспечивающих индустриальное развитие и производство продовольствия. Причем сами потребности в ТЭР могут быть рассчитаны на перспективу с использованием данных прогноза о макроэкономических показателях.

Ключевые слова: энергоэффективность, промышленная структура, долгосрочный рост, критический уровень потребления энергии, энергоемкий тип производства, энергоэффективный тип производства.

Самым общим показателем уровня потребления и потребностей является потребление энергии на душу населения. Без достижения некоего критического уровня потребления энергии невозможно достижение необходимого развития производительных сил и экономического благосостояния. Ранее¹ было показано, что уровень потребления энергии на человека (душевое энергопотребление) для развитых стран, достигнутый сегодня, станет нормативом на будущее. Например, для развитых стран Европы это 5 тонн условного топлива (т у. т.) на человека в год на всем протяжении до 2300 г. Он характерен также для Японии. Конечно, есть небольшой разброс. Значительно отличается лишь энергопотребление в США - 10 т у. т. на человека в год. Важно то, что указанные нормативы душевого энергопотребления скорее несколько завышают реальные потребности, нежели занижают их. При сокращении энергоемкости экономического роста в развитых странах происходит стремительный рост потребления ТЭР в развивающихся и переходных экономиках, переживающих период индустриализации.

Для того чтобы в условиях растущего энергопотребления обеспечить необходимый уровень экологической безопасности, потребуются огромные инвестиционные ресурсы, которые должны быть направлены на реализацию инновационных технологий по освоению альтернативных источников энергии, энергосберегающих и безотходных технологий, на охрану и облагораживание окружающей среды.

В XX в. в мире произошло 15-кратное увеличение уровня потребления энергоресурсов при росте численности населения Земли в 3,8 раза. Конечно, представляет большой интерес сравнение роста населения с ростом потребления энергии как главного ресурса. Такое исследование с целью установления функциональной связи между величиной глобального потребления энергии и роста численности населения мира было предпринято Дж. Холдреном². Он показал, что суммарное потребление энергии E пропорционально квадрату численности населения Земли N :

$$E : N^2.$$

Данная квадратичная зависимость потребления энергии была характерна для индустриальной эпохи. Причем 90 % приходилось на промышленное потребление энергии во всех ее формах.

К началу XXI в. произошла дифференциация стран по моделям и эффективности энергопотребления. Развитые страны после энергетического кризиса 1970-х гг. резко повысили эффективность использования энергии путем широкомасштабного применения энергосберегающих технологий.

Исследуя указанные тенденции в энергопотреблении, Ю.А. Плакиткин³ установил, что в XXI в. душевое потребление энергии в мире не будет увеличиваться, а стабилизируется на уровне 2,5 т у. т. на человека. Имеет место существенная региональная дифференциация мирового энергопотребления. Например, для США это 9,5 т у. т.

на человека в год, для ЕС - 5 т у. т., для Китая - 1,2 т у. т., а для Индии - 0,8 т у. т. Очевидно, что Китай и Индия в XXI в. будут наращивать свое душевое энергопотребление. В целом, Ю.А. Платиткин полагает, что развивающиеся страны увеличат энергопотребление на душу населения до среднемирового уровня в 2,5 т у. т., а развитые страны, наоборот, должны снизить до уровня примерно в 5 т у. т., как это планируется в ЕС. Исходя из этого, он предложил модель энергопотребления для XXI в., которая представлена в графической форме на рис. 1. Модель Платиткина следует рассматривать как модель энергоэкологического развития для XXI в.

Для реализации энергопотребления по данной модели необходимо, чтобы эффективность

использования потребляемой энергии в XXI в. росла опережающими темпами. Ожидается, что коэффициент использования потребляемой энергии будет увеличиваться по логистической кривой, как показано на рис. 2. Коэффициент использования энергии отражает уровень технологического развития в энергетике. Все это справедливо как для развитых, так и развивающихся стран с некоторым временным сдвигом, который будет постепенно уменьшаться, благодаря чему душевое потребление энергии стабилизируется на уровне 2,5 т у. т. Этого вполне достаточно для комфортного проживания современного человека.

Описанные выше сценарии энергопотребления для развитых и развивающихся стран в XXI в. можно описать логистическими кривыми.

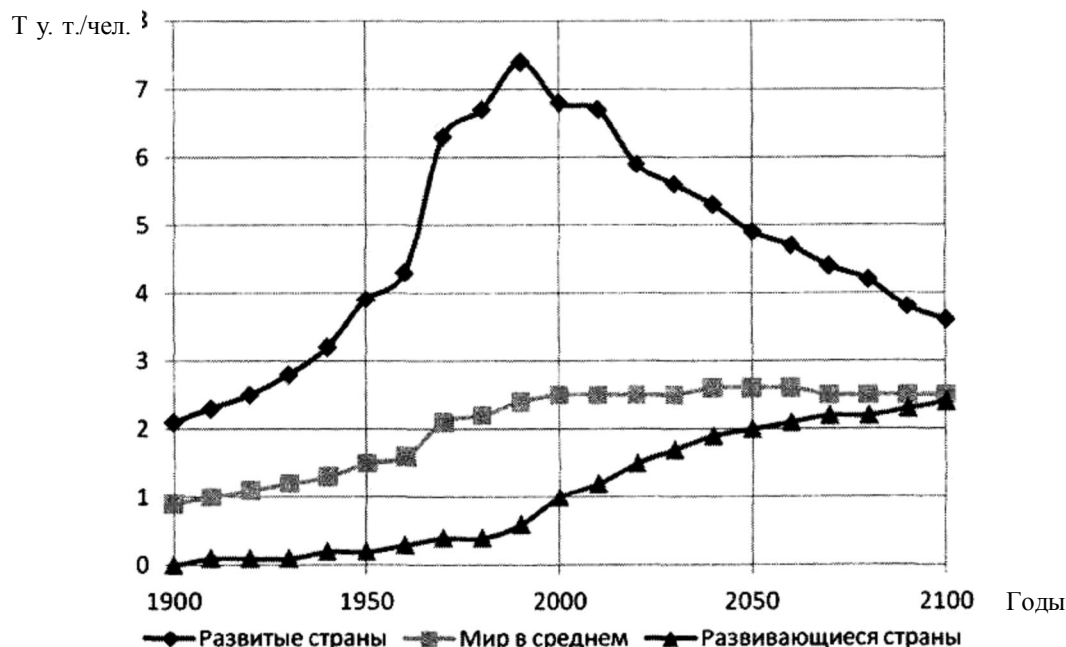


Рис. 1. Прогноз душевого потребления энергии в развитых и развивающихся странах

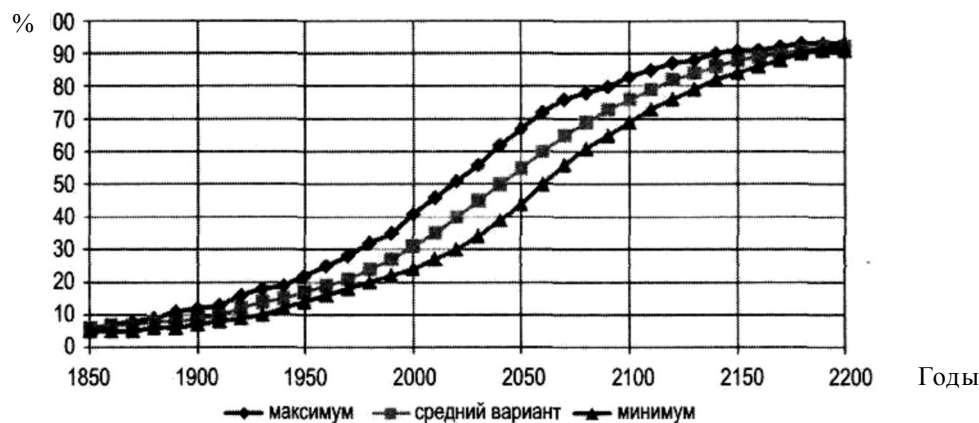


Рис. 2. Прогноз коэффициента использования энергии в развитых странах

1. Динамика энергопотребления E_d развивающихся стран (Китай, Индия, Бразилия и др.) описывается восходящей логистической кривой:

$$E_d = e_d N_d(T) = \frac{e_d^{(0)}(1 + \rho)N_d(T)}{1 + \rho \exp[-\theta(T - T_0)]}, \quad (1)$$

где e_d - душевое энергопотребление, т у. т.;

$N_d(T)$ - численность населения в момент T ;

ρ и θ - постоянные параметры.

Учитывая, что

$$e_d^{\max} = e_d^{(0)}(1 + \rho) = 2,5 \text{ т у. т. и } e_d^{(0)} \cong 1 \text{ т у. т.,}$$

легко получить

$$\rho = 1,5 \text{ и } \theta = 0,044; T_0 = 2000 \text{ г.}$$

2. Для развитых стран (США, страны ЕС, Япония и др.) динамика энергопотребления E_{hd} описывается нисходящей логистической кривой:

$$E_{hd} = e_{hd}^{(0)} N_{hd}(T) \frac{1 + \rho \{2 \exp[-\theta(T - T_0)] - 1\}}{1 + \rho \exp[-\theta(T - T_0)]}. \quad (2)$$

Если принять начальное условие $T_0 = 2000$ г. и $e_{hd}^{(0)} = 7$ т у. т., тогда

$$\rho = 0,5 \text{ и } \theta = 0,044.$$

3. Динамика энергопотребления для мира в целом, учитывая его стабилизацию на уровне 2,5 т у. т., может быть записана в виде:

$$E_w = 2,5 N_w(T).$$

Таким образом, мы видим изменение парадигмы потребления энергии. Если в XX в. суммарное потребление энергии росло как квадрат числа людей на Земле, то в XXI в. зависимость стала линейной.

Можно также оценить стоимость суммарного энергопотребления, если учесть, что 1,4 т у. т. = 1 т н. э. (тонна нефтяного эквивалента). В соответствии с прогнозом Международного энергетического агентства⁴ средняя цена на сырую нефть в период с 2015 по 2030 г. составит около 60 долл. за баррель (в долларах 2006 г.). Если

брать период до 2050 г., то эта цифра составит примерно 67 долл. за баррель или 500 долл. за тонну сырой нефти. Следовательно, приближенная оценка стоимости мирового энергопотребления может быть подсчитана следующим образом:

$$P_w = 2,5 \cdot \frac{500}{1,4} N_w(T) \text{ долл.}$$

Пользуясь приведенными соотношениями и зная демографическую динамику как для мира в целом, так и для развитых и развивающихся стран в отдельности, теперь мы сможем рассчитать динамику энергопотребления в XXI в.

Динамика мирового энергопотребления приведена на рис. 3. Видно, что пик суммарного энергопотребления приходится на 2030-е-2040-е гг. и составляет около 20 млрд. т у. т., затем начинается постепенное снижение и стабилизация на уровне 13-14 млрд. т у. т. к концу XXI в. Эти расчетные данные мирового энергопотребления неплохо согласуются с данными прогноза, приведенного А.Э. Конторовичем и А.Т. Коржубаевым⁵. Соответствующее сравнение представлено в таблице.

На рис. 3 приведен прогноз энергопотребления развитых стран: США, Великобритании, Японии и Германии. На правой вертикальной оси графика представлен ценовой эквивалент в триллионах долларов. Пик энергопотребления приходится на 1950-1970 гг., для США он составляет 2,2 млрд. т у. т.

Для других стран максимальное энергопотребление в 2-3 раза ниже. Так, для Великобритании оно находится на уровне 0,6 млрд. т у. т., для Японии - 1,1 млрд. т у. т., для Германии - 0,8 млрд. т у. т. Постепенный спад и стабилизация энергопотребления развитых стран ожидается после 2050 г. Энергопотребление США будет составлять 1,3 млрд. т у. т., Великобритании - 0,25 млрд. т у. т., Японии - 0,6 млрд. т у. т., Германии - 0,3 млрд. т у. т. (рис. 4).

Сравнение результатов расчета мирового энергопотребления

Год	Мировое энергопотребление, млрд, т у.т.		
	Прогноз Конторовича и Коржубаева	Результат для 1-го сценария динамики населения	Результат для 2-го сценария динамики населения
2010	12,8	17,3	16,7
2015	13,6	17,9	17,4
2020	15,0	18,4	18,4
2025	16,4	18,9	19,5
2030	17,1	19,2	20,5
2050	22,5	18,3	22,0

Источник. Составлено по: Проекты и риски будущего: концепции, модели, инструменты, прогнозы / отв. ред. А.А. Акаев. М., 2011. (Будущая Россия). С. 306.

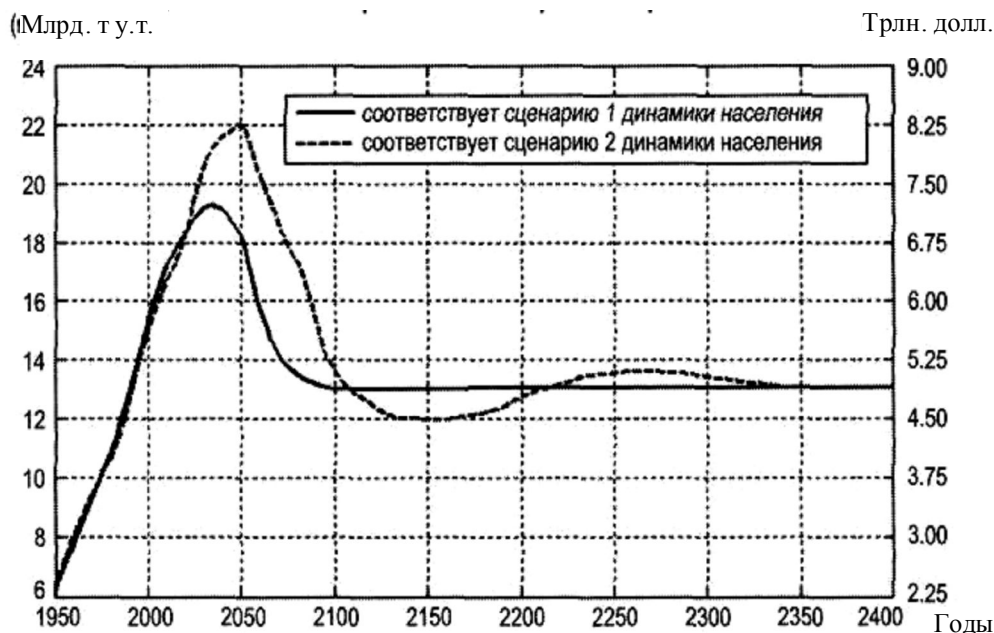


Рис. 3. Динамика мирового энергопотребления

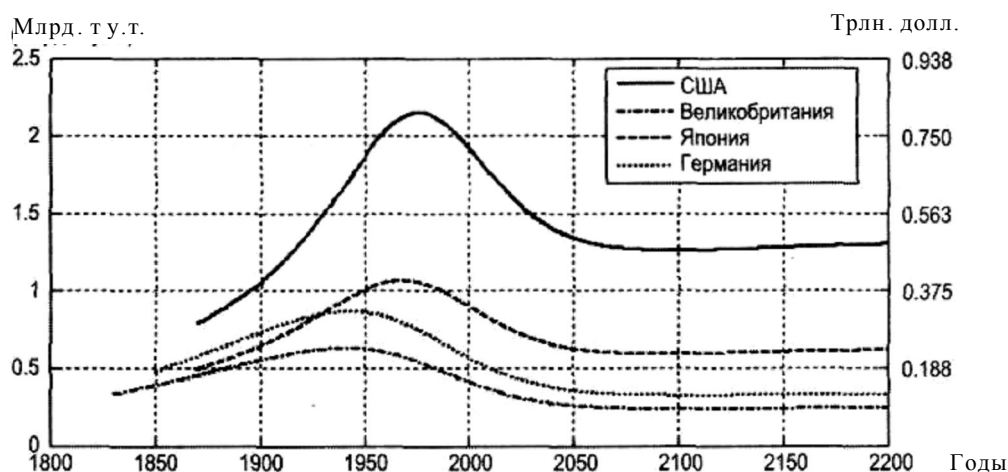


Рис. 4. Энергопотребление развитых стран

Существенный вклад в мировое энергопотребление вносят развивающиеся страны. Максимум энергопотребления Китая будет достигнут в 2020 г. и составит 3,5 млрд. т у.т., далее после 2070 г. энергопотребление Китая снизится до асимптотического значения 3 млрд. т у.т. Энергопотребление Индии носит колебательный характер, что во многом определяется прогнозом динамики численности населения. Пик энергопотребления Индии приходится примерно на 2050 г. и составляет 5 млрд. т у.т., после чего наступает спад, характеризующийся затухающими колебаниями с периодом примерно в 150 лет.

Энергоэкологическое развитие требует всевозрастающего объема инвестиций в природоох-

ранные меры I_{EE} по поддержанию экологического баланса биосферы Земли или экосистемы страны на приемлемом уровне.

Поскольку эффективность использования энергии в XXI в. будет возрастать по логистической кривой (см. рис. 2), можно также предположить, что для I_{EE} подходящей является логистическая функция

$$I_{EE} = I_{EE}^{(0)} \frac{1 + h}{1 + h \exp[-\mathcal{A}(t - T_0)]} \quad (3)$$

где $h, \mathcal{A}$ — постоянные параметры логистической функции.

Причем для $T_0 = 2010$ г. $I_{EE}^{(0)} = 0,8$ трлн. долл. для мира в целом. Е. Г. Ищенко показал, что в 2050 г. $I_{EE}^{\max}$ будет равно примерно 2,5 трлн. долл.⁶

Отсюда, для определения параметров h и g имеем уравнения:

$$h = 0,1 \exp(40g), \quad g = \frac{1}{40} \left[\ln 10 + \ln \left(1,1 \frac{I_{EE}^{max}}{I_{EE}^{(0)}} - 1 \right) \right].$$

Предполагается, что после 2050 г. этот уровень инвестиций сохранится, по крайней мере, до конца XXI в. Можно приближенно подсчитать, к какому замедлению темпов экономического роста приведет отвлечение части инвестиционных ресурсов в природоохранные меры, связанные с энергоэкологическим развитием. Поскольку в прошедшем десятилетии средние темпы мирового экономического роста составили 3,3 %, а на природоохранные меры в среднем по всему миру расходовалось $I_{EE}^{(0)} = 800$ млрд. долл., то можно составить следующее соотношение для темпов замедления экономического роста:

$$q_{EE}^{(0)} = \frac{I_{EE}^{(0)}}{I_G^{(0)}} \cdot 3,3 \cdot 10^{-2}, \quad (4)$$

где $I_G^{(0)}$ - совокупный объем инвестиций, направляемых ежегодно на цели обеспечения экономического роста.

Следовательно, динамику замедления темпов экономического роста, вызванного стратегией энергоэкологического развития, можно записать с учетом (3) и (4) следующим образом:

$$q_{EE} = q_{EE}^{(0)} \frac{1+h}{1+h \exp[-g(t-T_0)]}. \quad (5)$$

Остается определить, как это учесть при расчете динамики экономического роста. Из эндогенной модели роста следует, что

$$q_Y = q_A + q_N,$$

где q_Y - темпы экономического роста;

q_N - темпы роста численности населения.

Выше мы показали, что темпы роста населения как в мире в целом, так и в отдельных странах будут снижаться по абсолютной величине, по крайней мере в XXI в. Поэтому темпы роста в экономике будут в основном определяться темпами технического прогресса, т.е. $q_Y \approx q_A$.

Следовательно, замедление темпов роста, обусловленное энергоэкологическим развитием, можно учесть, полагая, что:

$$q_A = q_A^0 + q_A^b - q_{EE}. \quad (6)$$

Если теперь в модели экономического роста динамику совокупной факторной производительности (технического прогресса) рассчитать с учетом последнего соотношения, то получим несколько замедленные траектории роста мирового ВВП (в постоянных ценах 1990 г.), представленные на рис. 5 и 6.

Сравнение с прогнозом ВВП без учета инвестиций в природоохранные меры (см. рис. 5-6) показывает, что учет инвестиций в природоохранные меры приведет к сокращению роста ВВП вплоть до 1,5 раза к 2100 г. При осуществлении первого сценария динамики численности населения мира ВВП в 2100 г. составит около 300 трлн. долл. (по сравнению с 460 трлн. долл.

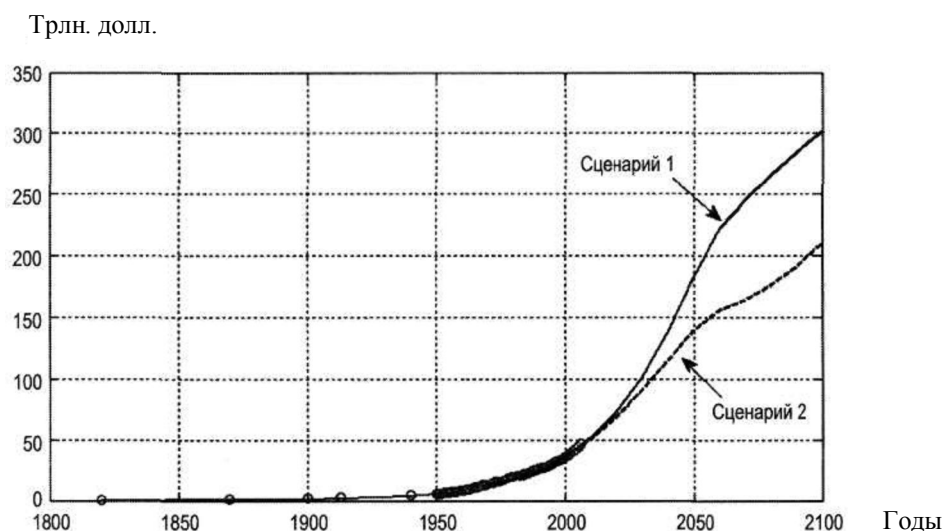
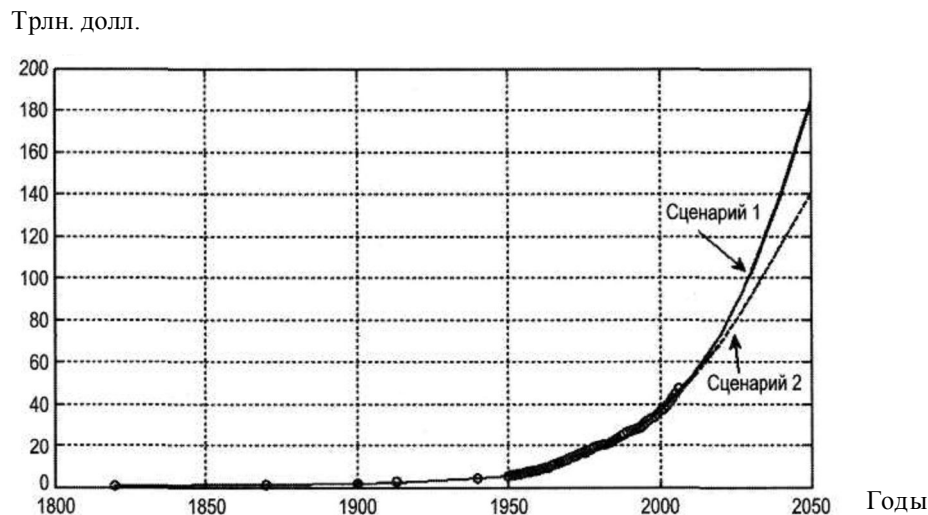


Рис. 5. ВВП мира до 2100 г. (в постоянных ценах 1990 г.) с учетом инвестиций в природоохранные меры



**Рис. 6. ВВП мира до 2050 г. (в постоянных ценах 1990 г.)
с учетом инвестиций в природоохранные меры**

без учета затрат на природоохранные меры). Аналогичный результат достигается и при реализации второго сценария динамики численности населения мира: ВВП в 2100 г. составит 210 трлн. долл. (по сравнению с 320 трлн. долл. без учета затрат на природоохранные меры).

К 2050 г. замедление составит порядка 15-20 %. По первому сценарию динамики численности населения мира ВВП в 2050 г. составит около 180 трлн. долл. (по сравнению с 220 трлн. долл. без учета затрат на природоохранные меры). По второму сценарию динамики численности населения мира ВВП в 2050 г. составит 140 трлн. долл. (по сравнению с 160 трлн. долл. без учета затрат на природоохранные меры).

Расчеты экспертов⁷, связанные с анализом динамики добычи нефти, показывают, что мировая добыча нефти достигнет максимума в 4,4 млрд. т в год примерно в 2020-2025 гг., а затем начнется экспоненциальный спад. Следовательно, начиная с 2020 гг., наиболее вероятный спрос будет опережать возможное предложение мировой нефти. К 2030 г. этот непокрываемый разрыв может составить около 2,2 млрд. т в год. Данный дефицит весьма существен и означает, что через 15-20 лет, т.е. к 2045-2050 гг., нефть уже не сможет больше покрывать все увеличивающуюся мировую потребность в энергии, а значит, можно гово-

рить об окончании “эры нефти” как доминирующего энергоносителя в мировой экономике.

Итак, пики добычи нефти и потребления энергии в мире по сценарию устойчивого развития отстоят друг от друга на 15-20 лет, что ставит острейшую проблему своевременной смены энергетического уклада, перехода на другие энергоресурсы, такие как водород, термояд, а также возобновляемые источники. Но удастся ли это сделать за столь короткий промежуток времени? В любом случае в ближайшем будущем человечество вполне может столкнуться с первым масштабным кризисом, связанным с нехваткой энергии.

¹ Акимов А.В. 2300 год: глобальные проблемы и Россия. М., 2008.

² Holdren J. Population and the Energy Problem. Population and Environment // J. of Interdisciplinary Studies. 1991. № 3.

³ Плакиткин Ю.А. Закономерности развития мировой энергетики и их влияние на энергетику России. М., 2006.

⁴ World Energy Outlook. 2007.

⁵ Конторович А.Э., Коржубаев А.Т. Энергоэкологическое будущее цивилизаций. М., 2008. Т. 3.

⁶ Ищенко Е.Г. Прогноз динамики инвестиций в энергоэкологический сектор. Энергоэкологическое будущее цивилизаций. М., 2008. С. 401-419.

⁷ См., например: Плакиткин Ю.А. Указ. соч.

Поступила в редакцию 06.01.2011 г.