

МИЛЛИАРД ТОНН ТОПЛИВА — ЭТО МНОГО ИЛИ МАЛО?

(Сколько энергии нужно России)

Член-корреспондент РАН В.В. КЛИМЕНКО,
доктор технических наук А.Г. ТЕРЕШИН
(Национальный исследовательский университет “МЭИ”)

Потребление энергии на душу населения является важнейшим экономическим и социальным детерминантом, полностью определяющим не только уровень жизни населения конкретной страны, но и, по-видимому, этап исторического развития, на котором эта страна находится. Действительно, в наиболее богатых странах мира на душу населения приходится сейчас 10–14 т у.т./год (США, Канада, Норвегия), в беднейших же этот показатель едва достигает 0.3–0.4 т у.т./год (Бангладеш, Мали, Чад). Не вызывает сомнения, что большинство стран мира должны будут в ближайшие десятилетия значительно увеличить потребление энергии, с тем чтобы обеспечить своим гражданам достойные условия существования. Однако где лежат разумные асимптоты энергопотребления, различаются ли они для разных стран и от каких причин это зависит — на все эти вопросы в настоящее время нет определённого ответа. Между тем такой ответ остро необходим, поскольку с дальнейшим ростом потребления энергии и сопутствующей ему эмиссии парниковых газов (в первую очередь диоксида углерода) связано решение одной из центральных проблем современности — проблемы глобальных изменений климата.

Методология

Более 20 лет назад нами была принята попытка определить оптимальные, или предельные, уровни потребления энергии разных стран, миную

традиционную схему, ядром которой являются представления о развитии экономики¹. При этом мы исходили из представления, что потребление энергии служит удовлетворению базовых потребностей человека и в первую очередь — защите от голода, жажды, жары и холода. Очевидно, что реализация перечисленных потребностей должна зависеть от природных условий и, прежде всего, от климата. Сейчас, двадцать лет спустя, у нас есть возможность в полной мере проверить это предположение с использованием доступных архивов информации по удельному потреблению энергии в 1950–2012 гг. и среднегодовой температуре воздуха T_a в различных странах мира.

Во избежание проблем, связанных с неустойчивостью статистики для малых стран, мы пользовались данными преимущественно для стран, население которых превышает 2 млн чел. Анализ временных рядов удельного энергопотребления позволяет заключить, что во многих странах мира (сейчас их число превышает 40) потребление энергии на душу населения почти не изменяется в течение последних 20–25 лет (рис. 1).

Таким образом, есть основания утверждать, что в этих странах действительно, как мы предполагали, достигнут некий оптимальный (или предельный) уровень потребления энергии, обеспечивающий удовлетворение базовых потребностей человека. Общество, в котором

¹ Клименко В. В. Влияние климатических и географических условий на уровень потребления энергии // Доклады РАН. 1994. Т. 339. № 3.

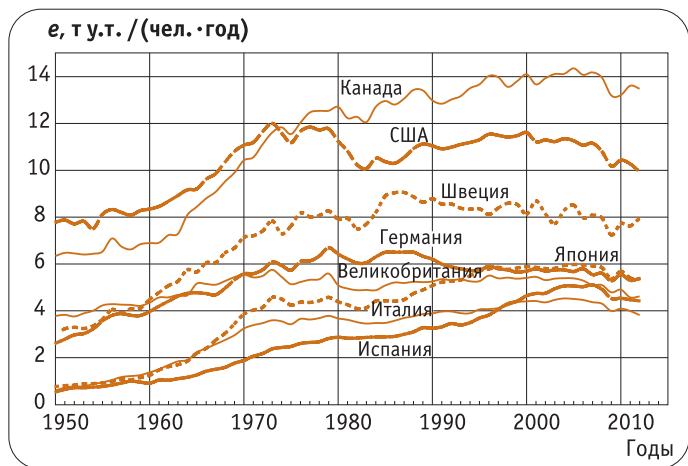


Рис. 1.
Потребление энергии на душу населения
в развитых странах мира в 1950–2012 гг.

этот уровень достигнут, по терминологии Д. Белла или У. Ростоу², принято называть постиндустриальным или информационным. Оказывается, что удельное потребление энергии в постиндустри-

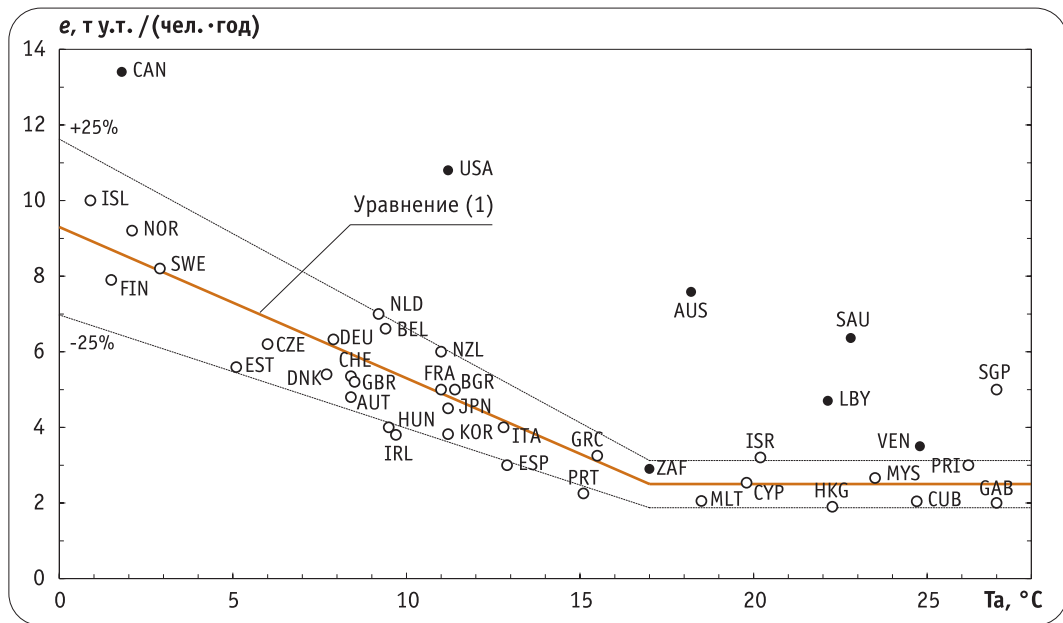
² Rostow W.W. *The Stages of Economic Growth: A Non-Communist Manifesto*. Cambridge: Cambridge University Press. 1960.

альном обществе e_{∞} обнаруживает сильную и ясно выраженную зависимость от среднегодовой температуры вплоть до $T_a = 17^{\circ}\text{C}$ (рис. 2). Эта зависимость выражается следующим простым соотношением:

$$e_{\infty} (\text{т у.т./чел.} \cdot \text{год}) = \begin{cases} 9.3 - 0.4T_a & \text{при } T_a < 17^{\circ}\text{C}, \\ 2.5 & \text{при } T_a > 17^{\circ}\text{C}. \end{cases} \quad (1)$$

Поистине удивительным, по крайней мере на первый взгляд, кажется то, что энергопотребление стран, различающихся типом экономики, структурой импорта/экспорта энергоресурсов, стереотипом потребления, наконец, культурными традициями, описывается в пределах 25% единым соотношением, не содер-

Рис. 2.
Зависимость удельного потребления
энергии e в постиндустриальном
обществе от среднегодовой
температуры воздуха T_a .
(Сокращённые обозначения стран
соответствуют терминологии ООН.)



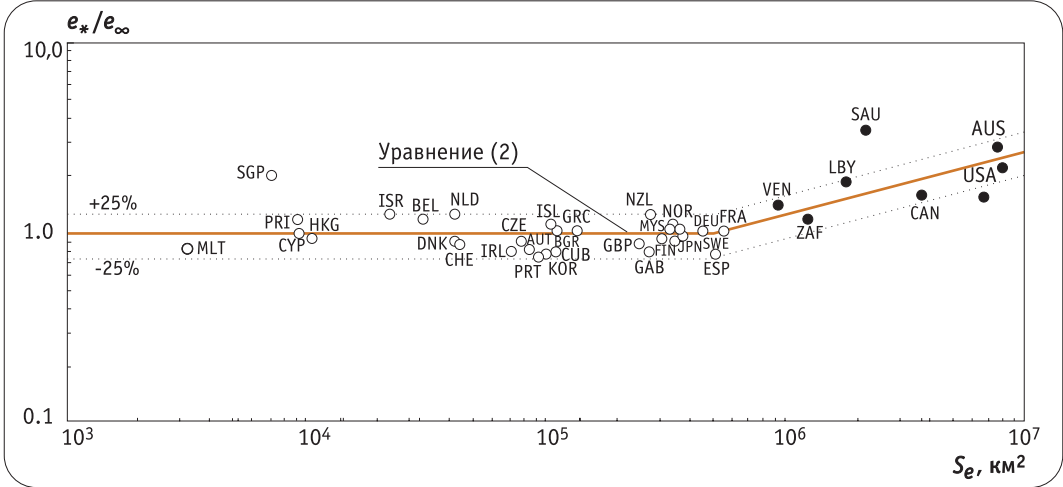
жащим в явном виде экономических характеристик. Снижение e_{∞} с возрастом T_a объясняется уменьшением расхода энергии на отопление, который в высокоширотных развитых странах достигает 50% от общей величины энергопотребления, а также удельных (на тонно-километр) транспортных затрат и расхода энергии на производство единицы сельскохозяйственной продукции и т.д.

При $T_a \geq 17^{\circ}\text{C}$ потребность в отоплении отпадает, и e_{∞} перестаёт зависеть от температуры. Многие исследователи склонны полагать, что при высоких T_a следует ожидать возрастания e_{∞} в связи с большими расходами энергии на кондиционирование воздуха. Однако, как показывает рис. 2, в действительности ничего подобного не происходит или, во всяком случае, пока не было зафиксировано. Вместе с тем на этом рисунке имеется группа точек (тёмные символы), заметно отклоняющихся от обобщающей зависимости (1). При более пристальном рассмотрении оказывается, что все эти точки относятся к большим государствам, территория

которых составляет по меньшей мере 0.9 млн км². На рис. 3 тот же набор данных представлен в виде $e_*/e_{\infty} = f(S_e)$, где e_{∞} вычисляется по формуле (1), а S_e – “эффективная” площадь страны. Понятие эффективной площади вводится, чтобы учесть реальную часть территории, приспособленную для заселения её людьми. В результате специально проведённого исследования нами было установлено, что плотность населения падает практически до нуля на территориях, расположенных в Северном полушарии к северу от среднегодовой изотермы $T_a = -2^{\circ}\text{C}$ (в Южном полушарии к югу от указанной изотермы постоянное население вообще отсутствует) и на высотах свыше 2000 м над уровнем моря. С учётом этих ограничений эффективная площадь страны, на которой и происходит интересующее нас потребление энергии, может быть существенно меньше фактической: так, для Канады она составляет 3.64 млн км² (фактически 9.98 млн км²), для США – 7.89 млн км² (9.36 млн км²), для России – 5.51 млн км² (17.08 млн км²). Возвращаясь к рис. 3, увидим, что потребление энергии в 38 странах, вошедших в стадию постиндустриального развития, описывается единой зависи-

Рис. 3.
Зависимость удельного потребления энергии e_*/e_{∞} в постиндустриальном обществе от эффективной площади страны S_e .
(Для Гонконга, Мальты и Сингапура площадь увеличена в 10 раз.
Сокращённые обозначения стран соответствуют терминологии ООН.)

$$e_*/e_{\infty} = \begin{cases} 1 & \text{при } S_e < 0.5 \text{ млн км}^2, \\ 1.26 \cdot S_e^{1/3} \text{ (млн км}^2\text{)} & \text{при } S_e > 0.5 \text{ млн км}^2. \end{cases} \quad (2)$$



Теперь настала пора ответить на вопрос: почему большие государства потребляют больше энергии? Во-первых, возрастают расходы энергии на транспорт, в том числе самих энерго-ресурсов – показано³, что США из-за этого приходится тратить на единицу валового продукта на 20% больше энергии, чем европейским странам. Вторая причина не столь очевидна, но, на наш взгляд, ещё более важна, чем первая. Дело в том, что в больших государствах неизбежно имеются территории с более или менее благоприятными природными условиями. Чтобы поддерживать необходимый уровень социального равенства, федеральное правительство вынуждено перераспределять часть произведённого продукта в пользу маргиналов. Это лишает наиболее динамичную часть общества естественных стимулов и ведёт к потере эффективности и, как следствие, перерасходу энергии.

Из анализа рис. 3 следует, что имеется всего одна “экспериментальная” точка – Сингапур, не подчиняющаяся общей логике. Однако и этот факт, на наш взгляд, обусловлен скорее проблемами статистики. Дело в том, что в наших расчётах использовалась численность населения Сингапура де-юре (4.27 млн чел. в 2005 г.), а де-факто эта величина существенно больше, поскольку страну ежегодно посещают 13 миллионов иностранцев. В результате реальное потребление энергии на душу населения должно быть значительно меньше вычисленного по данным официальной статистики. Таким образом, уравнение (2) является универсальным и устанавливает связь уровня удельного потребления энергии с природными – климатическими и географическими – условиями. Это чрезвычайно важный факт, значение которого выходит далеко за рамки естественных наук и имеет смысл с точки зрения историографии и культурологии. Здесь имеется в виду давняя, продолжающаяся еще со времён И. Канта и Ф. Шлегеля, дискуссия о соотноше-

нии общего и особенного, глобального и локального в истории развития цивилизации. Кантовская схема обращает внимание на общность исторического процесса, в то время как подход Шлегеля, получивший значительное развитие в современной историографии, основан на учении о независимых локальных культурах (цивилизациях).

Сейчас появилась возможность предложить вариант решения этого спора исходя из естественнонаучных представлений, и этот ответ таков: с глобально экологической точки зрения все страны в фазе постиндустриального общества ведут себя совершенно одинаково, и в этом смысле мировая цивилизация едина и неделима. Единство процесса потребления никак не должно восприниматься как факт обнадёживающий, поскольку может означать лишь то, что в современном постиндустриальном обществе налицо частичная утрата культурного многообразия, коль скоро стереотип потребления, несомненно, составляет важный элемент общей культуры.

Можно также утверждать, что формирование нынешних стандартов потребления прошло полностью по образцу, предложенному западными странами еще 50 лет тому назад, и это означает, что развивающимся странам, по-видимому, все-таки придётся пойти по пути так называемого догоняющего развития, то есть пройти последовательно те же самые стадии, которые уже пройдены странами развитыми.

Концепция догоняющего развития в практическом плане позволяет создать надёжный фундамент для долгосрочного прогноза развития энергетики и связанных с ним глобальных экологических последствий. Эта идея была в полной мере реализована нами при построении так называемых генетических прогнозов развития мировой энергетики⁴, которые показали впечатляющие результаты в сравнении с

³ Darmstadter J. et al. *How industrial societies use energy. Resources for the Future*. N.Y.: John Hopkins Press. 1977.

⁴ Клименко В.В., Клименко А.В. Приведёт ли развитие энергетики к климатическому коллапсу? // Теплоэнергетика. 1990. № 10; Клименко В.В., Терешин А.Г. Мировая энергетика и глобальный климат после 2100 г. // Теплоэнергетика. 2010. № 12.

данными энергетической статистики за последнюю четверть века. В самом деле, в течение всего этого периода отклонение статистических данных от прогнозных оценок не превышало, как правило, 2–3%. Для развивающихся стран, которые после 2005 г. стали главным потребителем энергии в мире, этот прогноз выглядит весьма утешительным: в силу того, что эти страны расположены в основном в низких широтах с высокими T_a , им нет необходимости для достижения высоких стандартов жизни наращивать потребление энергии до современного европейского и тем более до американского уровня, как это обычно предполагается⁵.

Оценка текущего и перспективного энергопотребления в регионах России

Проведём на основании кратко описанного выше научного подхода исследование энергообеспеченности России

⁵ Hafele W. In: *Carbon Dioxide, Climate and Society*. N.Y.: Pergamon Press. 1979. V. 1. P. 13–34; Бабаев Н.С., Демин В.Ф., Ильин Л.А. и др. *Ядерная энергетика, человек и окружающая среда*. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1984; *Special Report on Emission Scenarios*. IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

и её крупных регионов – федеральных округов (ФО).

Основные сведения о федеральных округах России приведены в табл. 1. Средние температуры воздуха на территории ФО, представленные в этой таблице, рассчитывались как средневзвешенные по численности населения регионов⁶, составляющих ФО, значения средней годовой температуры воздуха на метеостанциях, расположенных вблизи административных центров регионов за период 2000–2010 гг.⁷ Оптимальные значения энергопотребления $e_{\text{опт}}$ и $e_{0.75}$ для федеральных округов получены по соотношениям (1)–(2).

Объёмы и структура потребления энергии в ФО в 2000–2009 гг. (по данным⁸) представлены на рис. 4. Пере-

⁶ Центральная база статистических данных. Основные показатели деятельности отдельных отраслей экономики. М.: Росстат. 2014. Доступно: <http://www.gks.ru>

⁷ Массив данных среднемесячной температуры воздуха на метеорологических станциях России / Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 2013. Доступно: http://www.meteo.ru/climate/sp_clim.php

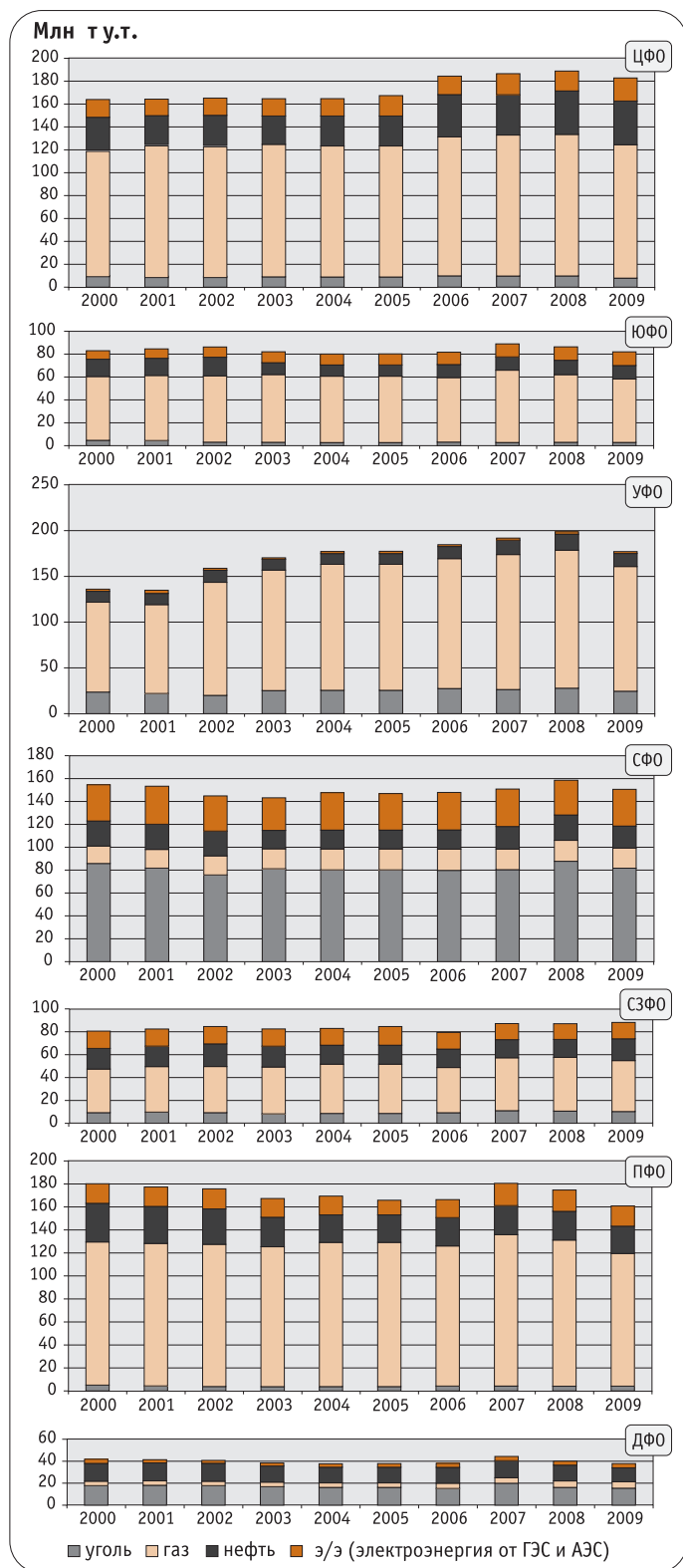
⁸ ТЭК и экономика регионов России. Т. 1–7. М.: ИД “Энергия”. 2007; Центральная база статистических данных. Основные показатели деятельности отдельных отраслей экономики. М.: Росстат. 2014. Доступно: <http://www.gks.ru>

Таблица 1

Площадь территории S , численность населения P , средневзвешенные годовые температуры воздуха T_a и удельное энергопотребление e в ФО России*, а также расчётные значения $e_{\text{опт}}$ и $e_{0.75}$

ФО	S , тыс. км ²	$S_{\text{эфф}}$, тыс. км ²	P , млн чел.	T_a , °C	e , т у.т./чел	$e_{0.75}$, т у.т./чел	$e/e_{0.75}$	$e_{\text{опт}}$, т у.т./чел	$e/e_{\text{опт}}$
Дальневосточный	6215.9	816	6.6	3.3	6.0	13.3	0.46	17.8	0.34
Приволжский	1038.0	1038	30.7	5.1	5.6	12.1	0.46	16.2	0.35
Северо-Западный	1677.9	1263	13.8	5	6.0	12.2	0.50	16.2	0.37
Сибирский	5114.8	615	19.7	1.2	7.6	14.7	0.52	19.6	0.39
Уральский	1788.9	689	12.2	3.2	13.9	13.4	1.04	17.8	0.78
Центральный	650.7	651	38.1	6.2	4.5	11.4	0.40	15.2	0.30
Южный	589.2	439	22.9	10.4	3.6	8.6	0.42	11.4	0.32
Россия	17075.4	5510	144.15	5.4	6.5	11.9	0.55	15.8	0.41

* Средние значения за период 2000–2010 гг. (см. ссылки 7–10).



счёт электроэнергии, выработанной на ГЭС, АЭС и за счёт НВИЭ, в первичную энергию проводился исходя из среднего расхода топлива на конденсационных ТЭС России в 330 г у.т./кВт · ч. Как видно из приведённых данных, за это десятилетие в большинстве регионов уровень энергопотребления существенно не изменился, некоторый рост отмечался в Центральном и довольно существенный – в Уральском округах, а в Приволжском ФО наблюдалось незначительное снижение энергопотребления.

Удельное энергопотребление ФО за период 2000–2009 гг. также отличалось крайне невысокими темпами роста (рис. 5), за исключением показателей Уральского ФО. Средние значения энергопотребления ФО за этот период приведены в табл. 1. По данным этой таблицы, в 2000–2009 гг. потребление энергии в Центральном и Южном ФО составляло лишь около 40% от минимально необходимого для обеспечения уровня жизни развитых стран в соответствующих природно-климатических условиях. Для Приволжского, Северо-Западного, Дальневосточного и Сибирского ФО этот показатель составляет 45–50%, и только в Уральском ФО современное энергопотребление даже несколько превышает предпола-

Рис. 4.
Объёмы и структура
энергопотребления
ФО в 2000–2009 г.

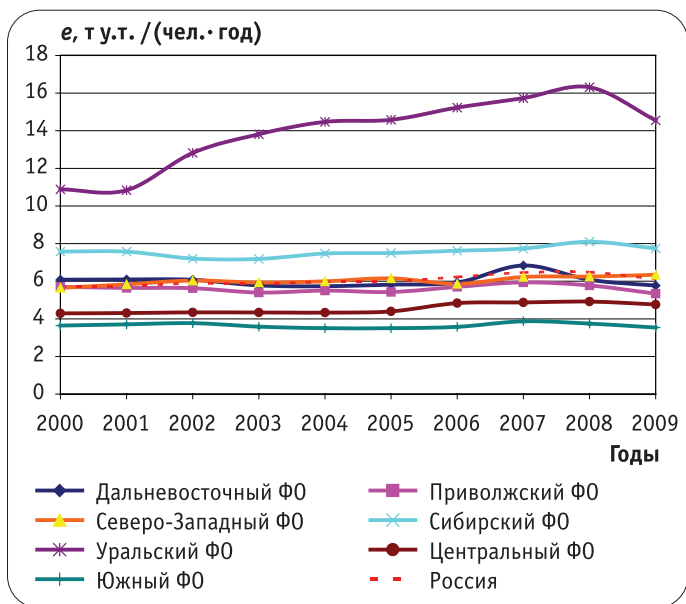


Рис. 5.
Динамика удельного энергопотребления
ФО в 2000–2009 гг.

гаемые необходимые значения, но всё равно оставалось на 20% ниже оптимального уровня. Однако последнее заключение – скорее статистический артефакт, поскольку не следует забывать, что именно Уральский ФО является основным производителем углеводородного сырья, что, в свою очередь, требует значительных дополнительных расходов энергии на добычу и транспортировку нефти и газа при невысоких потребностях в людских ресурсах. Кроме того, наличие собственных громадных углеводородных запасов приводит к их чрезмерному и расточительному использованию, что подтверждается известным примером

Таблица 2

Потребление энергии E_{2005} (среднее значение за 2000–2009 гг.), численность населения в 2030 г. P_{2030} , расчётные значения энергопотребления $E_{0.75}$ и $E_{\text{опт}}$, а также целевые показатели Энергетической стратегии для ФО и России в целом

ФО	E_{2005} , млн т у.т.	P_{2030} , млн чел.	Расчёт по (1)–(2)		Энергопотребление в 2030 г. E_{2030}							
			$E_{0.75}$, млн т у.т.	$E_{\text{опт}}$, млн т у.т.	E_{2030}/E_{2005}		E_{min} , млн т у.т.	$E_{\text{min}}/E_{0.75}$	$E_{\text{min}}/E_{\text{опт}}$	E_{max} , млн.. т у.т.	$E_{\text{max}}/E_{0.75}$	$E_{\text{max}}/E_{\text{опт}}$
					min	max						
Дальневосточный	39.8	5.5	74	98	1.7	1.9	70	0.96	0.72	79	1.07	0.80
Приволжский	171.8	27.8	337	449	1.2	1.4	214	0.64	0.48	250	0.74	0.56
Северо-Западный	84.0	13.8	168	224	1.4	1.6	122	0.73	0.55	140	0.83	0.63
Сибирский	149.9	18.4	271	362	1.4	1.6	218	0.80	0.60	249	0.92	0.69
Уральский	171.0	12.5	167	223	1.3	1.6	231	1.38	1.04	284	1.70	1.28
Центральный	173.3	39.8	453	604	1.4	1.6	252	0.56	0.42	288	0.64	0.48
Южный	83,5	24.0	205	274	1.5	1.6	130	0.63	0.48	139	0.68	0.51
Сумма ФО	873.3	141.8	1675	2234	1.4	1.6	1239	0.74	0.55	1430	0.85	0.64
Россия	942.7	141.8	1685	2247	1.5	1.7	1367	0.81	0.61	1556	0.92	0.69

ближневосточных стран (Кувейт, Катар, ОАЭ). Таким образом, несмотря на довольно высокие абсолютные цифры энергопотребления, которые вполне сопоставимы со среднеевропейскими или даже превосходят их, все ФО России оказываются энергодефицитными.

Теперь рассмотрим, насколько действующие стратегические программы в области энергетики в ближайшие десятилетия способны решить проблему энергетического дефицита в регионах России.

В табл. 2 даны расчётные уровни оптимального энергопотребления для федеральных округов (с использованием прогнозных оценок численности населения⁹), а также целевые ориентиры действующей Энергетической стратегии России на период до 2030 г.¹⁰ по увеличению потребления энергии. В этом документе ставится задача 60–70-процентного роста национального энергопотребления (по сравнению с уровнем 2008 г.), при этом максимальные темпы роста запланированы для Дальнего Востока, а минимальные – для Уральского и Приволжского федеральных округов.

В случае выполнения этих стратегических планов радикальное изменение энергообеспеченности ожидается только в наименее населённом Дальневосточном ФО, где энергопотребление в 2030 г. может приблизиться к оптимальному уровню, и в Уральском ФО, где этот уровень может быть даже превзойдён (об особенностях этого региона сказано выше). В Приволжском, Северо-Западном и Сибирском ФО реализация максимального варианта ЭС-2030 приведёт к достижению уровня энергопотребления в 55–70% от оптимального. Наиболее населённые южные и центральные регионы России даже в максимальном варианте получат только половину от необходимого им количества энергии.

Что касается минимального варианта ЭС-2030, а именно такой сценарий в настоящее время выглядит более вероятным¹¹, то его реализация должна лишь приблизить Россию к достижению минимальной планки оптимального энергопотребления развитой страны, расположенной в российских природно-географических условиях.

Выводы

Россия ввиду своего исключительно холодного климата и громадной территории занимает совершенно особое положение среди всех стран мира. Даже с учётом того, что её эффективная территория более чем в три раза меньше фактической (5.51 против 17.08 млн км²), предельная величина энергопотребления, рассчитанная по соотношению (2), составляет 15.8 т у.т./год · чел., что почти в 2.5 раза превышает современный уровень и существенно превосходит уровни США, Канады или Швеции (см. рис. 1). Вряд ли кто-нибудь сейчас согласится с этой цифрой, тем более что и без того Россия традиционно считается страной с высоким уровнем потребления энергии.

Однако всё сказанное выше позволяет заключить, что это традиционное представление, основанное на сопоставлении абсолютных цифр без учёта реальных природных условий, является глубоким заблуждением. За обладание огромным пространством с чрезвычайно холодным климатом приходится платить очень высокую цену. Чтобы достичь стандартов жизни развитых стран России необходимо значительно увеличить потребление энергии. Это требование вступает в противоречие с обязательствами стран в соответствии с Климатической конвенцией 1992 г. и Киотским протоколом 1997 г., которые, по сути, налагают запрет на рост эмиссии парниковых газов и, следовательно, на наращивание потребления органического топлива.

⁹ Предположительная численность населения России до 2030 г. Стат. бюлл. М.: Росстат. 2013.

¹⁰ Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. Утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

¹¹ Схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2013–2019 гг. Утв. приказом Минэнерго от 19 июня 2013 г. № 309.

ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ¹

Доктор экономических наук
С.Н. БОБЫЛЁВ (МГУ им. М.В. Ломоносова)

Сейчас в мире идёт активная разработка стратегии дальнейшего сокращения эмиссии парниковых газов, предполагающей сокращение эмиссии CO₂ в России и развитых странах на 20% к 2020 г. и на 80% к 2050 г. от уровня 1990 г.¹² Необходимо преодолеть сложившееся заблуждение и чётко осознать, что стартовые позиции России и развитых стран в вопросах динамики потребления энергии, эмиссии парниковых газов, охраны климата совершенно различны, скажем больше – чаще всего противоположны.

Если Россия все-таки намерена продолжать движение к стандартам жизни высокоразвитых стран, то она в течение многих десятилетий не сможет принимать на себя никаких обязательств по сокращению эмиссии парниковых газов и сдерживанию энергопотребления. Без сомнения, неизбежный отказ от сокращения эмиссии очень скоро может стать дополнительным источником геополитической напряжённости, когда процесс глобального потепления, почти остановившийся в последние 15 лет, возобновится с новой силой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (базовая и проектная части госзадания), РНФ (грант 14-19-00765) и РФФИ (гранты 13-08-00872 и 12-08-00367).

Энергетический сектор оказывает огромное воздействие на экосистемы и их услуги как в мире, так и у нас в стране. Такое воздействие порождает одну из глобальных экологических проблем, связанную с уменьшением биоразнообразия, и с каждым годом она всё больше обостряется по мере исчезновения новых видов. Современные темпы потери видов животных и растений в мире превышают естественные темпы в 50–100 раз. При сохранении этих темпов к 2020 г. исчезнет 15% всех существующих на Земле видов. Катастрофическое уменьшение биоразнообразия зависит, главным образом, от разрушения среды обитания в результате антропогенной деятельности. В энергетическом секторе добыча нефти и газа связана с отчуждением земли, строительством трубопроводов, компрессорных и распределительных станций; ГЭС трансформируют места естественного обитания животных и экосистемы, плотины и дамбы меняют местности и течение рек; угольные шахты приводят к широкомасштабным потерям мест обитания; ТЭС при сжигании ископаемого топлива воздействуют и разрушают окружающую среду.

Необходима реализация специальных экономических, правовых и организационных мер для смягчения экологического воздействия энергетики. В связи с этим определение реальной экономической ценности экосистемных услуг (ЭСУ) становится критически важным для принятия экономических решений и анализа на национальном и макро-уровнях различного рода программ и проектов, тенденций роста всей экономики. И здесь несомненна первоочередность идентификации ценности ЭСУ для энергетического сектора России, определяющего

¹² OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction. Paris: OECD Publishing. 2012.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-06-00385.