

Критические уровни в мировой динамике потребления первичных энергетических ресурсов

© 2009 Е.Н. Пронина

кандидат экономических наук, доцент

Московский государственный институт радиотехники,
электроники, автоматики (ТУ)

Исследуются структурные закономерности, проявленные в динамике мирового потребления первичных энергетических ресурсов. Показывается, что на длительном временном интервале 1900-2008 гг. наблюдаются колебания уровней энергопотребления в пределах одного экспоненциального канала, который является магистральным режимом развития. Фактические уровни энергопотребления, отмечающие моменты выхода на магистральный режим, схода с него, а также перехода с линии поддержки на линию сопротивления, совпали с расчетными значениями шкалы критических уровней энергии*.

Ключевые слова: энергопотребление, экспоненциальный рост, магистральный режим, время удвоения, шкала критических уровней энергии, фазовый переход.

Энергетике принадлежит ведущая роль в мировой экономике. Уровень развития мировой цивилизации, динамичный рост производства жестко связаны с потреблением энергии. По оценке Международного энергетического агентства (МЭА), спрос на энергоресурсы в период с 2006 по 2030 г. будет возрастать в среднем на 1,6% в год и увеличится с 11 730 до 17 010 млн. т нефтяного эквивалента¹. Таким образом, суммарный прирост за весь период составит 45%². Однако исследование количественных соотношений динамики мирового энергопотребления, прежде всего структурных закономерностей этой динамики, ставит под сомнение реалистичность достижения подобных уровней потребления при сохранении современных технологий выработки энергии.

Особенности мировой динамики энергопотребления на различных этапах развития мировой цивилизации. Сведения о потреблении первичных энергетических ресурсов за прошлые века очень неточны и носят характер оценок. Тем не менее, они дают представление о качественном характере мировой динамики энергопотребления на различных этапах развития мировой цивилизации. Динамика ежегодного потребления первичных энергетических ресурсов с третьего тысячелетия до нашей эры по настоящее время показана на рис. 1 (источником данных является

работа В.М. Сливко)³. График на этом рисунке построен в полулогарифмической системе координат. Для режимов развития с постоянными относительными приростами в такой системе координат наблюдаются линейные участки, угловые коэффициенты которых совпадают с темпами роста. Поэтому полулогарифмическая система координат оказывается естественным способом выделения участков развития с постоянными относительными приростами. Темпы роста вычисляются по формуле

$$r(t) = \ln[E(t+1) / E(t)],$$

где t - год;

$E(t)$ - энергопотребление в году t ;

$r(t)$ - темп роста на интервале $[t, t+1]$;

\ln - натуральный логарифм.

Если до 1600 г. имел место экспоненциальный рост с низким постоянным темпом около 0,05-0,06% в год, то в целом почти на всем интервале наблюдается рост с возрастающими относительными приростами: угловые коэффициенты на рис. 1 возрастают вплоть до 1980 г., и только после 1980 г. они начинают сокращаться. Динамика относительных приростов мирового ежегодного энергопотребления в 1600-2007 гг. показана на рис. 2. Ступенчатый график черного цвета рассчитан по агрегированному данным В.М. Сливко⁴, столбчатый серого цвета - по данным А.Г. Коржубаева с пятилетним шагом⁵.

Более трехсот лет, с 1600 по 1950 г., темпы роста линейно возрастали со временем. В сере-

* Кузьмин В.И., Галуша Н.А. Законы квантования в природе и технологиях. М., 2004.

¹ В дальнейшем все данные, касающиеся первичной энергии, выражены в эксаджоулях (ЭДж), 1 ЭДж=10¹⁸ Дж., 1 млн. т нефтяного эквивалента = 41,8·10⁻³ ЭДж. Следовательно, прогнозная оценка МЭА на 2030 г. составляет 711 ЭДж.

² World Energy Outlook 2008 (WEO-2008)/International Energy Agency/http://www/iea/org.

³ Сливко В.М. Энергетические аспекты развития древнейших цивилизаций. М., 1999.

⁴ Там же.

⁵ Коржубаев А.Г. Нефтегазовый комплекс России в условиях трансформации международной системы энергообеспечения. Новосибирск, 2007.



Рис. 1. Динамика мирового ежегодного потребления первичной энергии в период с 2800 г. до нашей эры по настоящее время

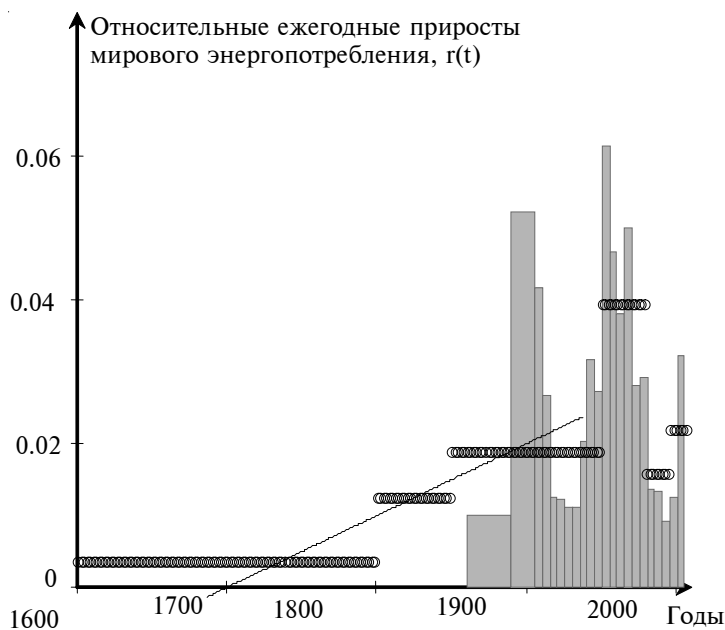


Рис. 2. Динамика относительных ежегодных приростов мирового энергопотребления

дине XX в. за очень короткий период времени, практически за 30 лет, они выросли вдвое. Если до 1950 г. относительные приросты ежегодного энергопотребления составляли 1,9%, то в период 1950-1980 гг. - 3,9% в год. Удвоение темпов прироста потребления первичных энергетических ресурсов явилось результатом демографического взрыва 50-х гг. прошлого века. Оно ста-

ло возможным благодаря изменению структуры мирового топливно-энергетического баланса, которое произошло в первой половине XX в. и привело к вытеснению твердых видов топлива более эффективными углеводородными ресурсами. Во второй половине XX в. доминирующим видом топливно-энергетических ресурсов стала нефть.

Нефть образуется в недрах Земли в результате геологических процессов на протяжении сотен миллионов лет, и поэтому в течение сравнительно коротких (в масштабах истории человечества) периодов является невоспроизводимым минеральным ресурсом. Интенсивный отбор нефтяных ресурсов в середине прошлого столетия привел к тому, что уже в начале 80-х гг. XX в. новые нефтяные открытия перестали восполнять добычу. Из-за дефицита дешевой нефти началось сокращение ее доли в совокупном энергопотреблении с последующим замещением нефти природным газом и углем. Таким образом, в 80-х гг. прошлого века в динамике потребления первичных энергетических ресурсов начался период развития с падающими относительными приростами.

Динамика энергопотребления полностью повторила качественные особенности мировой демографической динамики, продемонстрировав:

- трехсотлетний интенсивный рост с возрастающим знаменателем геометрической прогрессии в 1650-1950 гг.;
- скачкообразное удвоение темпов роста во второй половине XX в. (1950-1980 гг.);
- рост с падающими темпами после 1980 г.

(с пятилетним шагом) приводит в своей монографии А.Г. Коржубаев⁶. Достаточно полную информацию о ежегодном энергопотреблении в мире начиная с 1965 г., дают регулярные статистические обзоры British Petroleum⁷ (BP) и Energy International Administration⁸ (EIA). Расхождения в данных различных источников вызваны прежде всего различным составом первичных энергетических ресурсов, подлежащих учету. Например, статистические данные BP относятся только к коммерческой энергии; некоммерческая древесина, используемый на энергетические нужды торф, сельскохозяйственные отходы, мускульная энергия животных исключаются. BP не учитывает также энергетические установки, работающие на энергии геотермальных источников, ветра и солнца, тогда как в данных EIA эти первичные энергетические ресурсы присутствуют. Рисунок 3 является фрагментом рис. 1 и позволяет сравнить динамику ежегодного мирового энергопотребления в 1850-2007 гг. по различным источникам данных: данные British Petroleum за 1965-2007 гг. показаны треугольниками без заливки⁹, данные А.Г. Коржубаева с пятилетним шагом за 1850-2000 гг. - кружками¹⁰, данные Дар-

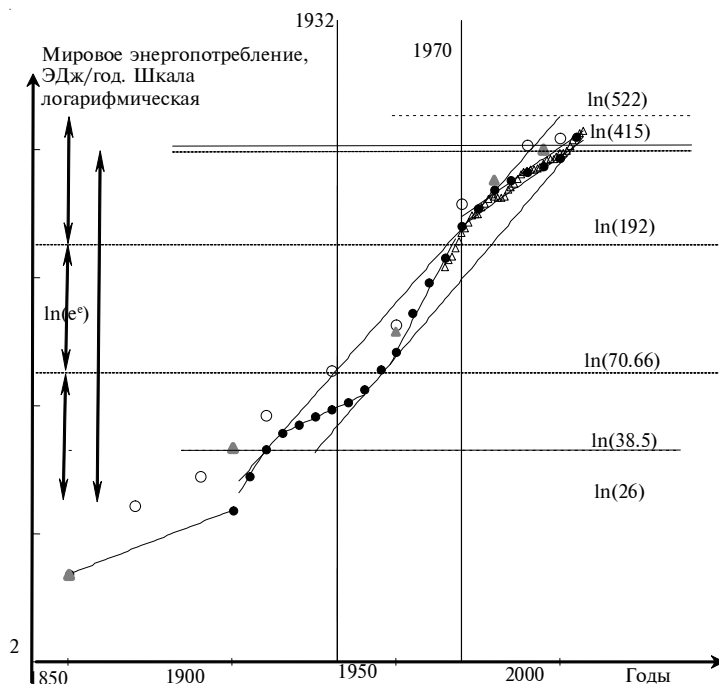


Рис. 3. Динамика мирового потребления первичных энергетических ресурсов. Полулогарифмическая система координат

Уточнение границ стадий развития, проявленных в динамике мирового энергопотребления, требует разукрупнения временных интервалов и более детальных статистических данных.

Сведения о потреблении первичных энергетических ресурсов в мире за последние 100 лет

⁶ Коржубаев А.Г. Указ. соч.

⁷ British Petroleum. Statistical Review of world Energy 2008. <http://www.bp.com/worldenergy>.

⁸ Energy Information Administration. <http://www.eia.doe.gov/aer/txt/ptb1701.html>.

⁹ British Petroleum. Statistical Review...

¹⁰ Коржубаев А.Г. Указ. соч.

мстадтера¹¹ за 1925-1965 гг. - треугольниками черного цвета, данные В.М. Сливко за 1850-1999 гг. - треугольниками серого цвета¹², данные П.С. Капицы за 1850-1999 гг. - кружками без заливки¹³.

В целом на временном интервале с 1850 по 2007 г. идет интенсивный рост, т.е. развитие с возрастающими относительными приростами (темпами прироста). Выделяются две долговременные тенденции роста: первая с низким темпом - около 1% в год - имеет место до 1900 г., вторая - после 1900 г. Здесь на временном интервале длительностью более 100 лет наблюдаются выраженные колебания в пределах одного широкого экспоненциального канала со средним темпом 2,9% в год, верхняя граница которого является линией сопротивления, а нижняя - линией поддержки. При переходе с линии поддержки на линию сопротивления относительные приросты ежегодного энергопотребления (темпы прироста) возрастают, происходит замещение одного доминирующего вида первичных энергетических ресурсов другим, более эффективным. Переход в обратном направлении сопровождается временным падением темпов прироста вследствие нехватки энергетических ресурсов.

В течение XX в. было четыре подобных перехода. Первый период интенсивного роста энергопотребления имел место в начале XX в., до первой мировой войны, когда преобладающим источником энергии был каменный уголь. В этот период средний темп прироста ежегодного энергопотребления составлял 4% в год. Второй период между двумя мировыми войнами отличался невысокими темпами прироста энергопотребления, около 1,2% в год.

Широкомасштабное внедрение двигателей внутреннего сгорания на транспорте в первой половине XX в. обусловило кардинальное изменение структуры мирового топливно-энергетического баланса, в результате которого в последние десятилетия доминирующими энергоресурсами стали нефть и природный газ.

После второй мировой войны имели место высокие темпы прироста ежегодного энергопотребления, в среднем около 5% в год. Как уже отмечалось выше, демографический взрыв 50-х гг. прошлого века привел к удвоению темпов энергопотребления. В результате за 30 лет, в 1950-1980 гг., из недр Земли было извлечено 86% всей нефти, добытой в 1859-1980 гг. В 1975 г. доля нефти в мировом топливно-энергетичес-

ком балансе достигла максимального уровня 44%, затем стала медленно сокращаться. После энергетических кризисов 70-х гг. прошлого века средние относительные приросты ежегодного энергопотребления также сократились до 1,8% в год. В результате в пределах экспоненциального канала произошел очередной переход с линии сопротивления на линию поддержки. Интенсивный рост экономик Китая и Индии в течение последних лет обеспечил точное следование динамики энергопотребления вдоль линии поддержки. Однако этот рост кратковременный, он уже практически завершен. В связи с тем, что в настоящее время нет энергетических ресурсов, альтернативных нефтегазовым ресурсам и сравнимых с ними по универсальности и эффективности, обратный переход с линии поддержки на линию сопротивления при сохранении существующих принципов выработки энергии невозможен. Длительный, более чем вековой период экспоненциального роста потребления первичных энергетических ресурсов подходит к концу.

Таким образом, весь анализируемый диапазон данных разбивается на две стадии: первая стадия - интенсивный рост, для нее характерны возрастающие относительные приросты энергопотребления (до 1950 г.), вторая стадия - ограниченный рост с падающими темпами. Переход от одной стадии к другой осуществился в начале 1950-х гг.: сначала скачком изменились темпы прироста, произошло их удвоение, затем возрастание относительных приростов сменилось падением, которое в конечном счете ведет к стабилизации ежегодного энергопотребления.

Интенсивный рост энергопотребления. Рассмотрим период 1850-1950 гг., когда средние относительные приросты энергопотребления возрастали. На рис. 4 показана корреляция потребления первичных энергоресурсов и его относительных приростов: ступенчатый график черного цвета построен по данным В.М. Сливко¹⁴; столбчатый с пятилетним шагом - по данным А.Г. Коржубаева¹⁵, пунктирный график построен по ежегодным данным British Petroleum¹⁶. На интервале 1850-1950 гг. имеет место линейная зависимость

$$r(E) = K \cdot E,$$

где K - коэффициент пропорциональности, т.е. темп роста прямо пропорционален уровню ежегодного энергопотребления. Темп роста является дискретным аналогом логарифмической производной, поскольку $r(t) = \ln[E(t+1)/E(t)] = \ln(E(t+1)) - \ln(E(t))$. Переходя к непрерыв-

¹¹ Darmstadter J. Energy in the World Economy, Resources for the Future, 1971.

¹² Сливко В.М. Указ. соч.

¹³ Капица С.П. Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. Очерк теории роста человечества. М., 1999.

¹⁴ См.: Сливко В.М. Указ. соч.

¹⁵ Коржубаев А.Г. Указ. соч.

¹⁶ British Petroleum. Statistical Review...

ному времени, получим дифференциальное уравнение $\frac{dE}{dt} = \dots$, или $\frac{dE}{E} = \dots$, с гиперболической зависимостью в качестве решения этого уравнения. Таким образом, простейшей математической моделью интенсивного роста

является гипербола $E = \frac{K}{T-t}$ с вертикальной асимптотой при $t = T$. Вблизи асимптоты значения анализируемого показателя неограниченно возрастают, а его обратные значения $1/E$, напротив, стремятся к нулю. Момент времени $t = T$, задающий положение вертикальной асимптоты, "критический, он определяет момент завершения старой тенденции, очередной структурной перестройки и перехода к новому этапу устойчивого развития.

Зависимость, обратная гиперболической, является линейной: $1/E = K(T-t)$. Поэтому, чтобы установить соответствие эмпирических данных гиперболической модели, следует перейти к обратным значениям: если динамика обратных уровней допускает приближение линейной зависимостью, то для прямых уровней адекватным описанием будет гиперболическая модель. По этой причине наряду с прямыми, общепринятыми уровнями потребления первичных энер-

горесурсов в настоящей работе проводится анализ динамики обратных уровней энергопотребления, выражающих длительность периода времени, в течение которого происходит потребление единицы энергии, эквивалентной, например, 1 ЭДж. Нулевое значение обратного уровня энергопотребления соответствует такому положению, когда длительность временного интервала равна нулю, т.е. 1 ЭДж расходуется мгновенно. Оценка предела роста энергопотребления по данным 1951-2003 гг. дает 520 ЭДж, по данным 1960-2005 гг. - 580 ЭДж.

Динамика обратных уровней ежегодного мирового энергопотребления показана на рис. 5. Четырем периодам, соответствующим переходам с линии поддержки на линию сопротивления и в обратном направлении, которые были выделены на рис. 3, на графике обратных уровней (рис. 5) отвечают четыре участка, допускающих линейное приближение. Точкам пересечения аппроксимирующих прямых с осью абсцисс соответствуют нулевые значения временных длительностей или бесконечные значения уровня ежегодного энергопотребления. Эти точки определяют моменты завершения сформировавшихся ранее тенденций и совпадают с мировыми кризисами:

- первая критическая точка - 1932 г. - великая депрессия;

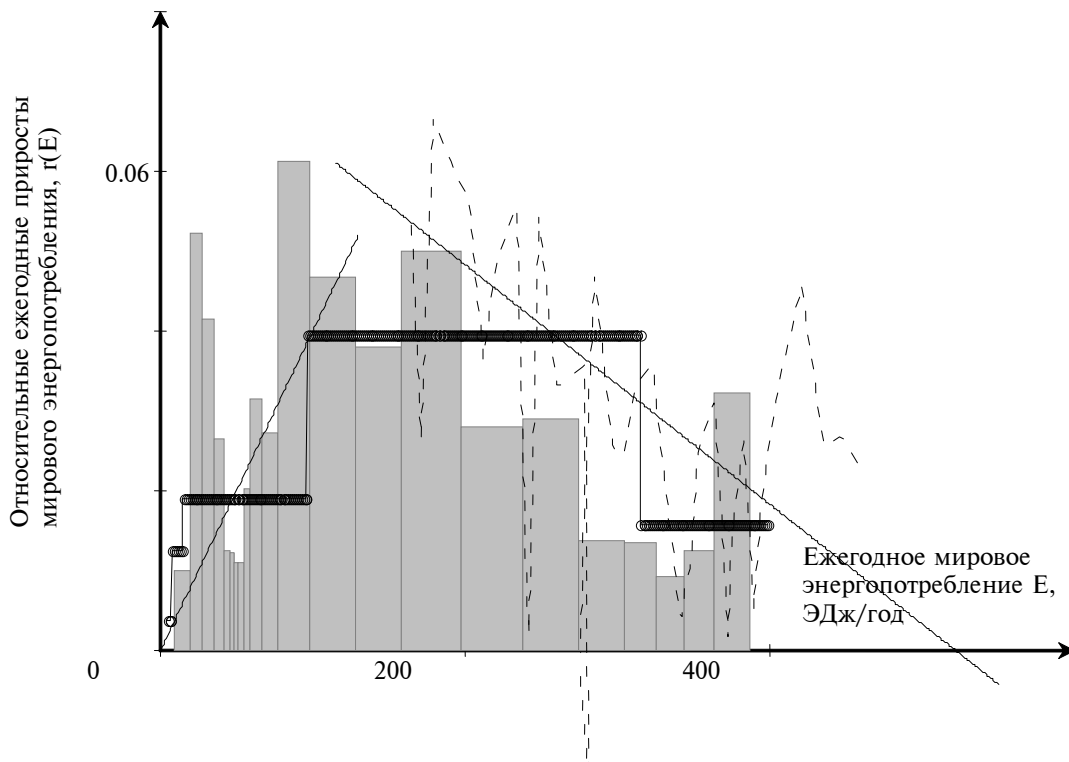


Рис. 4. Корреляционная зависимость между мировым ежегодным энергопотреблением и его относительными приростами

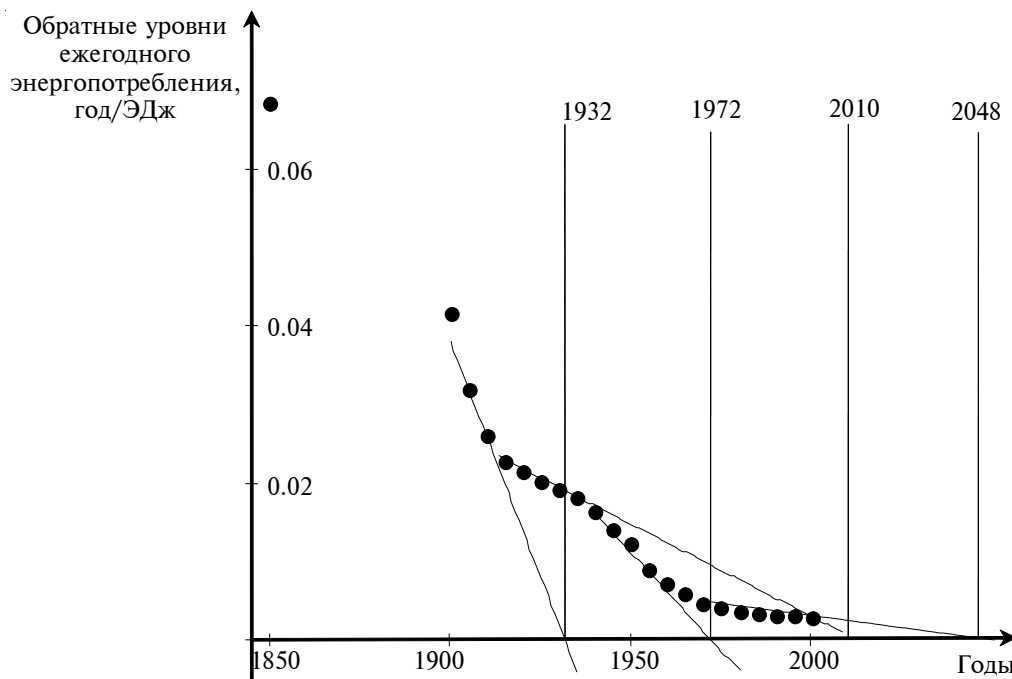


Рис. 5. Динамика обратных уровней мирового энергопотребления. Определение моментов завершения тенденций с возрастающими темпами

- вторая - 1972 г. - энергетический кризис;
- третья - 2010 г. - практически совпадает с начавшимся в 2007-2008 гг. мировым экономическим кризисом, который неизбежно приведет к сокращению мирового энергопотребления из-за рецессии промышленного производства. В результате можно ожидать, что к 2010 г. будет “пробита” линия поддержки экспоненциального канала, в пределах которого происходит развитие в последние 100 лет;

- четвертая критическая точка - 2048 г. - согласуется с демографическими прогнозами, в соответствии с которыми численность мирового населения к середине XXI в. стабилизируется, что в свою очередь приведет к стабилизации энергопотребления¹⁷.

Магистральный режим роста мирового энергопотребления. Диапазон 1900-2048 гг. оказывается разделенным на две неравные фазы. Первая - с 1900 по 2010 г. - является периодом длительного стабильного экспоненциального роста со средним темпом 2,9% в год.

Величина, обратная темпу роста K^{-1} , определяет характерное время процесса, по прошествии которого уровень мирового энергопотребления изменяется в $e \approx 2,72$ раза. Характерное время можно связать с периодом удвоения энергопотребления: $K^{-1} = T_{удв} / \ln 2 \approx 1,44 T_{удв}$. Для анализируемых здесь данных характерное время $K^{-1} \approx 34,5$ года, период удвоения $T_{удв} \approx 24$ года.

¹⁷ Анализ динамики кумулятивного мирового энергопотребления дает 2047 г. в качестве момента завершения тенденции интенсивного роста для интегральных данных.

В математической экономике введено понятие магистрального режима развития, которому соответствует сбалансированный рост с максимальным темпом. Очевидно, что за всю историю мировой цивилизации максимальный средний темп роста энергопотребления имел место в период 1900-2008 гг. Темпы прироста потребления первичных энергетических ресурсов “задают” темпы остальных отраслей мировой экономики и определяют в конечном счете их сбалансированный рост. Поэтому более чем столетний период 1900-2008 гг. является магистральным режимом развития.

Вторая фаза - с 2010 по 2048 г., составляющая приблизительно четверть цикла развития (1900-2048), согласно теории критических явлений¹⁸, представляет собой неустойчивую фазу развития. В этой фазе происходят коренные качественные изменения, разрушаются сложившиеся структурно-функциональные связи и образуются новые.

2010 г. разделяет весь цикл развития (1900-2048) на принципиально разные участки - устойчивый магистральный режим развития и неустойчивый режим, фазу перестройки. Современный мировой экономический кризис, предваряющий этот момент, по сути, является фазовым переходом, который неизбежно приведет к сокращению уровня энергопотребления и вызовет сход с магистрали, поскольку в настоящее время время возможности дальнейшего наращивания

¹⁸ Жирмунский А.В., Кузьмин В.И. Критические уровни в развитии природных систем. Л., 1990.

уровня энергопотребления в рамках существующих технологий выработки энергии исчерпаны. После завершения фазы перестройки начнется новый цикл развития с характерной для него новой магистралью.

Структурные закономерности динамики мирового энергопотребления. Обращает на себя внимание регулярность, которая имеет место в расстановке моментов завершения тенденций интенсивного роста, полученных выше по гиперболической модели: длительности промежутков времени между кризисами составляют 38-40 лет. Подобная регулярность является результатом влияния циклически повторяющихся, периодических факторов, которые формируют последовательность рубежей, построенную по закону арифметической прогрессии, с разностью, равной длительности основного ритма.

В природе существуют также другие механизмы расстановки критических рубежей, они порождают неравномерные ритмы, соответствующие геометрической прогрессии. Множество ритмов различных длительностей, равномерных и неравномерных, имеют место как по оси абсцисс, так и по оси ординат. В работе В.И. Кузьмина¹⁹ построена система дискретности физических величин, которая включает в себя шкалы критических значений линейных размеров, плоских углов, масс, временных интервалов, скоростей, энергии. Каждая шкала представляет собой геометрическую прогрессию со знаменателем, равным безразмерной критической константе e ,

или . За начало отсчета принимается система естественных физических единиц А. Руарка²⁰:

- скорость распространения света в вакууме $c = 2,99792458$ м/сек;
- масса покоя электрона $m_e = 9,10938215(45) \cdot 10^{-31}$ кг;
- комптоновская длина волны электрона $\lambda_e = 3,861509 \cdot 10^{-13}$ м.

Энергия квантов волнового поля, имеющего длину волны излучения λ , определяются формулой $E = hc/\lambda$, в соответствии с которой реперное значение энергии равно $5,145 \cdot 10^{-13}$ джоулей (h - постоянная Планка, $h = 6,626176 \cdot 10^{-34}$ Дж·сек).

На рис. 1 сплошными горизонтальными линиями показаны расчетные значения шкалы критических уровней энергии²¹, построенной от реперного значения $5,145 \cdot 10^{-13}$ джоулей по закону геометрической прогрессии со знаменателем e .

¹⁹ Кузьмин В.И., Галуша Н.А. Указ. соч.

²⁰ Томилин К.А. Фундаментальные постоянные и модели эволюции физики // Исследования по истории физики и механики. 2000. М., 2001. С. 183-206.

²¹ Там же.

В диапазон данных, характеризующих ежегодное мировое энергопотребление с 2800 г. до н.э. по 2007 г., попадают три расчетных значения шкалы энергии: 0,168; 2,54; 38,5 ЭДж. На временной оси им отвечают 2600-2700 гг. до н.э., 1500 год (начало промышленной революции), 1900-1932 гг.²²; следующий уровень шкалы 583,9 ЭДж еще не достигнут. Естественно ожидать, что в точках синхронизации ритмов различной длительности критическое явление будет выражено сильнее. Условия согласования арифметической и геометрической прогрессий сформулированы в теории критических явлений²³. Они приводят к особой совокупности критических уровней, получившей название ячейки развития, которая определяет целостную структуру данных. В названной работе показано, что 1/4 часть цикла развития приходится на неустойчивую фазу, ей отвечает смена структуры. Расчетные значения шкалы критических уровней энергии, перечисленные выше и показанные на рис. 1, являются рубежами ячейки развития. К рубежам ячейки относится также уровень, отстоящий от пер-

вой критической точки ячейки в раз и равный 271,5 ЭДж. Данный уровень определяет нижнюю границу фазы перестройки (показан на рис. 1 пунктиром). Таким образом, в динамике мирового энергопотребления на временном интервале протяженностью в несколько тысячелетий проявлена "ячейковая структура" с критической константой e . Неустойчивая фаза развития по уровню энергопотребления имеет место в диапазоне 271-580 ЭДж. Мировое сообщество вступило в эту фазу в 1978 г. и уже 30 лет находится в неустойчивой стадии развития.

Анализ детализированных данных на временных интервалах меньшей длительности выявляет еще одну "ячейковую структуру", с критическим соотношением e . На рис. 3 пунктирными горизонтальными линиями показаны расчетные значения шкалы критических уровней энергии, построенной от того же реперного значения по закону геометрической прогрессии со знаменателем e . Соответствующие значения уровней энергии: 26; 70,7; 192,1; 522,1 ЭДж. В мировой динамике энергопотребления эти критические значения приходились на 1900, 1950, 1968 гг. Значение 522 ЭДж еще не достигнуто. Неустойчивой фазе развития отвечает диапазон от 394 до 522 ЭДж²⁴. В результате имеем две

²² Поскольку имеются расхождения в источниках данных по энергопотреблению, временные моменты прохождения уровня 38,5 ЭДж также различаются, в частности, по данным Дармштадтера этот уровень был пройден в годы великой депрессии (рис. 3).

²³ Жирмунский А.В., Кузьмин В.И. Указ. соч.

²⁴ Уровень энергопотребления 394 ЭДж пройден в 2002 г.

вложенные одна в другую “ячейковые структуры”, которые различаются знаменателями геометрических прогрессий, их неустойчивые фазы также вложены одна в другую. Неустойчивые стадии развития по уровню энергии и по времени оказываются согласованными: для верхнего уровня иерархии фаза перестройки по уровню энергии началась в 1978 г., для нижнего - в 2002 г., а по шкале времени - в 2010 г., когда ожидается сход с магистрали.

Рост с насыщением. Период развития с падающими относительными приростами, который начался после энергетического кризиса 70-х гг. прошлого века, был рассмотрен в работах Лаэра²⁵. Анализ Лаэра основан на данных Международного института системного анализа за 1850-2003 гг., однако сами данные автором не приводятся по коммерческим соображениям. Лаэром установлено, что динамика энергопотребления во второй половине XX в. достаточно хорошо приближается логистической зависимостью, для которой характерно сокращение со временем относительных приростов. Математические модели были построены как для накопленного мирового энергопотребления, так и для ежегодного. Результаты Лаэра, а также их сравнение с оценками, полученными автором настоящей статьи на основе других моделей (Гомперца и модели с линейно убывающими темпами) по информации British Petroleum и А.Г. Коржубаева, показывают, что при рассмотрении данных на уровне ежегодного энергопотребления результаты для разных моделей практически совпадают. Увеличение интервала оценивания ведет к увеличению предела роста: сначала с 500 до 520, а затем до 580 ЭДж/год. Однако на уровне накопленных данных расхождения становятся зна-

чительными, и пределы роста для логистической модели и модели Гомперца отличаются приблизительно в e раз. Подобное расхождение всякий раз возникает при оценке предела роста S-образной кривой по данным, которые еще далеки от точки перегиба.

Следует отметить, что прогнозные оценки для максимального уровня ежегодного энергопотребления 520 и 580 ЭДж совпадают с расчетными значениями шкал критических уровней энергии, построенных от реперного значения по закону геометрической прогрессии со знаменателями e и e^e . Одновременно этими расчетными значениями отмечены верхние границы двух вложенных одна в другую неустойчивых фаз ячейковых структур, что повышает значимость полученных оценок.

Выводы. Вековой период магистрального развития мировой экономики в 1900-2008 гг. стал возможен благодаря длительному стабильному экспоненциальному росту энергопотребления с максимальным средним темпом. Современный глобальный экономический кризис, по существу, является фазовым переходом, он разделит весь полуторавековой цикл развития (1900-2048 гг.) на принципиально разные участки - устойчивый магистральный режим и неустойчивый режим развития (фазу перестройки). Кризис неизбежно приведет к сокращению уровня энергопотребления и вызовет сход с магистрали, поскольку в настоящее время возможности дальнейшего наращивания уровня энергопотребления в рамках существующих технологий выработки энергии исчерпаны. После завершения фазы перестройки начнется новый цикл развития с характерным для него новым способом получения энергии и новой магистралью.

Поступила в редакцию 07.04.2009 г.

²⁵ См.: Laherrure J. Modelling future oil production, population and the economy // ASPO Second international workshop on oil & gas. Paris, 2003. May 26-27; Он же. Peak oil and other peaks // ASPO (Association for the Study of Peak Oil and gas). Presentation at the CERN meeting on. 2005. 3 Oct.