

## Структурная динамика энергопотребления стран - мировых лидеров

© 2009 Е.Н. Пронина

кандидат экономических наук, доцент

Московский государственный институт радиотехники,  
электроники, автоматики (Технический университет)

Исследуются количественные соотношения, проявленные в динамике потребления первичных энергетических ресурсов регионов мира, лидирующих в мировом энергопотреблении (США, Китай, страны бывшего СССР). Показывается, что структурные закономерности этой динамики являются общими и повторяются в развитии разных стран, хотя и разнесены во времени.

*Ключевые слова:* энергопотребление, шкала критических уровней энергии, закономерности структурной динамики, внутреннее время.

В настоящее время лидерами мирового потребления первичных энергетических ресурсов являются США, Китай и страны бывшего СССР. В совокупности в 2007 г. эти регионы потребляли около половины (47%) всей произведенной в мире первичной энергии.

Анализ закономерностей динамики энергопотребления в США показал, что в период 1715-1970 гг. в США был реализован экспоненциальный режим роста потребления первичных энергетических ресурсов с постоянным средним темпом 2,9% в год, который обеспечил магистральное развитие американской экономики и позволил США на протяжении многих десятилетий опережать другие страны<sup>1</sup>. После 1970 г. в США начался сход с магистрали, вызванный нехваткой топливно-энергетических ресурсов, которые стали фактором, лимитирующим наращивание производства и потребления энергии. Доля США в мировом суммарном потреблении первичных энергетических ресурсов неуклонно снижается, в целом, она сократилась с 46% от мирового уровня в 1950 г. до 21,3% в настоящее время<sup>2</sup>.

Доля СССР в мировом энергопотреблении росла до 1990 г. В 1950 г. СССР потреблял 11,6% суммарных мировых энергетических ресурсов, в 1970 г. - 15,5%, в 1990 г. - 17,5%. Развал СССР в 1991 г. совпал с экономическим кризисом, в результате которого доля стран, образовавшихся из бывшего СССР, в мировом энергопотреблении сократилась и в 2007 г. составила 9,3%.

На рис. 1 показана динамика энергопотребления стран бывшего СССР. С конца 30-х до начала 80-х гг. прошлого века, почти полвека, имел место экспоненциальный рост со средним темпом 5,5% в год. Величина, обратная темпу роста, определяет

<sup>1</sup> Пронина Е.Н. Закономерности трехсотлетней динамики энергопотребления в США // Экон. науки. 2009. № 6.

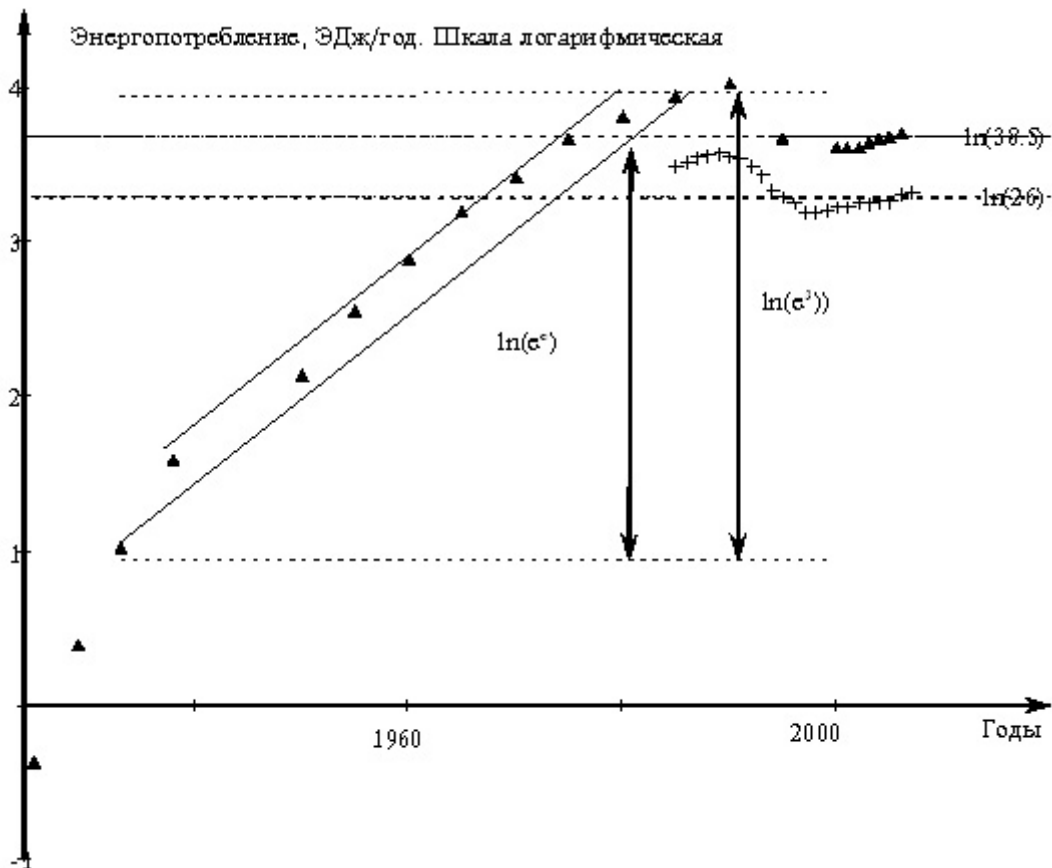
<sup>2</sup> Energy Information Administration. Mode access: <http://www.eia.doe.gov>.

характерное время развития, оно составляет 18 лет. Каждые 18 лет уровень энергопотребления в странах бывшего СССР вырастает в  $e \approx 2,72$  раза. Временная последовательность, построенная по закону арифметической прогрессии, с разностью, равной 18 лет, порождает геометрическую прогрессию уровней энергопотребления со знаменателем  $e$ . Множество ритмов различной длительности, равномерных (построенных по закону арифметической прогрессии) и неравномерных (построенных по закону геометрической прогрессии), имеют место как по оси абсцисс, так и по оси ординат. Естественно ожидать, что в точках синхронизации ритмов различной длительности критическое явление будет выражено сильнее. Условия согласования арифметической и геометрической прогрессии сформулированы в теории критических явлений<sup>3</sup>. Они приводят к особой совокупности критических уровней, получившей название ячейки развития, которая определяет целостную структуру данных. Показано, что 1/4 часть цикла развития приходится на неустойчивую фазу, ей отвечает смена структуры.

Горизонтальные линии на рис. 1 отмечают рубежи ячейки развития по уровню энергопотребления. После 1970 г. "график вошел" в неустойчивую зону - в фазу перестройки. Максимальный уровень энергопотребления, достигнутый в 1990 г., совпал с верхней границей фазы перестройки, после чего ежегодные уровни энергопотребления в странах бывшего СССР стали сокращаться. С 1995 г. по настоящее время уровень энергопотребления практически стабилизировался на нижней границе фазы перестройки, которая совпадает со значением шкалы критических уровней энергии 38,5 ЭДж<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Жирмунский А.В., Кузьмин В.И. Критические уровни в развитии природных систем. Л., 1990.

<sup>4</sup> Кузьмин В.И., Галуша Н.А. Законы квантования в природе и технологиях. М., 2004.



**Рис. 1. Динамика ежегодного энергопотребления в России и странах бывшего СССР, 1925-2007 гг. Полулогарифмическая система координат**

Источники данных: ВР\*, Дармстадтер\*\*, А.Г.Коржубаев\*\*\*.

\* ВР. Statistical Review of world Economy 2008. <http://www.bp.com/worldenergy>.

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

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

Энергопотребление России повторяет особенности динамики энергопотребления СССР лишь с тем отличием, что уровень стабилизации несколько ниже, но он также совпадает с расчетным значением шкалы 26 ЭДж<sup>5</sup>.

На фоне падения энергопотребления в России и в странах бывшего СССР в конце прошлого века происходил бурный рост потребления первичных энергетических ресурсов в странах Азиатско-Тихоокеанского региона. Самый значительный абсолютный прирост годового энергопотребления (около 1217 млн. т условного топлива, или 35,6 ЭДж) за последние пять лет имел место в Китае. Если в 1970 г. доля Китая в мировом энергопотреблении составляла всего лишь 4,7%, в 1990 г. - 8,4%, в 2000 г. - 10,4%, то к 2007 г. она выросла до 16,8%. Однако выйти из экспоненциального канала роста энергопотребления, сформированного в прошлом веке, Китаю не удалось. На рис. 2 показана ди-

намика роста энергопотребления в Китае в 1965 - 2007 гг. Средний темп роста составляет 5,1% в год (характерное время около 20 лет). Горизонтальные линии отмечают рубежи ячейки развития с модулем  $e$ . Расчетное значение шкалы критических уровней энергии 70,66 ЭДж (на котором начался сход с магистрали в США) было пройдено в 2007 г. Высокие темпы роста энергопотребления в Китае позволят обеспечить движение вдоль линии сопротивления, вплоть до 2010 - 2011 гг., после чего начнется неустойчивая фаза развития с характерным для нее сокращением относительных приростов и колебаниями уровней, что в конечном счете вызовет сход с магистрали.

Таким образом, с одной стороны, происходит кардинальное изменение мировой структуры энергопотребления, перераспределение ее центров. В то же время исследование количественных соотношений, проявленных в динамике потребления первичных энергетических ресурсов

<sup>5</sup> См.: Жирмунский А.В., Кузьмин В.И. Указ. соч.

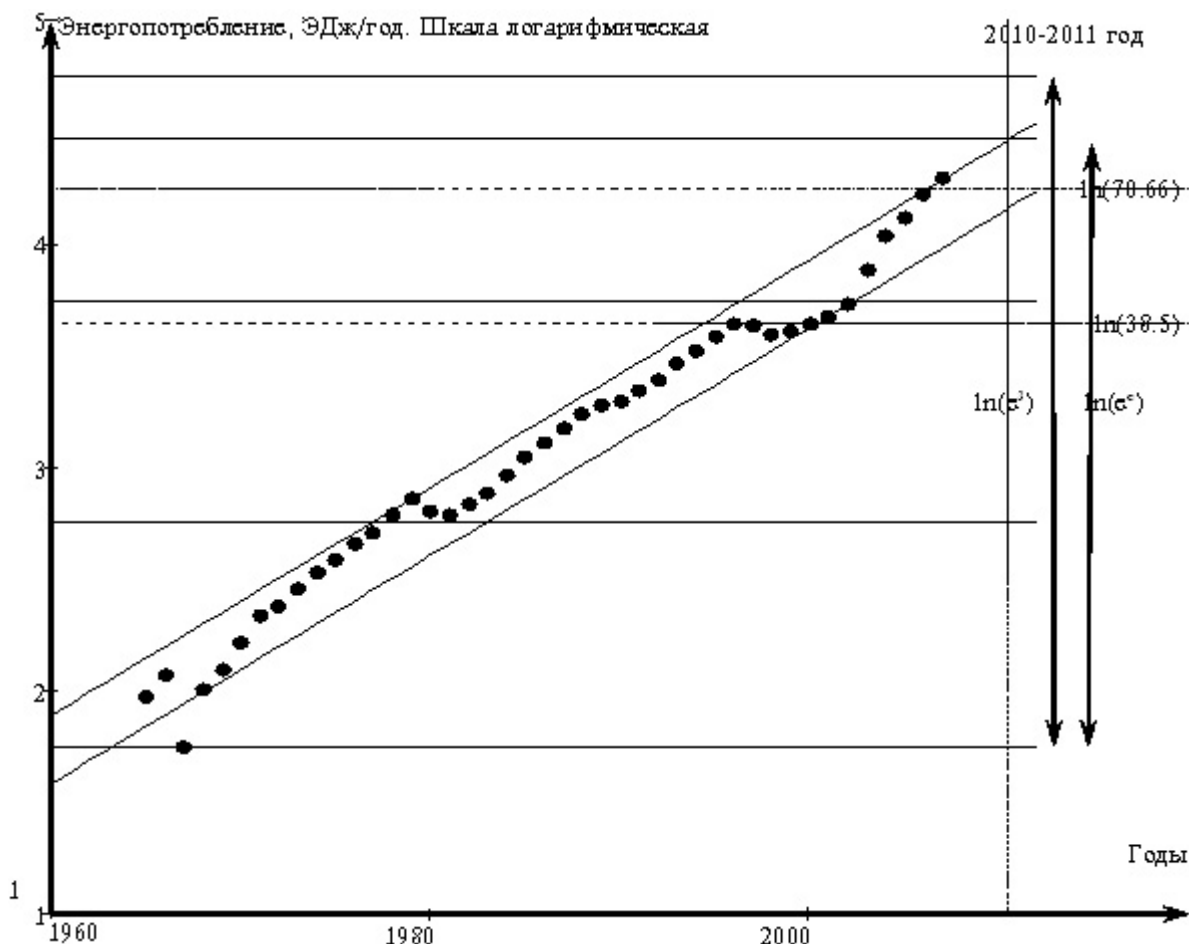


Рис. 2. Динамика ежегодного энергопотребления в Китае, 1965-2007 гг.

Источник данных: ВР.

различных регионов мира, прежде всего, структурных закономерностей этой динамики, показывает, что они являются общими и повторяются в развитии разных стран, хотя и разнесены во времени.

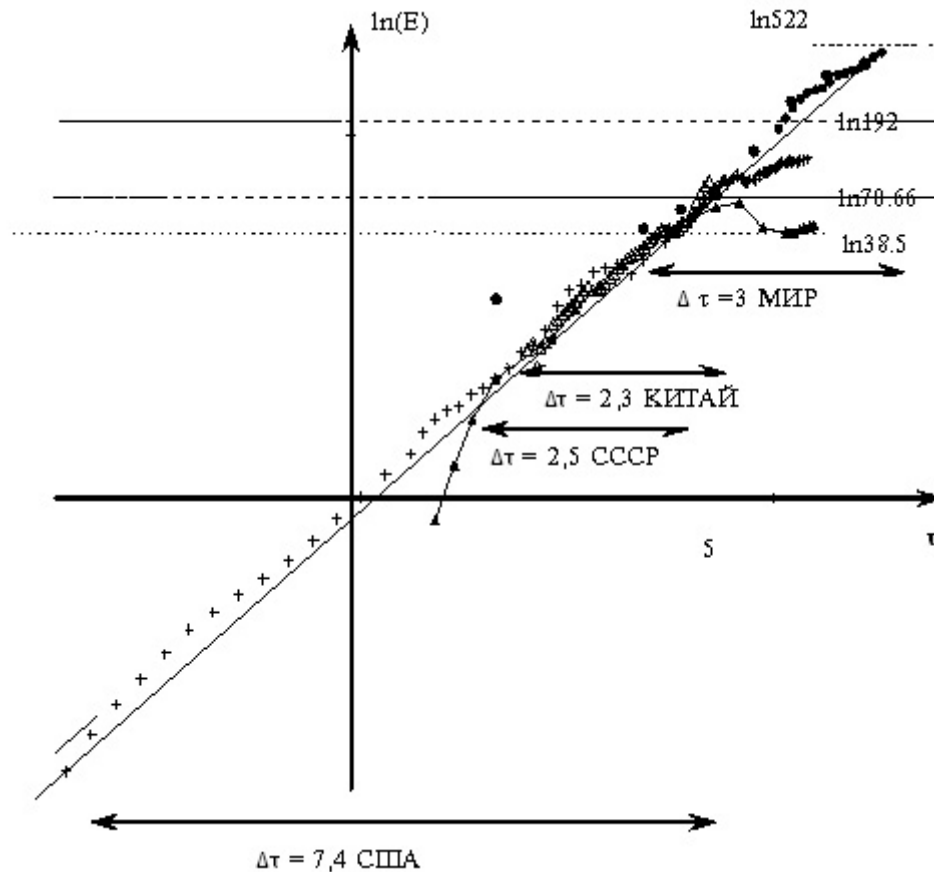
Сопоставим динамику мирового и регионального энергопотребления по скорости роста. Характерные времена мировой и американской динамики на магистрали совпадают - 34,5 года, в странах бывшего СССР - 18 лет, в Китае - 19,6 года, т.е. в каждом регионе динамика энергопотребления имеет свое внутреннее время. При "хронометрировании" в общепринятых единицах физического времени раскрыть внутренние законы развития, присущие разным объектам, как правило, не удается.

Еще в середине XIX столетия Карл Бэр, основатель эмбриологии, высказал мысль о том, что процессы эмбрионального развития животных структурированы в каком-то особом времени. Разные живые организмы могут "жить быстрее или медленнее" и даже в разных масштабах времени. Бэр пришел к выводу, что жизненный процесс является "не результатом органического

устройства, а ритмом (Rythmus), подобным мелодии, по которому органическое тело строится и перестраивается"<sup>6</sup>. Подобные рассуждения показывают значимость временной организации процессов различной природы и подтверждают справедливость идеи существования внутреннего времени.

Предложены различные определения внутреннего времени. В 60-е гг. прошлого века Т.А. Детлаф экспериментально доказала, что вся программа эмбриогенеза холоднокровных животных, развивающихся из яйца (насекомых, земноводных и рыб), в качестве кванта времени использует период первичных митотических дроблений яйцеклетки. Длительность интервала между одноименными фазами делений дробления получила название "детлафа". Если этапы эмбриогенеза выражать в детлафах, то при таком способе хронометрирования обнаруживается удивительное единообразие в развитии различных организмов, общие для разных видов животных закономерности эмбрионального развития. Несмот-

<sup>6</sup> Бэр К.М. История развития животных. Т. 1-2. М., 1950, 1953.



**Рис. 3. Динамика ежегодного энергопотребления в мире, США, Китае и в странах бывшего СССР (время безразмерное):**

“крестики” - динамика энергопотребления в США, “треугольники” с заливкой - в странах бывшего СССР, “треугольники” без заливки - в Китае, “кружки” - в мире, сплошная линия - биссектриса

ря на то, что физическое время детлафа у отдаленных биологических видов различно, фазы эмбриогенеза для них выражаются в строгих пропорциях митотических часов, другими словами, длительности одноименных фаз развития у самых различных организмов, выраженные в детлафах, совпадают<sup>7</sup>.

В работе А.Ф. Алимова и Т.И. Казанцевой<sup>8</sup> единица внутреннего (физиологического) времени определяется на основе процесса метаболизма. Если  $q(t)$  - удельная скорость обмена - количество энергии, потребленной единицей активной массы организма за единицу физического времени, то единица физиологического времени  $\hat{\alpha}(t)$  определяется как физическое время, за которое единица активной массы потребляет одну еди-

ницу энергии:  $\hat{\alpha}(t) = 1/q(t)$ . Поэтому единица физиологического времени  $\hat{\alpha}(t)$  оказывается величиной переменной, а само внутреннее время индивидуально и неравномерно относительно физического времени.

В настоящей работе внутреннее время, характеризующее динамику энергопотребления того или иного региона, определяется как линейная функция физического времени, т.е.  $\hat{\alpha}(t) = (t - t_{нач}) / r^{-1}$ , где  $t_{нач}$  - начало отсчета;  $r^{-1}$  - масштаб времени, равный величине, обратной темпу роста. Введенная здесь функция времени  $\hat{\alpha}(t)$  является безразмерной. Таким образом, единица внутреннего времени, характерная для магистрального режима мировой динамики энергопотребления и энергопотребления США, равна 34,5 года, для стран бывшего СССР - 18, для Китая - 19,6 года. В качестве начала отсчета  $t_{нач}$  будем рассматривать момент времени, для которого  $\ln(E) = 0$ , т.е.  $E = 1$  ЭДж.

На рис. 3 показаны четыре графика, характеризующих динамику ежегодного энергопотребления в мире, в США, Китае и в странах бывшего СССР. Каждый график построен в безраз-

<sup>7</sup> См.: Детлаф Т.А., Детлаф А.А. О безразмерных характеристиках продолжительности развития в эмбриологии // ДАН СССР. 1960. Т. 134. № 1. С. 199-202; Они же. Безразмерные критерии как метод количественной характеристики развития животных // Математическая биология развития. М., 1982. С. 25-39.

<sup>8</sup> Алимов А.Ф., Казанцева Т.И. Определение единицы внутреннего физиологического времени организма // Изв. РАН. Серия биологическая. 2007. № 3. С.347-353.

мерном времени, со своей характерной единицей масштаба, кроме того, начала отсчета  $t_{нач}$  совмещены. Для различных регионов мира имеют место общие структурные закономерности динамики энергопотребления: выход на магистраль, магистральный режим развития (совпадает с биссектрисой первого координатного угла) и сход с магистрали.

На магистральном режиме анализируемые регионы различаются по начальному и конечному уровням энергопотребления, по длительности движения вдоль магистрали, они различаются также по характеру выхода на магистраль и схода с нее.

Самой большой продолжительностью магистрального развития отличаются США - 7,4 ед. внутреннего безразмерного времени, тогда как в странах бывшего СССР та же величина составляет около 2,5, в Китае она достигнет к 2010 - 2011 гг. значения 2,3, в целом по миру - 3 ед. безразмерного времени.

Выход на магистраль происходит по-разному: для США, Китая и стран бывшего СССР - "снизу". Такая траектория развития требует дополнительных усилий, так как для выхода на магистраль в этом случае необходимы более высокие, чем на самой магистрали, относительные приросты. Мировая динамика продемонстрировала возможность выхода на магистральный режим "сверху". В результате относительные приросты мирового энергопотребления в начале прошлого века выросли в 3 раза.

Магистральный режим по уровню энергопотребления укладывается в каждом из рассмотренных регионов в устойчивый диапазон ячей-

ки развития. Для США<sup>9</sup> иерархический уровень критической константы, задающей модуль ячейки, равен  $e^e$ , тогда как для Китая, России и стран бывшего СССР имеют место ячейки с модулем  $e$ . В мировой динамике проявлены две вложенные одна в другую ячейковые структуры развития<sup>10</sup> с критическими константами разных уровней иерархии, равными  $e$  и  $e^e$ .

В окрестности расчетных значений шкалы критических уровней энергии, граничащих с фазой перестройки, происходит сход с магистрали. Наблюдаются два возможных типа поведения за магистралью:

- первый - продолжительный медленный рост, как в случае США;
- второй - быстрый подъем в пределах неустойчивой фазы, за которым следует глубокий кризис и спад, с последующей стабилизацией на критическом уровне энергии, как в России и странах бывшего СССР (см. рис. 1).

Таким образом, структурирование данных в специальном времени позволяет сравнивать разномасштабные процессы развития, которые идут с разными характерными временами. Анализ закономерностей структурной динамики энергопотребления показывает, что они являются общими и повторяются в развитии разных стран. Для различных регионов мира имеют место выход на магистраль, магистральный режим роста и сход с магистрали, но они отличаются разной длительностью и разнесены во времени. Как писал К. Маркс, "страна, промышленно более развитая, показывает менее развитой стране лишь картину ее собственного будущего"<sup>11</sup>.

*Поступила в редакцию 04.06.2009 г.*

<sup>9</sup> Пронина Е.Н. Закономерности трехсотлетней динамики энергопотребления в США // Экон. науки. 2009. № 6.

<sup>10</sup> Пронина Е.Н. Критические уровни в мировой динамике потребления первичных энергетических ресурсов // Экон. науки. 2009. № 5.

<sup>11</sup> Маркс К. Капитал. Т. I. М., 1973. С. 8-9.