УДК 338.244.42+338.12.017: 519.876

ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В БЫВШЕМ СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ БЕЗ ДИВЕРСИФИКАЦИИ И НОРМАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Мазуркин П.М.

Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, Россия, e-mail: kaf_po@mail.ru

Рассмотрена структура потребления электроэнергии в динамике от 1913 до 1987 гг. по отраслям хозяйства царской России и бывшего СССР, приведены устойчивые закономерности динамики производства и потребления по отраслям экономики и экспорта, а также дан анализ закономерностей потери электрической энергии в сетях распределения.

Ключевые слова: электроэнергия, выработка, потребление, структура, динамика, закономерности

ELECTRICITY CONSUMPTION IN FORMER SOVIET UNION WITHOUT DIVERSIFICATION OF PRODUCTION AND NORMALIZATION

Mazurkin P.M.

Mari State Technical University, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf_po@mail.ru

The structure of electricity consumption in the dynamics from 1913 to 1987 by branches of economy of Tsarist Russia and the former USSR, are stable patterns of changes in production and consumption by sector and exports, as well as an analysis of patterns of electric energy losses in distribution networks.

Keywords: electricity, production, consumption structure, dynamics, patterns

Рассмотрим структуру потребления электроэнергии (табл. 1) в динамике от 1913 до 1987 гг. по отраслям хозяйства бывшего СССР по данным из справочника [1].

Нами был введен параметр электроэнергетики η – ***коэффициент полезного действия*** (КПД) генерированного количества электрической энергии.

Таблица 1

Потребление электроэнергии в бывшем СССР [1, с.161, табл. 214]

Годы учета	Время, лет	Выработка электроэнергии, ТВт·ч	Потреблено электрической энергии , ТВт-ч				Экспорт электроэнергии, ТВт·ч	Потери в сетях	
			промышленностью	сельским хозяйством	транспортом	другими отраслями		ТВт·ч	1 – η
1913	0	2,0	1,6	0,010	0,02	0,4	0	0,07	0,0350
1928	15	5,0	3,4	0,035	0,3	0,9	0	0,4	0,0800
1940	27	48,6	34,8	0,5	2,6	7,2	0	3,5	0,0720
1945	32	43,3	31,0	0,4	1,8	6,5	0	3,6	0,0831
1950	37	91,2	65,2	1,5	3,7	14,5	0	6,3	0,0691
1960	47	292,3	207,5	10,0	17,6	39,4	0,03	17,8	0,0609
1970	57	740,9	488,4	38,6	54,4	96,0	5,2	58,3	0,0787
1980	67	1294,0	772,9	110,9	102,8	181,3	19,1	106,9	0,0826
1987	74	1664,9	957,1	160,4	131,3	239,5	34,6	142,0	0,0853

Тогда разность 1 – η показывает ***долю потерь*** в электрических сетях

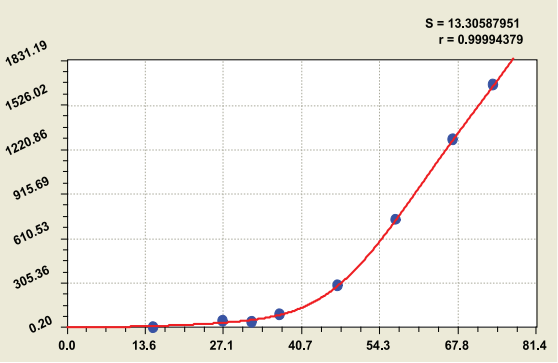
Выработка электроэнергии. Любое изменение динамического ряда сильно сказывается на математической модели, получаемой идентификацией устойчивых законов [2-4].

По данным табл. 1 была получен двухчленный тренд (рис. 1) в виде формулы

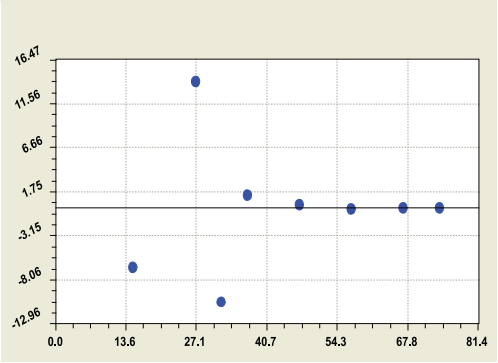
$$E = 1,33311\exp(0,33774t^{0,68699}) + 820497,55t^{77,32969}\exp(-127,54286t^{0,22766}). \quad (1)$$

Как видно из остатков формулы (1) на рис. 1, в советский период управляли статистической выборкой, чтобы представить позитивно закон неуклонного линейного роста. Однако, первая составляющая (1) показывает закон экспоненци-

ального роста в полной конструкции. Без степени 0,68699 получаем закон Мандельброта (в физике), Парето (в экономике) и Ципфа (в биологии). Вторая часть формулы (1) показывает антропогенное возбуждение.



По двухчленному тренду (1)



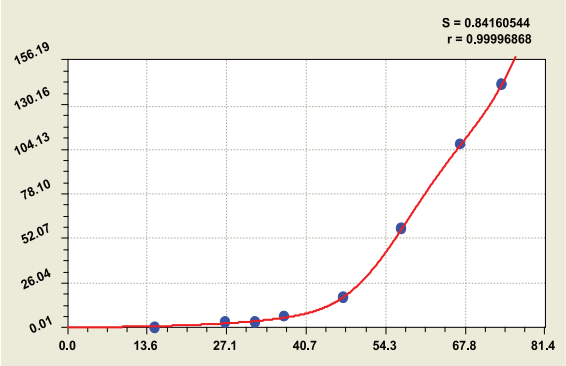
По остаткам от тренда (1)

Рис. 1. Графики динамики производства электроэнергии в царской России и бывшем СССР (абсцисса – время t, ордината – количество электроэнергии E, в правом верхнем углу графика даны: S – сумма квадратов отклонений, r – коэффициент корреляции формулы (1) тренда)

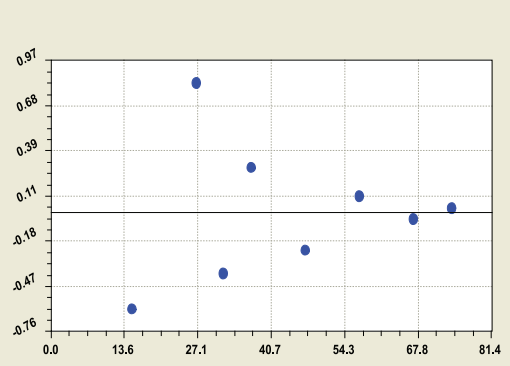
Волна возмущения наблюдается только до 1950 года. Но в табл. 1 принята периодичность в пять лет, что нарушает ***физический принцип экономики***, поэтому нужны динамические ряда с ежегодными статистическими данными. Тогда будут заметны и волны.

Потери электроэнергии в сетях. Этот показатель характеризует качество логистической системы электроэнергетики. Была получена формула тренда (рис. 2) вида

$$E_n = 0,28948\exp(0,090340t^{0,97178}) + 5,93584\cdot 10^{-48}t^{132,36405}\exp(-125,99188t^{0,29958}). \quad (2)$$



По двухчленному тренду (2)



По остаткам от тренда (2)

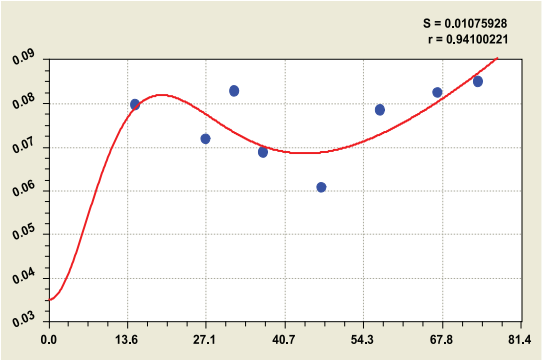
Рис. 2. Графики динамики потерь электроэнергии в сетях линий электропередачи

Конечно же, абсолютные потери электроэнергии не смогут дать картину качества.

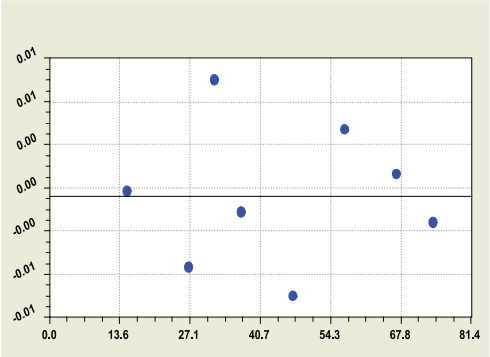
Доля потерь в распределительных сетях. Достижения в области энергосбережения определяются (рис. 3) трендом в виде биотехнической закономерности

$$1-\eta = 0,035068\exp(0,012591t^{0,99421}) + 0,00038613t^{2,47501}\exp(-0,14074t^{1,00359}). \quad (3)$$

По-видимому, первая составляющая модели (3) показывает рост доли потерь электроэнергии из-за увеличения протяженности ЛЭП и других видов распределительных сетей. Но для окончательного вывода нужно будет сопоставлять с динамикой всей инфраструктуры.



По двухчленному тренду (3)



По остаткам от тренда (3)

Рис. 3. Графики динамики относительных потерь электроэнергии в сетях линий электропередачи

Человеческий фактор персонала (второй член формулы) сильно заметен: вплоть до 1960 г. наблюдались высокие потери в электросетях. Возмущение показано на рис. 4.

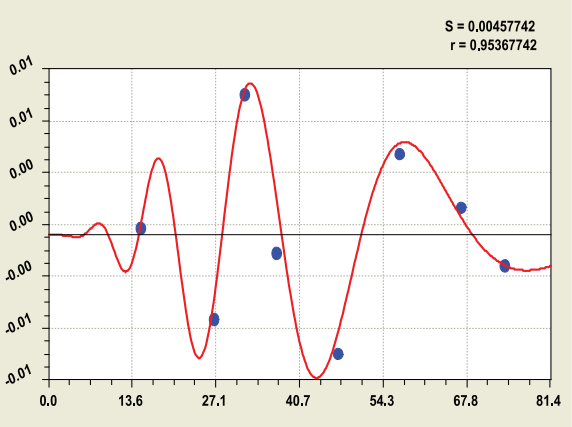


Рис. 4. Колебательное возмущение относительных потерь

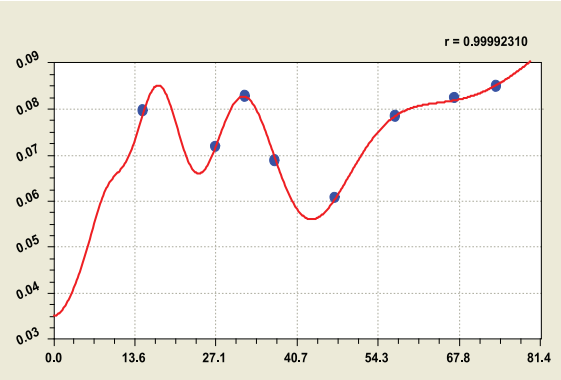
Максимальная относительная погрешность остатков от (3) достигает 10 %, поэтому значима волновая составляющая колебательного возмущения электроэнергетики страны по относительным потерям электроэнергии.

Из рис. 4 видно, что процесс возмущения успокаивается. При этом нарастает период изменения качества передачи электроэнергии потребителям.

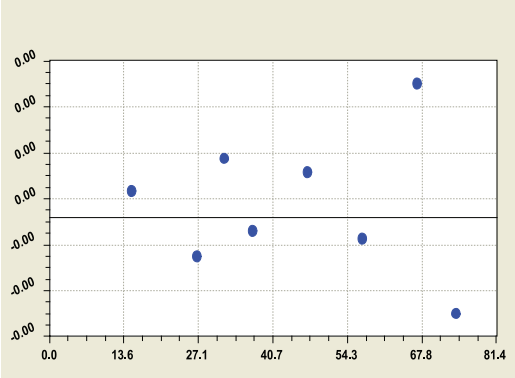
Объединяя уравнения, была получена (рис. 5) математическая (статистическая) модель

$$1-\eta = 0,035099\exp(0,013377t^{0,97849}) + 0,00042350t^{2,43363}\exp(-0,14467t^{1,00251}) -$$

$$-2,54330\cdot 10^{-6}t^{3,40652}\exp(-0,10665t^{0,99124})\cos\left(\frac{\pi t}{2,80142+0,072098t^{1,01188}} - 3,62363\right). \quad (4)$$



По математической модели (4)



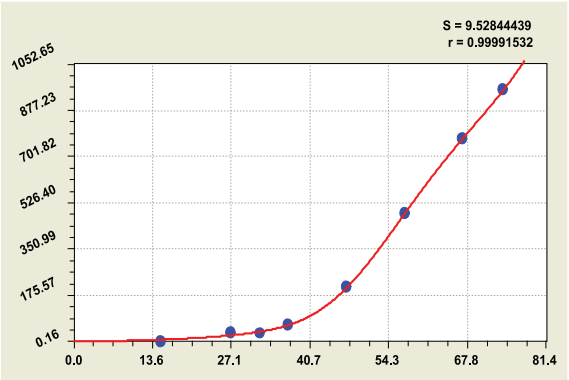
По остаткам от модели (4)

Рис. 5. Графики волновой динамики относительных потерь электроэнергии в сетях линий электропередачи

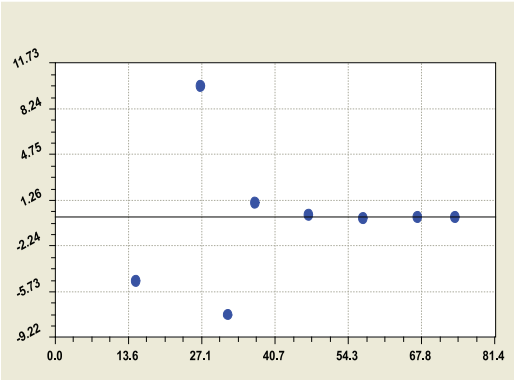
Именно анализ потерь показывает возможности энергосбережения, и здесь никогда не будет линейных закономерностей поведения изучаемой эргатической системы.

Потребление электроэнергии в промышленности. В Советском Союзе изначально промышленность ставилась на первое место (ныне в России другое – финансовая система и её борьба с инфляцией). После идентификации был получен (рис. 6) двухчленный тренд вида

$$E_{\text{пр}} = 0,86820\exp(0,36888t^{0,66927}) + 0,22487t^{86,31781}\exp(-128,36031t^{0,24230}). \quad (5)$$



По двухчленному тренду (5)



По остаткам от тренда (5)

Рис. 6. Тренд динамики потребления электроэнергии промышленностью в царской России и бывшем СССР

Остатки значимы до 1950 года, когда промышленность подверглась сильной встряске военным лихолетьем. Это возмущение заметно из графика на рис. 7.

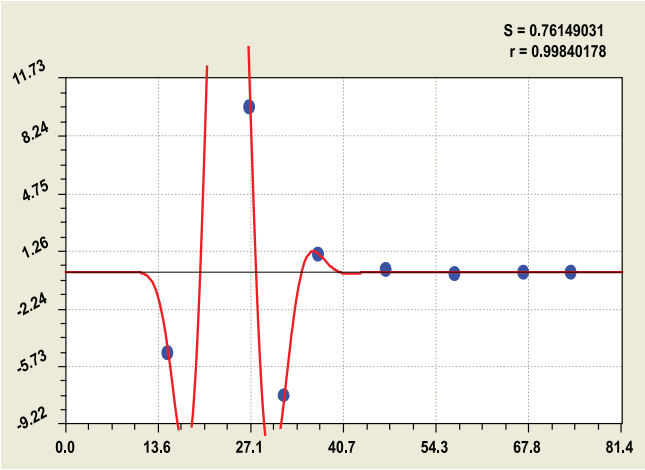


Рис. 7. Колебание потребления электроэнергии промышленностью бывшего СССР

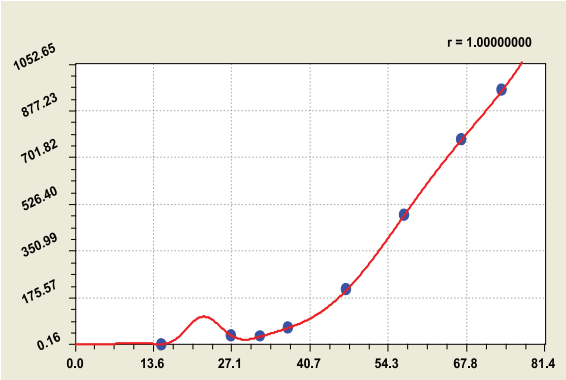
С 1955 года начался застой в развитии промышленности, потому что колебательные возмущения прекратились. А без них, прежде всего импульсных функций от нововведений (инноваций), ничего в экономике не развивается.

Совместно тренд и одна волна возмущения, после параметрической идентификации в программной среде CurveExpert-1.38 дали (рис. 8) формулу

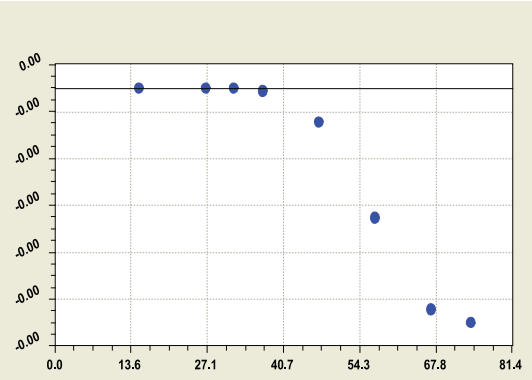
$$E_{\text{пр}} = 1,60000\exp(0,23933t^{0,74676}) + 0,18919t^{86,36942}\exp(-128,35940t^{0,24233}) +$$

$$+7,13179\cdot 10^{-24}t^{28,10578}\exp(-1,44526t^{0,97132})\cos\left(\frac{\pi t}{14,11211 - 0,19307t^{0,72915}} + 0,59181\right). \quad (6)$$

Положительный знак перед третьей составляющей показывает позитивное колебание потребления электроэнергии промышленностью. В 1913 году период колебания был равным 214,11211 28,2 года, а к 1985 году уменьшился до 19,5 лет. При этом амплитуда колебания потребления электроэнергии была максимальной в 1937 году.



По модели (6) с волновой составляющей



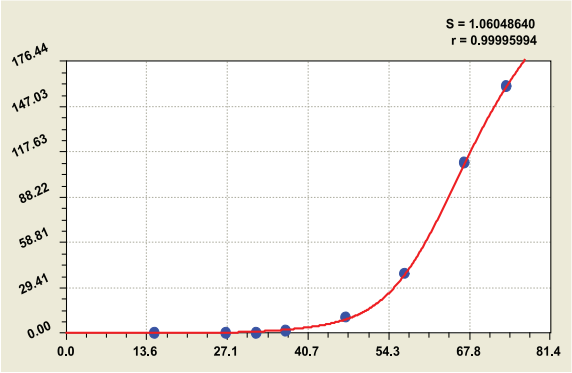
По остаткам от модели (6)

Рис. 8. Графики динамики потребления электроэнергии сельским хозяйством царской России и бывшего СССР

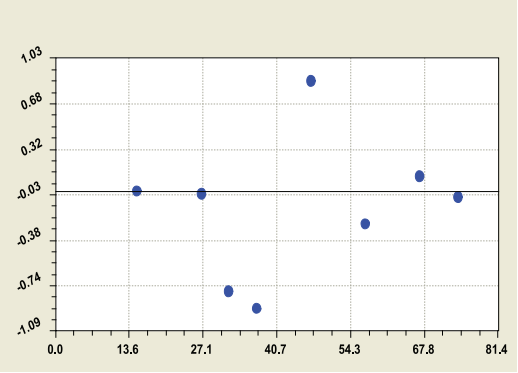
Из-за недостатка данных за период 1928-1940 гг. (нужны ежегодные данные) общий график модели (6) показывает выпуклость. По остаткам видно, что с 1950 г. появилась новая волна возмущения, которая будет заметной надолго и после 1987 года.

Потребление электроэнергии в сельском хозяйстве. После обработки данных табл. 1 был получен (рис. 9) тренд в виде формулы

$$E_{\text{сх}} = 2,93741\cdot 10^{-18}\exp(26,72827t^{0,12014}) + 8,78520\cdot 10^{-59}t^{39,35997}\exp(-0,13798t^{1,26118}).(7)$$



По двухчленному тренду (7)



По остаткам от тренда (7)

Рис. 9. Графики динамики потребления электроэнергии сельским хозяйством в царской России и бывшем СССР

Остатки после тренда (7) значимы и дали (рис. 10) волну колебательного возмущения (асимметричный вейвлет-сигнал, который нужно научиться расшифровать для принятия эффективных мер технологического развития и роста).

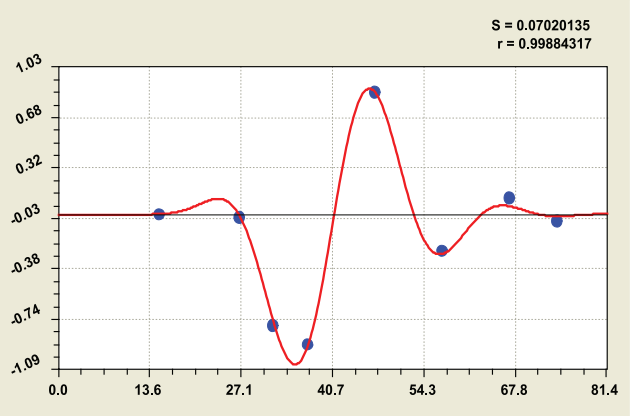
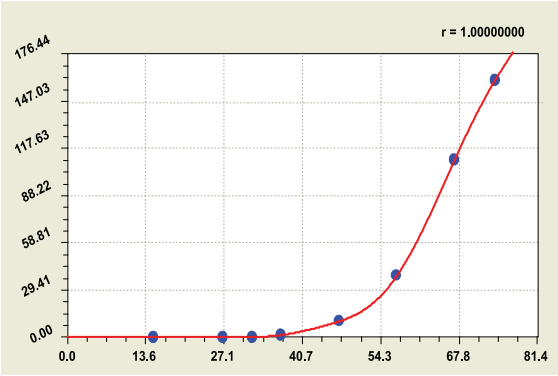


Рис. 10. Колебание потребления электроэнергии сельским хозяйством бывшего СССР

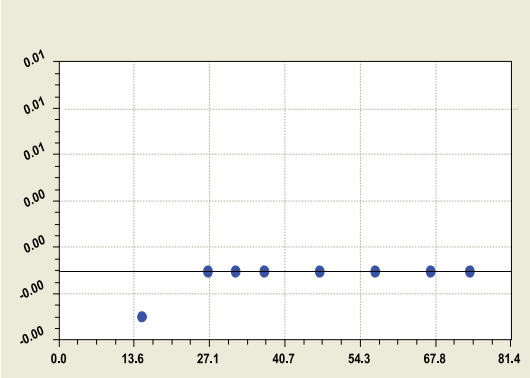
После совместной параметрической идентификации была получена (рис. 11) общая закономерность вида

$$E_{\text{сх}} = 2,93987\cdot 10^{-18}\exp(26,72825t^{0,12013}) + 8,82704\cdot 10^{-59}t^{39,36075}\exp(-0,13799t^{1,26121}) -$$

$$-2,44813\cdot 10^{-20}t^{17,03752}\exp(-0,44206t^{0,99766})\cos\left(\frac{\pi t}{20,50068-0,10279t^{1,00504}} - 0,041786\right). \quad (8)$$



По модели (8) с волновой составляющей



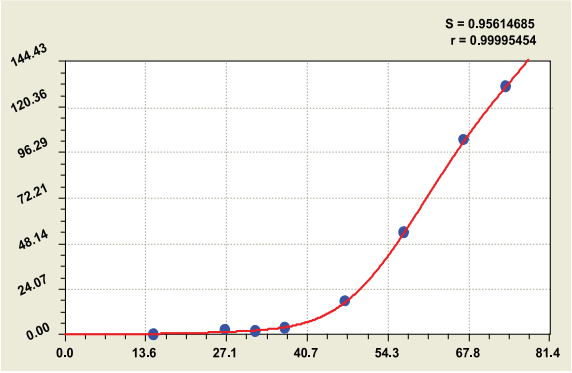
По остаткам от модели (8)

Рис. 11. Графики динамики потребления электроэнергии сельским хозяйством царской России и бывшего СССР

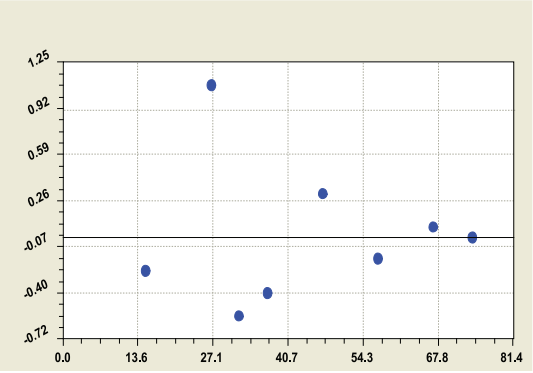
Сельское хозяйство, даже при удивительно богатых природных и земельных ресурсах, хотя царская Россия и считалась аграрной страной, не является приоритетной отраслью. У нас приоритеты вообще не связаны с первичными потребностями человека (у нас – нанотехнологии, а ранее – электронизация, а в США ныне – стволовые клетки для здоровья людей). Крепостничество крестьян формально было отменено в 1861 году, а реально только в 1961 г. известным указом Н.С. Хрущева о выдаче паспортов сельчанам. Ныне снова приходит крепостничество, но уже технологическое, снабженческое, информационное и пр.

Потребление электроэнергии в транспорте определилась (рис. 12) формулой тренда

$$E_{\text{тр}} = 0,10651\exp(0,16484t^{0,84292}) + 0,0018484t^{35,99283}\exp(-128,45397t^{0,23908}). \quad (9)$$



По двухчленному тренду (9)



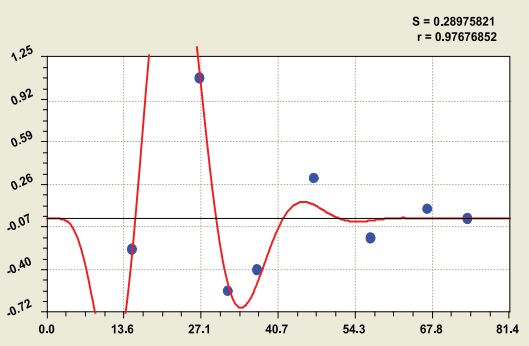
По остаткам от тренда (9)

Рис. 12. Графики динамики потребления электроэнергии транспортом в царской России и бывшем СССР

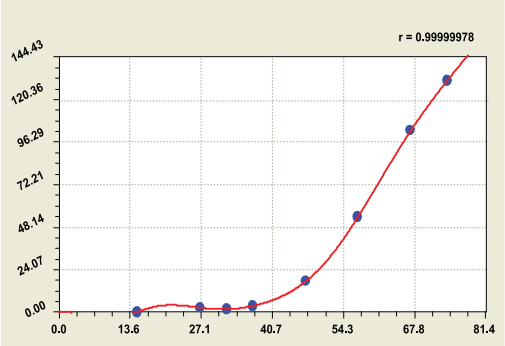
По остаткам на рис. 12 от формулы (9) была получена волновая составляющая, а после совместной параметрической идентификации – общая модель (рис. 13) вида

$$E_{\text{тр}} = 0,11414\exp(0,17320t^{0,82865}) + 0,0016086t^{35,99296}\exp(-128,45447t^{0,23899}) -$$

$$-0,44862t^{2,61690}\exp(-0,61896t^{0,74397})\cos\left(\frac{\pi t}{20,12664-0,48561t^{0,67261}} - 1,23591\right). \quad (10)$$



По волновой асимметричной вейвлет-функции



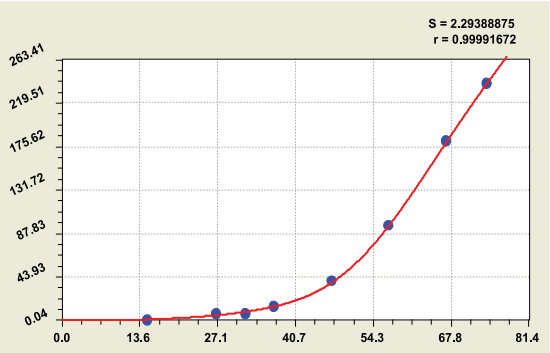
По общей биотехнической модели (10)

Рис. 13. Графики динамики потребления электроэнергии транспортом царской России и бывшего СССР

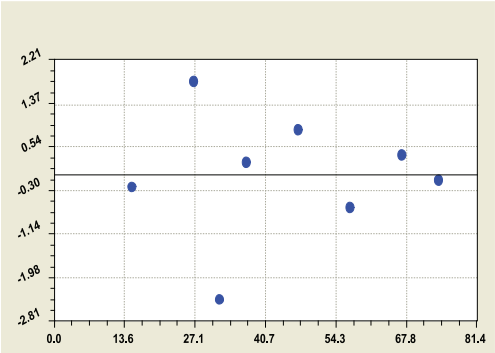
Застой в колебательных возмущениях развития транспорта началось с 1975-1080 гг.

Потребление электроэнергии в других отраслях хозяйства (рис. 14) имеет тренд

$$E_{\text{др}} = 4{,}10460 \cdot 10^{-5} \exp(5{,}35441 t^{0{,}23944}) + 0{,}10542 t^{83{,}25892} \exp(-128{,}36260 t^{0{,}23401}). \quad (11)$$



По двухчленному тренду (11)



По остаткам от тренда (11)

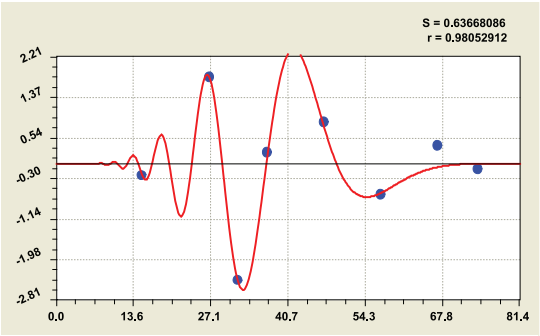
Рис. 14. Графики динамики потребления электроэнергии другими отраслями в царской России и бывшем СССР

Колебательное возмущение (рис. 15), как и при потреблении электроэнергии в сельском хозяйстве, имеет в сравнении с промышленностью большую протяженность во времени.

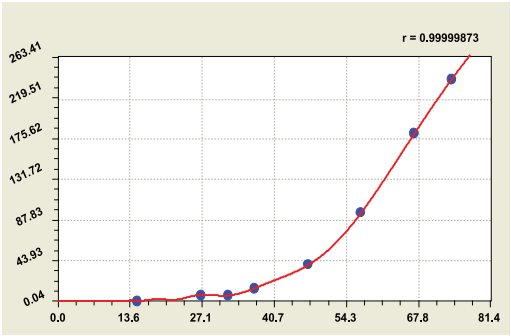
Общая статистическая модель (рис. 15) получает вид трехчленной формулы

$$E_{\text{др}} = 4{,}32706 \cdot 10^{-5} \exp(5{,}35196 t^{0{,}23844}) + 0{,}10857 t^{83{,}25990} \exp(-128{,}36112 t^{0{,}23403}) -$$

$$-5{,}05503 \cdot 10^{-6} t^{4{,}28387} \exp(-0{,}0027355 t^{1{,}86135}) \cos\left(\frac{\pi t}{0{,}24575 + 0{,}032158\, t^{1{,}01068}} - 1{,}36703\right). \quad (12)$$



По волновой асимметричной вейвлет-функции



По общей биотехнической модели (12)

Рис. 15. Графики динамики потребления электроэнергии другими отраслями хозяйства

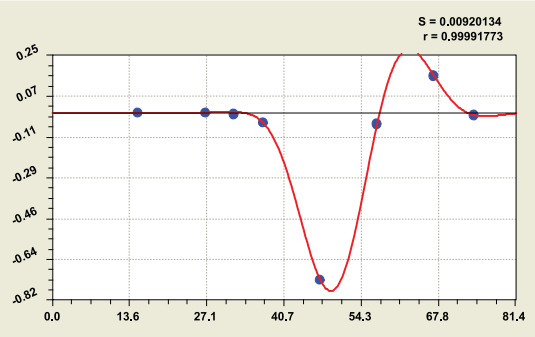
В отличие от сельского хозяйства и транспорта, другие отрасли успокаиваются, уменьшаясь по частоте колебательного возмущения. Уменьшение частоты (увеличение периода) является позитивным макроэкономическим свойством. Например [4], по сравнению с США в своем глубоком социально-экономическом кризисе Россия в 1994 г. имела колебание ВВП в 10,52/4,91 = 2,14 чаще. Затем период колебания у РФ возрастает, а у США снижается.

Потребление электроэнергии на экспорт. Тренд идет по закономерности вида

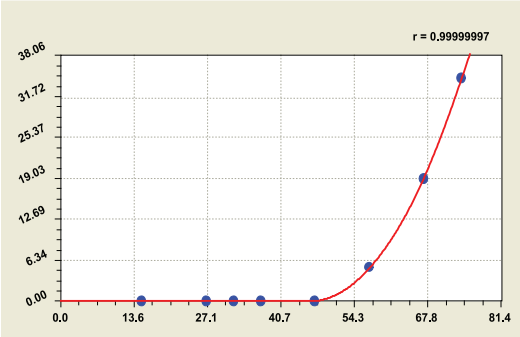
$$E_э = 5,66056 \cdot 10^{-28} t^{17,43743} \exp(-0,022296 t^{1,38812}), \quad (13)$$

а колебательное возмущение (рис. 16) дает общую модель:

$$E_э = 5,65877 \cdot 10^{-28} t^{17,43738} \exp(-0,022295 t^{1,38811}) - \\ -1,04243 \cdot 10^{-52} t^{40,72004} \exp(-0,79570 t) \cos\left(\frac{\pi t}{52,46591 - 0,36734) t + 2,10197}\right). \quad (14)$$



По волновой асимметричной вейвлет-функции



По общей биотехнической функции (14)

Рис. 16. Графики динамики потребления электроэнергии другими отраслями хозяйства

По сравнению с промышленностью процесс экспорта стал возмущаться с 1950 г., а до этого экспорта электроэнергии в СССР не было.

Доля РСФСР. Эта доля, по данным [1, с. 153] (табл. 1), изменяется по формуле

$$\xi = 64,47093 \exp(-0,00046047 t) + 5,12619 \cdot 10^{-70} t^{53,98567} \exp(-0,29083 t^{1,31491}). \quad (15)$$

Таблица 2

Производство электроэнергии, ТВт·ч

Годы	Время, лет	РСФСР	СССР	Доля РСФР, %
1913	0	1,3	2	65,0
1940	27	30,8	49	62,9
1950	37	63,4	91	69,7
1970	57	470,0	741	63,4
1980	67	805,0	1294	62,2
1987	74	1047,0	1665	62,9

Закономерность аналогична предыдущим трендам, но при этом первая составляющая формулы (15) изменяется по общеизвестному закону Парето (в экономике), Мандельброта (в физике) или Ципфа (в биологии). Это – закон гибели, то есть доля РСФСР снижалась.

Вывод

Электроэнергетика была и остается интегрирующей все отрасли национального хозяйства частью технологической базы. Однако, как показали наши исследования, даже по неполным (не ежегодным) статистическим данным [1], она сама развивалась, несмотря на очень пристальное внимание партии и правительства, с волновыми колебательными возмущениями. Тогда получается, что советский «закон неуклонного линейного роста» фактически не действовал, так как даже во всех трендовых моделях типа

$$y = y_{t=0} \exp(\pm a_1 t^{a_2}) + a_3 t^{a_4} \exp(-a_5 t^{a_6})$$

первая составляющая в двухчленной модели являлась в виде экспоненциального закона роста или гибели (спада). Заметно также влияние циклов солнечной активности (эффекта А.Л. Чижевского) на функционирование электроэнергетической системы страны.

Подробнее о моделировании: набрать в Google «Мазуркин Петр Матвеевич».

Статья подготовлена и опубликована при поддержке гранта 3.2.3/12032 МОН РФ.

Список литературы

1. Елохович А.С. Справочник по физике и технике: учебное пособие для учащихся. – 3-е изд., переаб. и доп. – М.: Просвещение, 1989. – 224 с.

2. Мазуркин П.М. Закономерности устойчивого развития. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 302 с.

3. Мазуркин П.М. Статистическая эконометрика: учеб. пос. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 376 с.

4. Мазуркин П.М., Порядина О.В. Эконометрическое моделирование: практикум. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – 204 с.