

УДК 338.244.42+338.12.017: 519.876

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ: ДЕРЖАТЬ ТРЕНД И/ИЛИ ГАСИТЬ ВОЛНЫ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ

Мазуркин П.М.

*Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, e-mail: kaf\_po@mail.ru*

Современная Россия имеет малую по времени предысторию, поэтому в статье предлагается анализ поведения электроэнергетики (при условии неизменности системы) на будущее при двух динамических рядах с 1913 года: электроэнергетика СССР–РФ и РСФСР–РФ по статистическим данным.

**Ключевые слова:** мощность электростанций, продолжительность работы, выработка электроэнергии

### PREDICTION OF THE RUSSIAN ELECTRICITY: KEEP THE TREND AND/OR EXTINGUISH WAVE OSCILLATORY PERTURBATIONS

Mazurkin P.M.

*Mari State Technical University, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf\_po@mail.ru*

Modern Russia has little time for the prehistory, so the article presents an analysis of the behavior of electricity (assuming the immutability of the system) for the future, the two time series from 1913: power of the USSR – Russia Federation and the RSFSR – Russian Federation on statistics.

**Keywords:** power plants, duration work, power generation

Современная Россия имеет малую по времени предысторию, поэтому в статье предлагается анализ поведения электроэнергетики (при неизменности условий) на будущее при двух динамических рядах с 1913 года: СССР–РФ и РСФСР–РФ по данным [1, 6, 9].

У читателя может возникнуть методологический вопрос: можно ли выявлять закономерности динамики при столь резко изменившейся структуре и поведении социально-экономической системы? Отвечаем «да», если представить страну как космический корабль, движущийся во времени и отбрасывающий отработанные ступени ракетных двигателей.

Вначале немного теории из зарубежного опыта производства и потребления.

#### Мышление и маркетинг

Рассмотрим продвижение товара. По вторим слова представителей умного и прозорливого изготовителя продукции [7]: «... старались предугадать тенденции развития процессов функционирования искомых машин и механизмов, обеспечить минимальные затраты на обслуживание и ремонт у потребителя, создать наилучшую комфортность в эксплуатации новых моделей машин, добиться высокой экономичности изготовления и последующей модернизации на собственных производствах».

Именно здесь решаются попутно и задачи энергосбережения. В отдельности технологии энергосбережения не бывает. При этом изучение спроса на искомые машины становится первичным этапом предпроектного обоснования (аванпроектирования) [3].

Суть нового мышления в машиностроении весьма удачно определили сотрудники ИБМ [7]: «Нельзя забывать о коренном различии между сбытом и маркетингом. В первом случае вы пытаетесь заинтересовать покупателя тем, что уже имеете, во втором – стараетесь заиметь то, в чем покупатель уже заинтересован».

Таким образом, процессы машиностроения, в том числе и энергетического машиностроения, если руководство страны хочет возродить его и в условиях сложного и перспективного менталитета Российской Федерации, в историческом аспекте [5], следует понимать двояко. С одной стороны, существуют общие закономерности возникновения, строения и развития любой машины и продукции в ее жизненном цикле; с другой – появление новой продукции и период ее физического и морального старения зависят, прежде всего, от интересов потребителя.

#### Закон маркетинга

Этот закон одинаков для изготовленного изделия или же для намеченного к производству макетного или опытного образца,

или же даже конструктивно-параметрического облика существующего на бумаге или в памяти компьютера ожидаемого продукта. Если ожидания окажутся у потребителей, то закрутится карусель **инновационного процесса**. Новаторы начнут изобретать, проектировщики – создавать облики изделий, конструкторы – считать на прочность и параметры технической характеристики, а технологии – думать и решать, как изготавливать будущее изделие. Экономистам здесь пока нечего делать. Они подключаются потом, на стадиях освоения изделий и их внедрения в среде потребителей.

Затраты на эти процедуры с доведением до опытно-промышленного образца возрастают в 30 раз по сравнению с серийными изделиями, если изготовитель создает его впервые.

В СССР на отложенных и не обновляющихся десятилетиями производствах, даже при малом изменении машины, стоимость образца возрастила в 10 раз. Ныне всем машиностроительным заводам нужно за-

чинать заново, поэтому нужно умножить коммерческую стоимость машины на 30. Например, только на проектно-конструкторскую разработку нового типа манипуляторной машины ЛП-19В многоотраслевого назначения для расчистки трасс ЛЭП и продуктопроводов, при нынешней стоимости в 5 млн рублей нужно выделять на три года не менее  $30 \cdot 5 = 150$  млн рублей. А на восстановление самого Йошкар-Олинского завода лесного машиностроения потребуется не менее 4–5 млрд рублей. Вот такой ныне оказалась цена научно непродуманной перестройки, при резком переходе на правильный поток честного капитала по формуле К. Маркса «товар – деньги – товар – ...».

### Закон сбыта

Впервые, по-видимому, этот *закон сбыта успешных изделий* четко сформулировали и показали на многих простых примерах А. Уилсон и М. Уилсон [8, с. 14–19]. Приведем кратко эту концепцию, а на рис. 1 для пояснений даны три схемы.

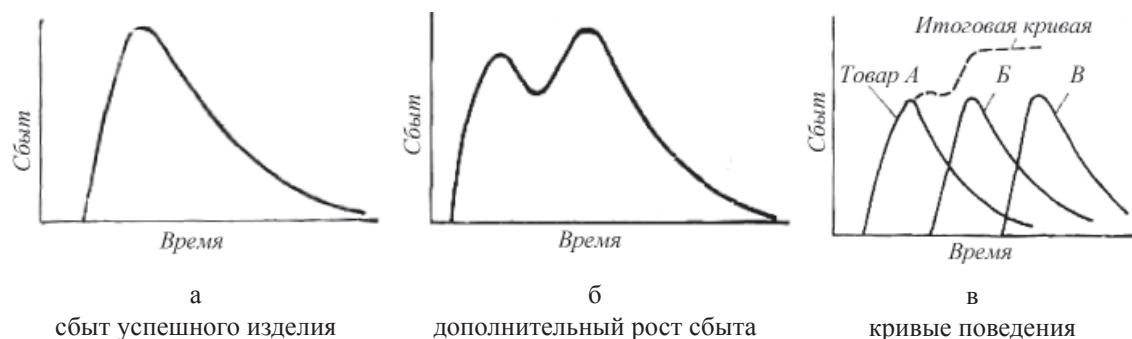


Рис. 1. Графики различных проявлений закона сбыта изделий [8]

Зачастую кривая сбыта у отдельно взятого удачного изделия, являющегося результатом новой научно-технической идеи, бывает такой, как показано на рис. 1,а. Как показывает кривая, когда товар впервые поступает в продажу, вначале он не находит сбыта. Поэтому кривая сбыта начинается с нуля только с некоторого момента времени от начала отсчета. Затем происходит более или менее быстрый рост до максимума. Вслед за этим идет снижение сбыта товара как следствие насыщения рынка или воздействия конкуренции, что снижает цены и тем самым уменьшается прибыль.

На рис. 1,б поведение товара на рынке сложнее. На ранней стадии существования продукции кривая идентична предыдущему рисунку. Затем что-то изменяется, возможно, для товара находят новое применение. Сбыт снова начинает расти и он может даже превысить первый максимум. Но, в конце концов, спрос становится слабым и идет неизбежный спад.

Как подмечают авторы [8, с. 17], форма графика даже на рис. 1,а обусловливает возникновение сложнейшей *управленческой задачи*. После начала спада сбыта у руководства только один выход – искать новые

научно-технические или иные решения. Приняв такую вполне закономерную линию поведения, руководство может попытаться создать ситуацию, показанную на рис. 1,в. Сбыт одного товара уменьшается, его заменяют новым изделием, который является результатом заранее организованного научно-технического творчества.

Но ясно, что всё это нужно делать упреждающе, намного ранее, а не ждать кризиса.

**Исходные статистические данные СССР–РФ.** В таблице приведены эти сведения, которые были объединены из источников [1, 6, 9]. При этом по системе РСФСР–РФ данных мало.

Показатели электроэнергетики СССР–России

Годы	Время $t$ , лет	Мощность электростанций $N$ , ГВт	Выработка электроэнергии $E$ , ТВт·ч	Продолжительность работы в год $T$ , ч
1913	0	1,1	2,0	1818,2
1921	8	1,2	0,5	416,7
1927	14	1,7	4,2	2470,6
1932	19	4,7	13,5	2872,3
1937	24	8,2	36,2	4414,6
1940	27	11,2	48,3	4312,5
1945	32	11,1	43,3	3900,9
1950	37	19,6	91,2	4653,1
1955	42	37,2	170,2	4575,3
1960	47	66,7	292,3	4382,3
1965	52	115,0	506,7	4406,1
1970	57	166,2	740,9	4457,9
1975	62	217,5	1038,6	4775,2
1980	67	266,7	1294,0	4851,9
1985	72	315,0	1544,0	4901,6
1990	77	213,3	1082,0	5297,0
1995	82	215,0	860,0	4144,0
1999	86	214,3	846,0	4056,0
2000	87	215,0	876,0	
2001	88	215,3		
2002	89	214,9		
2003	90	216,0		
2004	91	216,7		

Средняя ежегодная продолжительность работы электростанций вычислена по формуле

$$T = E/N. \quad (1)$$

Тогда в динамике развития структурной системы «царская Россия–СССР (1913–1985) – РФ (1990–2004)» можно про-

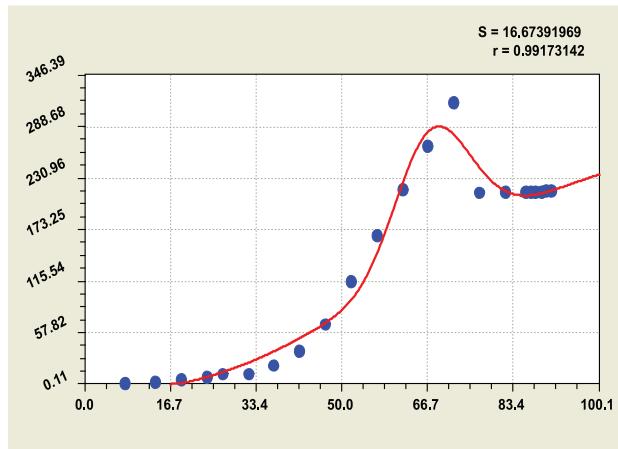
анализировать три важнейших показателя энергетики –  $N$ ,  $E$  и  $T$ .

**Мощность электростанций.** Тренд содержит три составляющие, из которых первые два члена дают *предел роста* [2] мощности электростанций, изменяется по модели (рис. 2) вида

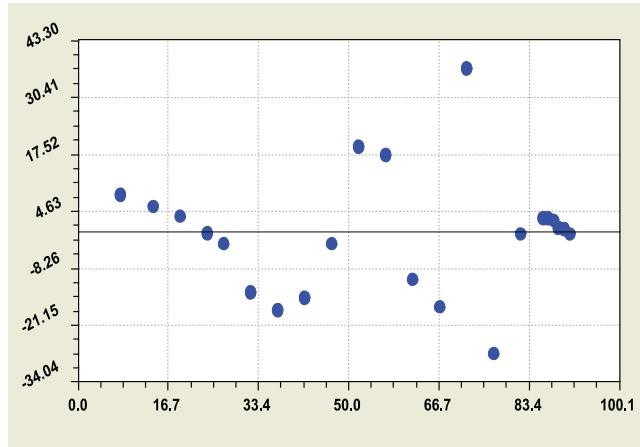
$$N = 271,85977 - 280,21403 \exp(-2,68566 \cdot 10^{-5} t^{2,43770}) + 2,98408 \cdot 10^{-105} t^{72,95590} \exp(-0,42291 t^{1,18281}). \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что *предел роста* был равным 271,9 ГВт, а максимально достигнутый уровень 1985 года составляет,

по данным таблицы, мощность в 315,0 ГВт. Тогда разность в  $315,0 - 271,9 = 43,1$  ГВт приходится на *структурный разлом* базы СССР.



По трехчленному тренду (2)



По остаткам от тренда (2)

Рис. 2. Графики динамики мощности генерации электроэнергии (абсцисса – время  $t$ , ордината – мощность  $N$ , в верхнем правом углу первого графика:  $S$  – сумма квадратов отклонений,  $r$  – коэффициент корреляции)

Этот технологический разлом значим и поэтому были получены две волны (рис. 3).

После объединения трендов с двумя волнами (рис. 3) была получена общая модель

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4, \quad (3)$$

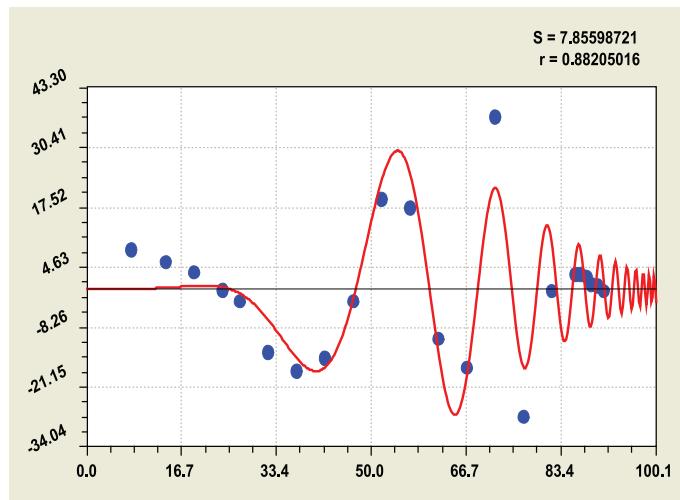
$$N_1 = 256,33611, \quad N_2 = -258,36337 \exp(-3,44658 \cdot 10^{-5} t^{2,40665}),$$

$$N_3 = 1,70515 \cdot 10^{-105} t^{72,95845} \exp(-0,41996 t^{1,18273}), \quad N_4 = A_1 \cos\left(\frac{\pi t}{p_1 + 4,03933}\right),$$

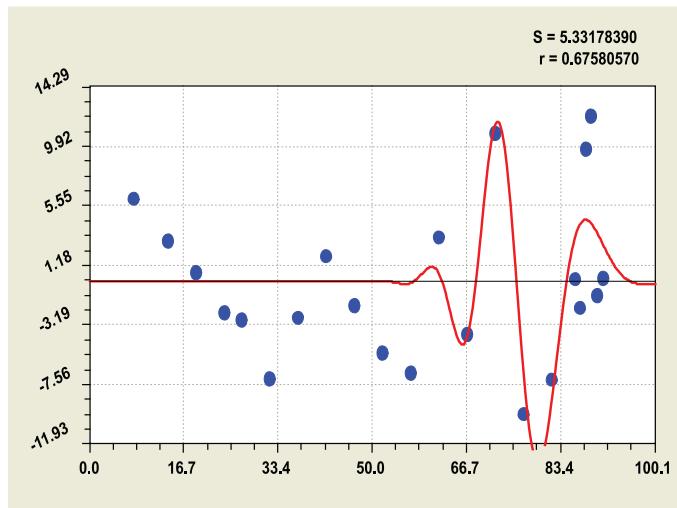
$$A_1 = -1,90257 \cdot 10^{-6} t^{5,21693} \exp(-0,0031602 t^{1,82929}), \quad p_1 = 77,32346 - 0,78632 t^{0,98920},$$

$$N_5 = A_2 \cos(\pi t / p_2 - 2,44518), \quad A_2 = -5,22532 \cdot 10^{-87} t^{54,47000} \exp(-0,0089846 t^{1,89955}),$$

$$p_2 = 0,27336 + 0,010407 t^{1,05989}.$$



По первой кризисной волне возмущения



По второму кризисному колебанию

Рис. 3. Волновая динамика колебаний мощности электростанций СССР и постсоветской России

Оба колебания имеют отрицательный знак, поэтому они кризисные. При этом первый кризис начался еще в самом СССР с 1937 г., а второй кризис – с 1970 г. (развал СССР).

Остатки после модели (3) по рис. 4 составляют погрешность более 5%, что позволяет идентифицировать *асимметричный вейвлет-сигнал* дальше (рис. 5).

Третья волна является позитивной по знаку и медленно убывает по амплитуде, что, по нашему мнению, показывает учащающийся по частоте тремор начинаний Кржижановского с группой царских энергетиков над проектированием первых в царской России электростанций, электрифици-

рованных железных дорог, электрификации трамвайных городских сетей.

Четвертая кризисная волна возмущения показывает на весь советский период с переходом и на XXI век, вплоть до 2030 г. колебаний так называемого «планового» хозяйства.

По остаткам заметны еще и другие волны возмущения, однако для их достоверного анализа по динамике значений мощности нужны ежегодные данные за период 1913–2010 гг.

**СССР–РФ – выработка электроэнергии.** Тренд (рис. 6) изменяется по двухчленной закономерности, содержащей закон гибели и закон позитивного возбуждения, по формуле

$$E = 3,01469 \cdot 10^{-27} \exp(59,13628 t^{0,029939}) + 2,09867 \cdot 10^{-46} t^{30,55188} \exp(-0,0083775 t^{1,80289}). \quad (4)$$

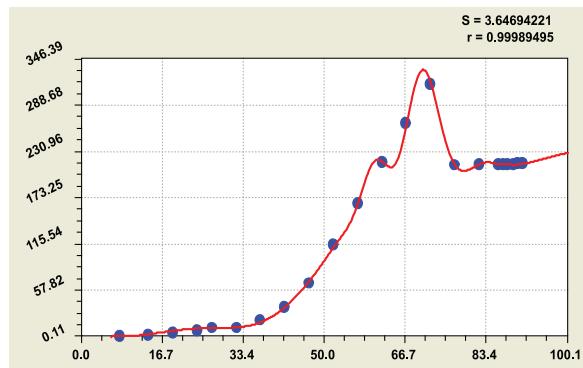
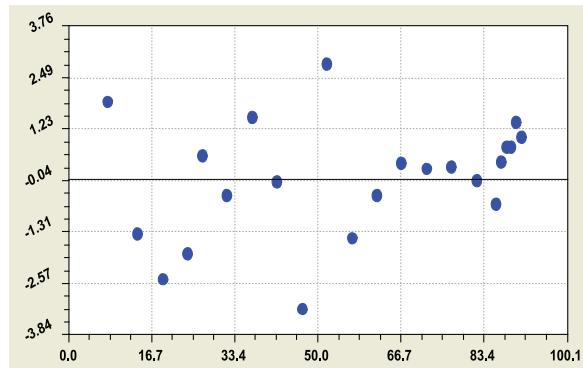
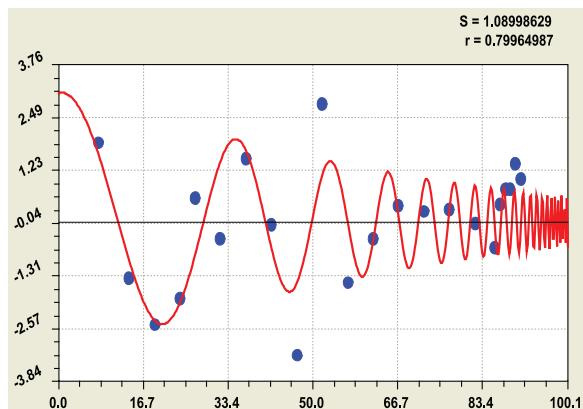


График общей пятичленной модели (3)

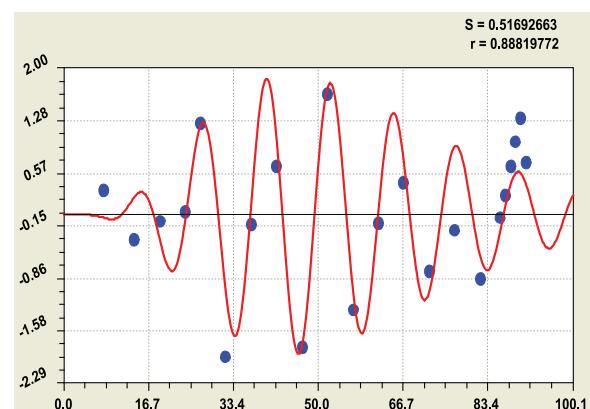


Остатки после модели (3)

Рис. 4. Динамика мощности электростанций СССР и постсоветской России

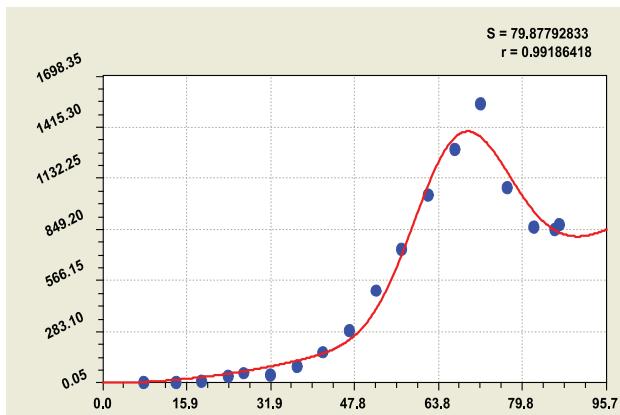


По третьей позитивной волне возмущения

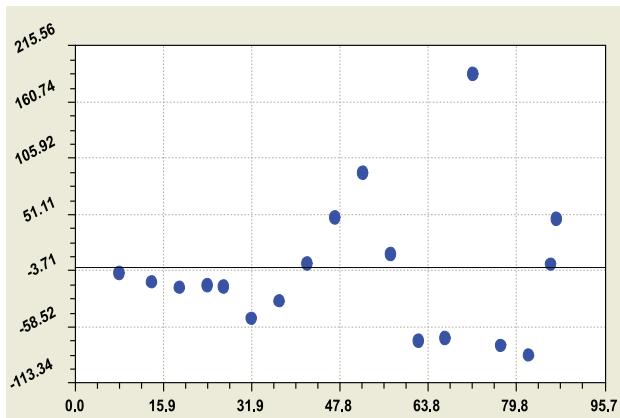


По четвертому кризисному колебанию планового СССР

Рис. 5. Волновая динамика колебаний мощности электростанций СССР и постсоветской России



По двухчленному тренду (4)



По остаткам от тренда (4)

Рис. 6. Динамика выработки электроэнергии электростанциями  
(абсцисса – время  $t$ , ордината – энергия  $E$ )

Переход СССР к РФ по выработке электроэнергии произошел плавно по сравнению

с мощностью электростанций. Но колебательное возмущение (рис. 7) также значительное.

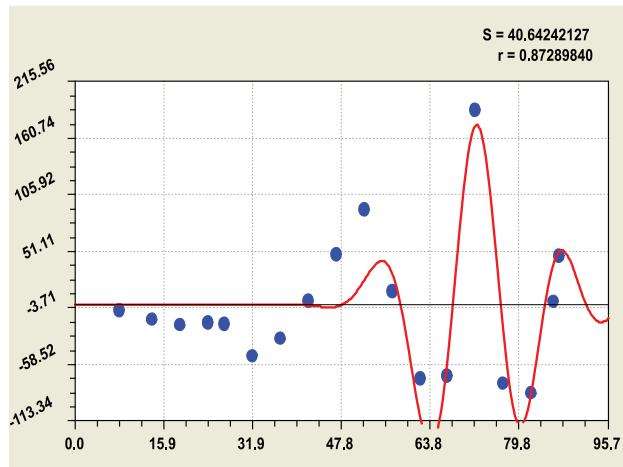


Рис. 7. Колебание производства электроэнергии в системе СССР–РФ

Причина более плавного кризиса проста. Росстат перешел от натурального к денежному исчислению [6, 9] производства

электроэнергии и других видов топлива, газа, нефти и нефтепродуктов.

Переходя только на денежную оценку и поднимая ежегодно тарифы на 15%, можно электроэнергетике преусспеть в темпах роста даже выше Китая,

но давно достигнув пределов роста по мощностям.

Общая модель динамики производства электроэнергии имеет вид (рис. 8) формулы

$$E = 6,54406 \cdot 10^{-28} \exp(58,44224 t^{0,038414}) + 1,01034 \cdot 10^{-44} t^{30,04166} \exp(-0,0093502 t^{1,80005}) + \\ + 7,26281 \cdot 10^{-39} t^{27,61670} \exp(-0,10635 t^{1,27118}) \cos\left(\frac{\pi t}{138,62051 - 1,17308 t^{1,04063}} + 0,25028\right). \quad (5)$$

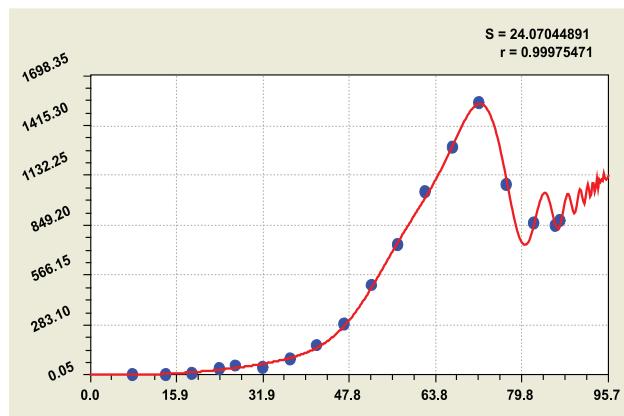
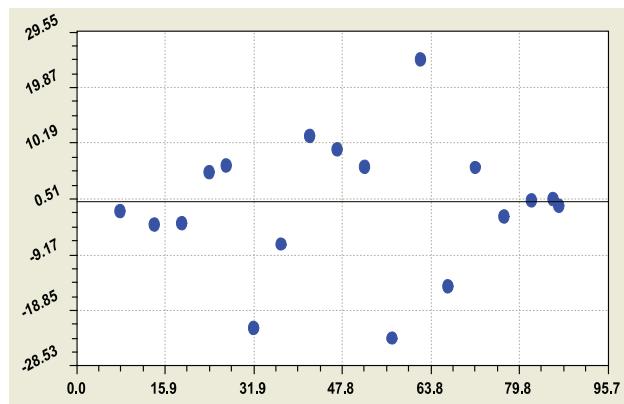


График общей трехчленной модели (5)



Остатки после модели (5)

Рис. 8. Динамика производства электроэнергии в СССР и затем в постсоветской России

Электростанции стареют и уже произошло несколько крупнейших аварий. Поэтому волей неволей чиновникам придется дополнить денежные счета и натуральными данными.

Можно моделировать для историографического анализа дальше. Но последующие волны на будущее российской электроэнергетики почти не влияют.

$$T = 4878,2834 - 4001,4157 \exp(-0,046324 t). \quad (6)$$

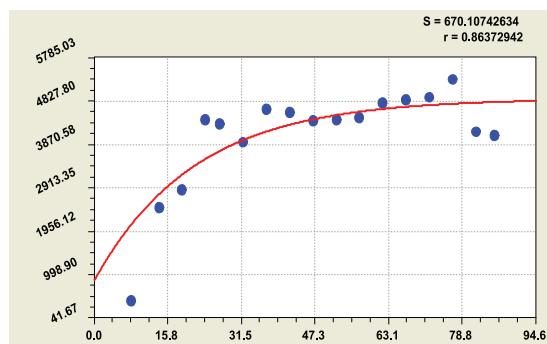
Предел роста всех электростанций по годичной наработке составляет 4878,3 ч.

Две волны возмущения показаны на рис. 10. Они расположены по концам ряда.

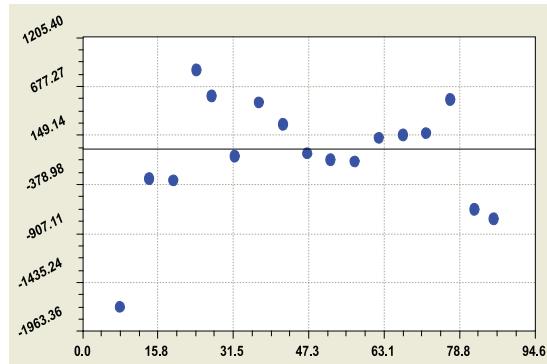
**СССР-РФ – продолжительность работы в году.** Этот показатель не зависит от структурной перестройки и показывает параметр надежности гидроэлектростанций.

По данным таблицы, была получена (рис. 9) закономерность предела роста вида

Ещё одно колебание в показателе надежности электростанций (рис. 11) возникло в военные годы производства электроэнергии. В итоге показатель  $T$  оказался очень чув-

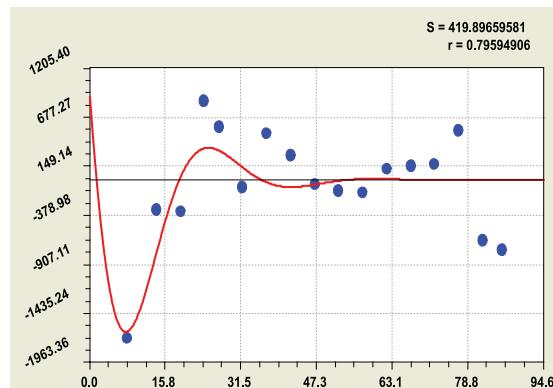


По двухчленному тренду (6)

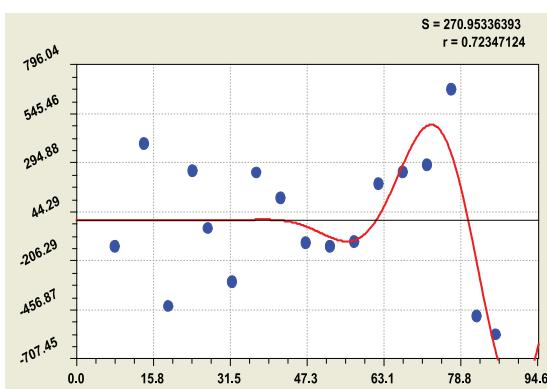


По остаткам от тренда (6)

Рис. 9. Динамика продолжительности работы в году электростанций (абсцисса – время  $t$ , ордината – время  $T$ )



По позитивной волне возмущения от царской России



По позитивному колебанию при переходе СССР–РФ

Рис. 10. Волновая динамика колебаний годичной наработки электростанций в СССР и постсоветской России

ствительным и динамичным параметром, характеризующим поведение электроэнергетики страны.

Общая пятичленная модель по статистическим данным таблицы имеет вид

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (7)$$

$$T_1 = 4721,8539, \quad T_2 = -2990,0953 \exp(-0,059163t), \quad T_3 = A_1 \cos(\pi t / p_1 + 1,566619),$$

$$A_1 = 18764,889 \exp(-0,18651t), \quad p_1 = 53,51344 - 1,25433t,$$

$$T_4 = A_2 \cos(\pi t / p_2 - 2,30786), \quad A_2 = 3,72347 \cdot 10^{-15} t^{9,99700} \exp(-0,0016967t^{1,77402}),$$

$$p_2 = 15,33750, \quad T_5 = A_3 \cos(\pi t / p_3 - 5,38167),$$

$$A_3 = 31,72347 t^{1,23299} \exp(-0,057485t), \quad p_3 = 2,85814 + 0,056712t.$$

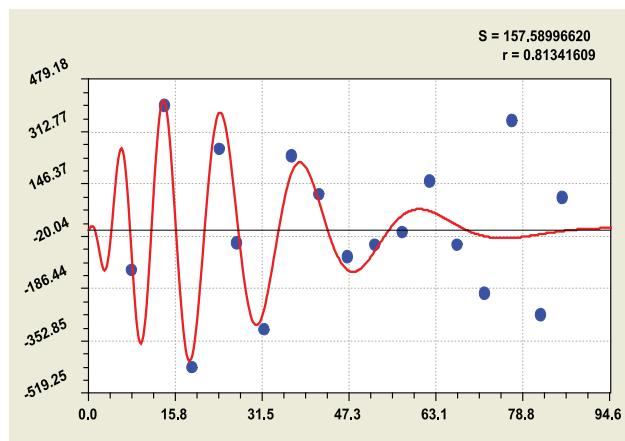


График третьей волны возмущения надежности

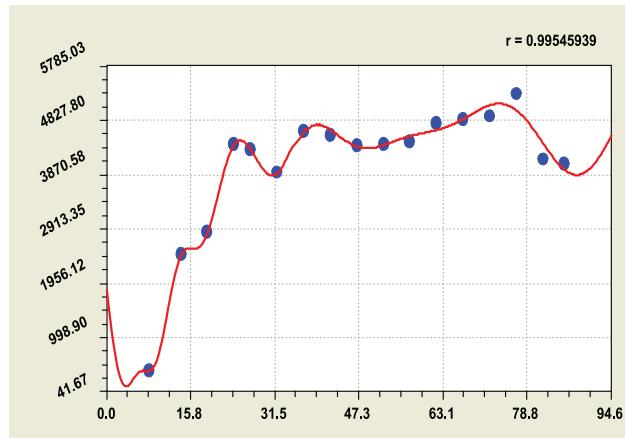


График общей пятичленной модели (7)

Рис. 11. Динамика производства электроэнергии в СССР и затем в постсоветской России

Продолжительность работы электростанции в году, кроме модели (7), изменяется еще (рис. 12) по трем дополнительным волновым возмущениям.

Сравнение графиков колебаний показывает, что первая, третья, пятая и шестая волны имеют только историографический [5] характер, а вторая и четвертая волны влия-

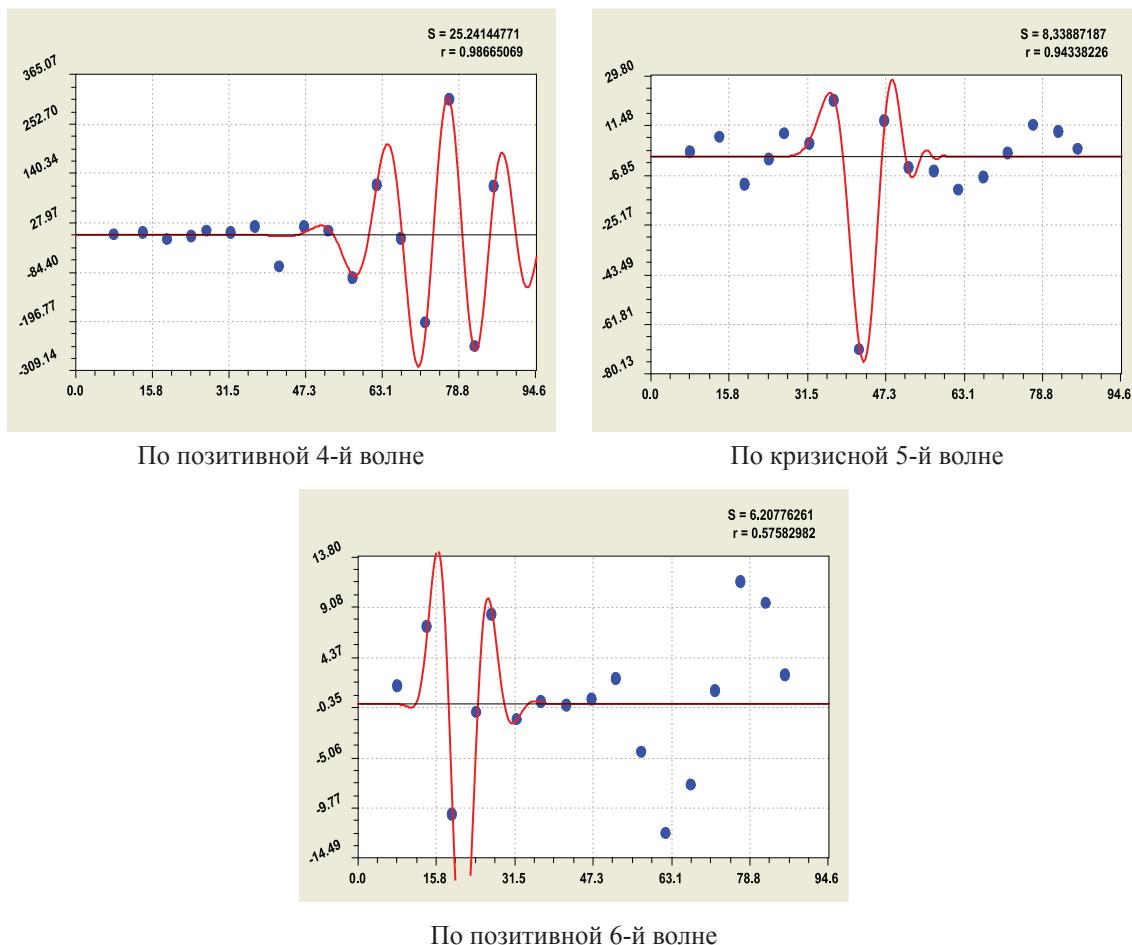


Рис. 12. Волновая динамика колебаний годичной наработки электростанций после общей модели (7)

ют на будущее и должны быть включены в конструкцию прогнозной модели.

На рис. 13 показана седьмая волна колебательного возмущения системы электроэнергетического

тиki СССР–РФ по показателю продолжительности работы электростанций за год. После параметрической идентификации по остаткам от шестой волны была получена формула

$$T_9 = 3,88761 \cdot 10^{-39} t^{27,93940} \exp(-0,39202 t^{1,00188}) \cos \left( \frac{\pi t}{17,69556 - 1,66089 \cdot 10^{-5} t^{2,13394}} - 1,72586 \right). \quad (8)$$

По остаткам на рис. 13 можно идентифицировать и другие микро волны возмущения у показателя средней продолжительности работы электростанций в году.

### Выводы

Распад СССР сильно повлиял на качественное развитие и количественный рост электроэнергетики нашей страны. Электроэнергетика началась с реализации знаменитого плана ГОЭЛРО. В итоге, из-за высокой преемственности межотраслевой важнейшей части технологической базы

страны, удалось получить четкие и высокоакадемичные модели функционирования электроэнергетики с 1913 года. На структурные изменения, чаще всего, повлияли неосознанные и стихийные воздействия на всемирно значимую энергосистему «царская Россия – СССР – Российская Федерация».

Предложенный подход позволит составлять добрые прогнозные модели до конца XXI века, но при условии, что будут нам предоставлены ежегодные статистические данные.

