

ОЦЕНКА РЕЗИСТЕНТНОСТИ ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ В ПОЛЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Клепарский В.Г., Пересветова И.Ф.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

kleparvg@ipu.ru, i.peresvet@ipu.ru

Аннотация. С использованием данных “пассивного эксперимента” проведен анализ характерных изменений потребления электроэнергии в системе ЕЭС-Россия для двух участков (2003-2008 гг. и 2011-2019 гг.) траектории функционирования социально-экономической системы СЭС-Россия. Выявлена высокая степень сопротивляемости (резистентности) ЕЭС-Россия и СЭС-Россия на негативные воздействия окружающей среды.

Ключевые слова: “пассивный эксперимент”, динамика функционирования, потребление электроэнергии, резистентность системы, негативные воздействия.

Введение

Управление Россией – крупномасштабной социально-экономической системой (СЭС) – представляет собой сложнейший многоуровневый процесс, направленный на “доставление блага и спокойствия Отечеству” (Екатерина II). Поведение такой сложной динамической системы, как СЭС-Россия, зависит от многих факторов и определяется достаточно большим (до нескольких десятков) числом степеней свободы. Более того, реальные (наблюдаемые) результаты функционирования системы СЭС-Россия могут быть предопределены и негативными воздействиями со стороны конфликтующей внешней среды. Задача органов управления системы СЭС-Россия – препятствовать влиянию негативных воздействий путем соответствующих управленческо-организационных мероприятий. Проследить изменения сопротивляемости (резистентности) СЭС-Россия негативным воздействиям со стороны внешней среды возможно, опираясь на данные “пассивного эксперимента” – данные об изменениях потребления электроэнергии в процессе эволюции. Именно анализ характерных изменений потребления электроэнергии в Единой Энергетической системе (ЕЭС) России в процессе эволюции открывает возможность получить вполне обоснованную оценку изменений сопротивляемости системы СЭС-Россия в процессе противодействия негативным воздействиям окружающей среды. Выполнение такой оценки приобретает важное прикладное значение.

1. Исследование самоорганизации системы потребления электроэнергии ЕЭС-Россия в поле возмущающих воздействий

Сложности выявления степени вовлеченности человеческого и социального потенциала в процессе повышения сопротивляемости СЭС-Россия негативным воздействиям окружающей среды чисто теоретическими методами ведут к применению экспериментальных методов наблюдения (“пассивный эксперимент”) и анализа данных о потреблении электроэнергии в процессе функционирования СЭС-Россия.

[Важнейшей особенностью функционирования электроэнергетики является поддержание непрерывного во времени процесса генерирования, процесса передачи и потребления электроэнергии в пространствах федеральных округов и отдельных регионов Российской Федерации. При этом нужный (в любой данный момент) уровень потребления электроэнергии определяется необходимым уровнем востребованности электроэнергии (в этот же данный момент) в экономике СЭС-Россия [(см., например, [1]).]

Как результат теснейшей опоры процесса функционирования экономики СЭС-Россия на потребление электроэнергии, производимой в рамках ЕЭС-Россия, становится возможным получение ориентировочной оценки изменений сопротивляемости (резистентности) СЭС-Россия в ответ на негативные воздействия окружающей среды.

Для изучения особенностей формирования “русла” развития системы потребления электроэнергии ЕЭС-Россия на конкретных этапах эволюции использовались данные о динамике потребления электроэнергии и установленной мощности по ЕЭС России (см., например, [2]). Ход изменения установленной мощности (верхний график) и потребления электроэнергии (нижний график) в процессе эволюции представлены на Рис. 1.

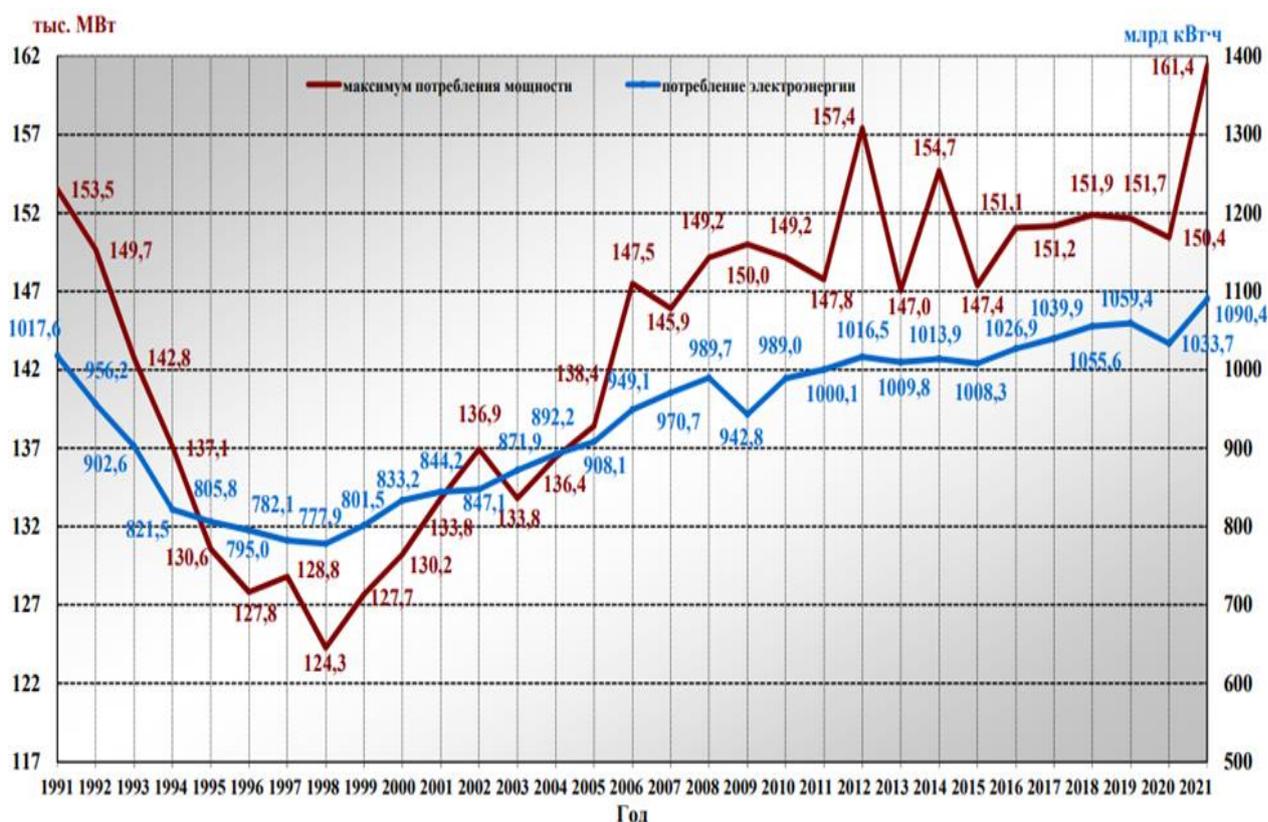


Рис. 1. Динамика потребления электроэнергии – $Q_{э}$ и развитие мощности по ЕЭС России. (Шкала данных о потреблении электроэнергии – млрд. кВтч – дана справа. Шкала данных об изменениях установленной мощности – тыс.МВт – дана слева.)

Представленные на Рис.1 графики позволяют заметить, что рост установленной мощности и уверенное увеличение потребления электроэнергии начались с 1999 года. Можно заметить также, что изменения величины установленной мощности происходили достаточно резкими скачками. Такой феномен связан как со скачкообразным вводом в эксплуатацию новых генерирующих мощностей, так и с выводом из эксплуатации старых установленных мощностей. Нарастание потребления электроэнергии по системе ЕЭС-Россия (а значит и в системе СЭС-Россия) происходит сравнительно ровно. Для конкретного изучения особенностей изменения ежегодных значений потребления электроэнергии $Q_{э}$ во времени под влиянием внешних возмущений были выбраны два участка эволюции системы ЕЭС России. Первый (более ранний) участок охватывает период с 2003 г. (“мюнхенская” речь президента России В. Путина) по 2008 г., оканчиваясь в 2008-2009 годах резким спадом потребления электроэнергии, обусловленным негативным воздействием окружающей среды в связи с событиями в Цхинвале и Южной Осетии. Второй (последующий) участок охватывает период с 2011 г. по 2019 г. и заканчивается заметным спадом потребления электроэнергии, обусловленным последствиями пандемии COVID-19 для функционирования экономики России.

Изменение значений величины потребления электроэнергии $Q_{э}$ (в млрд. кВтч) во времени для перечисленных периодов эволюции представлены в Таблицах 1, 2. В этих же Таблицах представлены значения величины ежегодного изменения потребления электроэнергии – $\Delta_{э} = Q_{э\text{конечн.}} - Q_{э\text{начальн.}}$. Данные о ежегодных изменениях величины $\Delta_{э}$, представленные в Таблицах 1, 2, позволяют получить, прежде всего, оценку средних значений нормальных (фоновых) ежегодных изменений потребляемой электроэнергии на конкретных этапах эволюции системы ЕЭС-Россия, и, во-вторых, позволяют получить соответствующие значения величины математического ожидания – $m_{\Delta_{э}}$ и дисперсии $D_{\Delta_{э}}$.

Таблица 1. Ежегодные изменения величины потребления электроэнергии $Q_{э}$ в период с 2003 по 2008 годы (млрд. кВтч.)

год	2003	2004	2005	2006	2007	2008
$Q_{э}$ начальное	847,1	871,9	892,2	908,1	949,1	970,7
$Q_{э}$ конечное	871,9	892,2	908,1	949,1	970,7	989,7

год	2003	2004	2005	2006	2007	2008
$\Delta_{\text{Э}}$	24,8	20,3	15,9	41	21,6	19

Таблица 2. Ежегодные изменения величины потребления электроэнергии $Q_{\text{Э}}$ в период с 2011 по 2019 годы (млрд. кВтч.)

год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
$Q_{\text{Э}}$ начальное	989,0	1000,1	1016,5	1009,8	1013,9	1008,3	1026,3	1039,9	1055,6
$Q_{\text{Э}}$ конечное	1000,1	1016,5	1009,8	1013,9	1008,3	1026,3	1039,9	1055,6	1059,4
$\Delta_{\text{Э}}$	11,1	16,4	-6,7	4,1	-5,6	18,6	13,6	15,7	3,8

2. Обсуждение результатов

Данные, представленные в Таблицах 1 и 2, позволяют получить для каждого выделенного участка эволюции исследуемой системы ЕЭС-Россия оценку величины математического ожидания – $m_{\Delta_{\text{Э}}}$ и приближенную (учитывающую ограниченность объема рассматриваемых данных x_i) оценку величины дисперсии $D_{\Delta_{\text{Э}}}$, которая, следуя [3,4], может иметь вид:

$$D_{\Delta_{\text{Э}}} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 \quad (1)$$

Здесь n – количество рассматриваемых данных x_i своеобразного “пассивного эксперимента”, m – математическое ожидание.

На первом (более ранним) участке рассматриваемого тренда эволюции (2003 – 2008 годы) имеем величину математического ожидания для ежегодных приращений $\Delta_{\text{Э}}$ потребления электроэнергии $m_{\Delta_{\text{Э}}} = 23,8$ кВтч. Величина дисперсии $D_{\Delta_{\text{Э}}} = 81,1$. Величина средне квадратического отклонения $\sigma = \sqrt{D} = 9,0$ кВтч.

На втором (последующем) участке (2011 – 2019 годы) рассматриваемого тренда эволюции потребления электроэнергии величина ежегодного приращения $\Delta_{\text{Э}}$ резко снизилась (особенно в период с 2011 г. по 2015 г.) Для всего второго участка (2011-2019 гг.) имеем для ежегодного приращения $\Delta_{\text{Э}}$ величину математического ожидания $m_{\Delta_{\text{Э}}} = 7,9$ кВтч. Величина дисперсии $D_{\Delta_{\text{Э}}} = 89,62$. Величина средне квадратического отклонения $\sigma = 9,47$ кВтч.

Проведенная обработка результатов “пассивного эксперимента” позволила получить, таким образом, сравнительную оценку величины математического ожидания $m_{\Delta_{\text{Э}}}$ и величины средне квадратического отклонения σ для ежегодных фоновых изменений величины потребления электроэнергии $\Delta_{\text{Э}}$ для обеих рассматриваемых периодов эволюции ЕЭС-России. Можно заметить, что в период с 2003 г. по 2008 г. увеличение ежегодного потребления электроэнергии происходило достаточно плавно. Но в 2008-2009 гг. в системе ЕЭС-Россия произошел резкий спад ежегодного потребления электроэнергии – $\Delta_{\text{Э}} = -46,9$ кВтч. Такой заметный спад можно объяснить теснейшей связью уровня потребления электроэнергии и уровня функционирования отраслей СЭС-Россия. [В 2008 г. в экономике Запада имел место финансовый кризис, а затем (летом 2009 г.) произошло нападение грузинских войск на российских миротворцев в Цхинвале, что повлекло 5-дневные военные столкновения в Грузии, и заметное осложнение международного положения для России (и, соответственно, имели место первые санкции стран Запада против экономики СЭС-Россия.)]. Как результат негативного воздействия окружающей среды на уровень функционирования промышленных отраслей СЭС-Россия (и, естественно, на уровень необходимых поставок электроэнергии) в 2009 году в системе ЕЭС-Россия произошел резкий спад ежегодного потребления электроэнергии – $\Delta_{\text{Э}} = -46,9$ кВтч.

Оценка устойчивости хода потребления электроэнергии – посредством оценки устойчивости предшествующего хода значений $\Delta_{\text{Э}}$ – может быть выполнена с использованием неравенства Чебышева (см., например,[3,4]). Неравенство Чебышева дает оценку вероятности P_{dev} – вероятности того, что реально осуществляемый тренд развития крупномасштабной системы отклонится от исходного тренда больше, чем на число α (если только известно среднее квадратическое отклонение σ). Величина P_{dev} может быть вычислена с применением неравенства Чебышева:

$$P_{dev}(|X - m_x| > \alpha) \leq \sigma^2 / \alpha^2 \quad (2)$$

Здесь X – величина некоторого отклонения (предваряющего критическое воздействие) от рассматриваемого тренда; m_x – математическое ожидание для величин сравнительно малых (фоновых) отклонений $\Delta_{\text{э}}$, характеризующих рассматриваемый участок тренда развития.

Неравенство Чебышева дает верхнюю границу вероятности данного (критического) отклонения. Выше этой границы вероятность P_{dev} отклонения не может быть ни при каком законе распределения (см., например, [3,4]).

Для первого участка рассматриваемого тренда эволюции ЕЭС-Россия (с 2003 по 2008 гг.) отрицательный выброс, происшедший в 2009 г., $\Delta_{\text{э}} = -46,9$ кВтч $\approx -5,2\sigma$. Как результат, получаем оценку границы вероятности для данного отклонения

$$P_{dev} \approx \sigma^2 / (-5,2\sigma)^2 = 1/27 = 0,037.$$

Таким образом, система потребления электроэнергии ЕЭС России, а значит и экономика системы СЭС-Россия, оказались вполне устойчивыми против негативного воздействия окружающей среды в 2009 г.

На втором участке (2011 – 2019 годы) рассматриваемого тренда эволюции ЕЭС-Россия дважды имели место отрицательные значения ежегодного приращения $\Delta_{\text{э}}$ потребления электроэнергии. В 2012 г. (бандеровщина в Одессе) и в 2014 г. (Майдан в Киеве). Но эти внешние воздействия на эволюцию потребления электроэнергии в пределах ЕЭС-Россия оказались сравнительно незначительными. Гораздо более существенным на втором участке (2011-2019 годы) тренда эволюции системы электроэнергетики оказалось негативное воздействие пандемии COVID-19. [В период пандемии COVID-19 в процесс функционирования некоторых отраслей экономики СЭС-Россия были введены заметные ограничения.] Как результат пандемии в 2020 г. в системе ежегодного потребления электроэнергии имел место достаточно заметный отрицательный выброс $\Delta_{\text{э}} = -25,7$ кВтч $\approx -4,01\sigma$. Следуя положениям неравенства Чебышева, получаем оценку границы вероятности для полученного отклонения

$$P_{dev} \approx \sigma^2 / (-4,01\sigma)^2 = 1/16,08 = 0,062.$$

Можно полагать, следовательно, что и в противостоянии пандемии COVID-19 система потребления электроэнергии ЕЭС России, а значит и функционирование отраслей экономики СЭС-Россия, оказались вполне способными отразить негативное воздействие окружающей среды.

3. Основные результаты исследования

С использованием метода “пассивного эксперимента” проведено исследование особенностей динамики потребления электроэнергии в системе ЕЭС-Россия для двух участков (первый с 2003 г. по 2009 г. и второй с 2011 г. по 2019 г.) траектории функционирования социально-экономической системы Российской Федерации – СЭС-Россия. На первом участке траектории достаточно плавный ход потребления электроэнергии завершился в 2009 г. резким спадом ежегодного потребления электроэнергии – $\Delta_{\text{э}} = -46,9$ кВтч. Сопоставление с данными о эволюции СЭС-Россия показывает, что этот резкий сброс потребления электроэнергии может быть обусловлен финансовым кризисом 2008 года на Западе и событиями в Южной Осетии в 2009 г. Выполненная с использованием неравенства Чебышева оценка вероятности P_{dev} отклонения от предшествующего хода эволюции системы дает значения $P_{dev} \approx 0,037$, что характеризует высокую степень сопротивляемости ЕЭС-Россия, а значит и системы СЭС-Россия, к негативным возмущениям извне в 2009 г.

На втором участке исследуемой траектории развития системы ЕЭС-Россия резкий спад ежегодного потребления электроэнергии $\Delta_{\text{э}} = -25,7$ кВтч произошел в 2020 году, как результат социально-экономических ограничений, связанных с пандемией COVID-19. В этом случае оценка (по Чебышеву) вероятности отклонения траектории потребления электроэнергии от предшествующего хода развития дает значение $P_{dev} \approx 0,062$. Можно утверждать, следовательно, что и в случае COVID-19 функционирование электроэнергетики ЕЭС-Россия, а значит и функционирование отраслей экономики СЭС-Россия, оказались вполне способными отразить негативное воздействие окружающей среды.

Можно утверждать, следовательно, что анализ характерных изменений потребления электроэнергии в процессе реакции системы ЕЭС-Россия на возмущения дает возможность репрезентативной оценки уровня сопротивляемости (резистентности) системы СЭС-Россия негативным воздействиям окружающей среды.

Литература

1. *Овчаренко Н.И.* Автоматика энергосистем. // М.:Издательский дом МЭИ. 2007.
2. Энергетическая система России: прогноз на 2023-2028 годы. – <https://conomy.ru/analysis/articles/1020?ysclid=lwj0ly5p3y526996654>
3. *Гнеденко Б.В., Хинчин А.Я.* Элементарное введение в теорию вероятностей. – М.: “Наука”. 1976.
4. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. // М.: Гос.Изд. Физ.-мат. литературы. 1962.