

Для цитирования: Экономика региона. — 2015. — № 4. — С. 357-369.
doi 10.17059/2015-4-28
УДК 338.2:338.27

Д. А. Гайнанов, О. Г. Кантор, Е. С. Каширина

Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра Российской академии наук
(Уфа, Российская Федерация)

СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ¹

Энергетическая система в любом государстве составляет основу экономики. Уровень ее развития оказывает влияние на количественный и качественный состав хозяйствующих субъектов, периоды экономического роста, падения и стагнации. О существенных проблемах в данной сфере Российской Федерации свидетельствует высокий процент энергодефицитных территориальных образований, что несет в себе определенную угрозу энергетической безопасности государства.

Одним из перспективных направлений повышения энергетической безопасности выступают внедрение и использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые помимо очевидных эффектов (обеспечение энергодефицитных и, зачастую, труднодоступных территорий электроэнергией), способствуют внедрению и распространению новых технологий, решая тем самым важные социальные и экономические задачи. При этом большое значение имеет проблема рекуперации возобновляемых и традиционных источников энергии (ТИЭ), заключающаяся в определении оптимального соотношения их использования. Одной из основных задач в этой связи является построение модели, адекватно отражающей соотношение ВИЭ и ТИЭ в энергетической системе РФ.

В работе представлены результаты применения синергетического подхода к построению такой модели. В качестве основного инструмента использована модель Лотки — Вольтерра, позволяющая на основании рассмотрения упрощенных закономерностей изучать характер поведения рассматриваемых систем. Установлено, что лучшие возможности для осуществления качественного скачка в энергетической сфере России были в 2008 г. Проведенные расчеты позволили исследовать поведение энергетической системы РФ при вариации начальных условий и оценить корректность целевых ориентиров для доли электроэнергии, произведенной на основе использования ВИЭ, в совокупном объеме электроэнергии страны.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, энергетическая система, целевые ориентиры, синергетический подход

Анализ состояния сферы возобновляемых источников энергии в Российской Федерации

Основой повышения энергетической безопасности многих стран являются внедрение и использование возобновляемых источников энергии, которые наряду с новейшими технологиями составляют ядро нового технологического уклада. Возобновляемые источники энергии обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными:

1) экологичность (отсутствие вредных выбросов, сохранение теплового баланса планеты, отсутствие дополнительной эмиссии углекислого газа и пр.);

2) воспроизводимость (неисчерпаемость ресурсов);

3) доступность использования (возможность получения энергии в труднодоступных местах проживания населения);

4) возможность использования земель, не приспособленных для хозяйственных целей;

5) возможность одновременного использования земли для хозяйственных и энергетических целей.

Практическое освоение ВИЭ положительно сказывается на социально-экономическом положении государства в целом в силу того, что способствует развитию малого и среднего бизнеса и созданию новых рабочих мест.

Наряду с достоинствами существуют и некоторые недостатки, преодоление которых возможно с развитием технологий в будущем:

— низкая плотность энергии;

— наличие повышенного шумо- и виброуровня (например, для ветровой энергетики);

¹ © Гайнанов Д. А., Кантор О. Г., Каширина Е. С. Текст. 2015.

Таблица 1

Динамика развития возобновляемой энергетики в мире

Индикатор	Год									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Инвестиции в новые проекты, млрд долл/год	30	40	55	104	130	161	227	279	249	214
Мощность электростанций на базе ВИЭ (без ГЭС), ГВт	99	116	136	163	180	250	315	395	480	560
Количество стран, установивших государственную цель в использовании ВИЭ, ед.	45	52	—	68	75	85	109	118	138	—

Источник: Ren21 Renewables 2014 Global Status Report.

Таблица 2

Установленные мощности по видам ВИЭ стран-лидеров и России, ГВт

Отрасль ВИЭ	Страна						
	Китай	США	Германия	Испания	Италия	Индия	Россия
Биоэнергетика	6,2	15,8	8,1	1	4	4,4	1,2
Геотермальная энергетика	~0	3,4	~0	0	0,9	0	0,08*
Гидроэнергетика	260	78	5,6	17,1	18,3	44	46,7**
Солнечная энергетика	19,9	13	36	7,9	17,6	2,3	~0
Ветроэнергетика	91	61	34	23	8,6	20	0,02***
Итого (с учетом гидроэнергетики)	378	172	84	49	49	71	48
Итого (без учета гидроэнергетики)	118	93	78	32	31	27	1,3
Доля в мировом объеме (с учетом гидроэнергетики), %	24,23	11,03	5,38	3,14	3,14	4,55	3,08
Доля в мировом объеме (без гидроэнергетики), %	21,07	16,61	13,93	5,71	5,54	4,82	0,23

Источник: REN21 Renewables 2014 Global Status Report.

* Источник: BP Statistical review of world energy 2014.

** Источник: годовой отчет ОАО «РУСГИДРО» за 2013 г.

*** По данным Всемирной ветроэнергетической ассоциации (WWEA).

— непостоянный, вероятностный характер поступления энергии (выработка только в момент наличия источника энергии);

— необходимость аккумулирования;

— необходимость резервирования (для солнечной и ветровой энергетики).

Основные индикаторы состояния возобновляемой мировой энергетики (табл. 1) показывают, что объем ежегодных капиталовложений в период 2004–2013 гг. увеличился в 7 раз, при этом пик инвестирования пришелся на 2011 г., а максимум общей установленной мощности электростанций на базе ВИЭ в мире (без учета гидроэнергии) в 2013 г. составил 560 ГВт при среднегодовом темпе прироста 21,2 %.

Лидерами по вводу возобновляемой энергетики на сегодняшний день являются Китай, США, Германия, Испания, Италия и Индия (табл. 2).

Российская Федерация существенно отстает от ведущих стран в выработке ветроэнергии и солнечной энергии. По данным Всемирной ветроэнергетической ассоциации (WWEA) в 2013 г. Россия с показателем 16,8 МВт заняла лишь 69-е место в мире по суммарной уста-

новленной мощности ветроэлектростанций. Относительно солнечной энергии следует отметить, что, по оценкам German Advisory Council on Global change, к 2100 г. солнце станет преобладающим источником энергии на планете. По этой причине во многих странах солнечная энергетика рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений ВИЭ, активно поддерживается и стремительно развивается. В России в данном направлении наметились некоторые изменения: в 2010 г. в Белгородской области была введена в строй первая фотоэлектрическая станция мощностью 100 кВт, а осенью 2014 г. в тестовом режиме была запущена Кош-Агачская СЭС в Республике Алтай.

Россия имеет неплохие показатели использования геотермальных источников энергии, по которым опережает Китай и Германию, но, в то же время, уступает таким странам, как, например, Мексика, Индонезия, Филиппины и др.

По показателям установленных мощностей гидроэнергетики Российская Федерация опережает многие страны, в том числе Германию,

Таблица 3

Сравнение кибернетического и синергетического подходов

Характеристика	Кибернетика	Синергетика
Определение	Наука о саморегуляции в системах [2, с. 17]	Наука о самоорганизации в системах [2, с. 47]
Объект исследования	Устойчивые, управляемые, саморегулируемые системы [3, с. 143]	Открытые, нелинейные, неравновесные, диссипативные системы [3, с. 143] (закрытые системы рассматриваются как частные, ограниченные во времени и пространстве, концептуально сконструированные случаи самоорганизации, для которых характерны линейные процессы)
Предмет исследования	Процессы управления	Закономерности и механизмы самоорганизации [4]
Обратная связь	Управление системой осуществляется с помощью контура отрицательной обратной связи [1, с. 17]	Учитываются положительная и отрицательная обратные связи (отрицательная обратная связь препятствует изменениям и развитию, положительная — отвечает за развитие) [5, с. 3]
Случайные воздействия	Все случайные воздействия, не соответствующие целевым установкам системы, не учитываются [6]	Рассматриваются как источник развития
Результат развития системы	Равновесное состояние [7]	Различные траектории [7] (равновесное состояние в системах рассматривается в пределах ограниченного масштабного фактора [8, с. 64–68])

Индию, Италию и Испанию. Однако большая часть мирового сообщества рассматривает в качестве ВИЭ лишь энергию, производимую на малых ГЭС, а ее доля в гидроэнергетике нашей страны составляет 1,6 %.

Такое состояние возобновляемой энергетики в нашей стране объясняется, во-первых, обеспеченностью собственными запасами традиционных топливно-энергетических ресурсов, а во-вторых, тем, что долгое время проблеме ВИЭ не уделялось должного внимания и, как следствие, отсутствовали какие-либо государственные механизмы их поддержки.

Вместе с тем следует признать, что запасы нефти и газа не безграничны, а их разведка и освоение новых месторождений требуют немалых затрат. Исследования энергетики России показывают, что более 50 % территориальных образований в нашей стране являются энергодефицитными, и для них существует проблема внутренней энергобезопасности [1]. И хотя традиционные виды топлива еще долгое время будут играть ведущую роль в энергетической системе нашей страны, ВИЭ следует рассматривать как ее важный элемент, их использование соответствует принципам устойчивого развития и способствует рациональному использованию имеющихся ресурсов.

В этой связи особую актуальность приобретает проблема рекуперации возобновляемых и традиционных источников энергии, заключающаяся в определении оптимального соотношения их использования. Решение этой проблемы с учетом сложности системы целесоо-

бразно проводить на основе математического моделирования. И одной из основных задач при этом является построение модели, адекватно отражающей соотношение ВИЭ и ТИЭ в энергетической системе РФ. Наличие такой модели должно обеспечивать не только выявление сложившихся тенденций в энергетической сфере РФ, но и возможность оценки последствий воздействий на нее. Разработка такой модели является предметом настоящей работы.

Синергетический подход к исследованию энергетических систем

Энергетические системы по своей сути являются сложными системами, для которых характерны открытость, целеустремленность, динамичность и иерархичность. Сложность энергетических систем объясняется наличием большого числа элементов, взаимодействующих друг с другом, таких как электростанции, подстанции, электрические и тепловые сети и т. д. Открытость, целеустремленность и динамичность энергетических систем обусловлены их встроенностью в социально-экономические системы различных уровней (по территориальным и административным признакам), функционирование которых осуществляется непрерывно в соответствии с экономическими, социальными и политическими реалиями и направлено на достижение определенных целей в масштабах как отдельных территорий, так и государства в целом. Иерархичность энергетических систем объясняется их многоуровнево-

стью. Так, например, Единая энергетическая система России состоит из семи объединенных энергосистем, которые, в свою очередь, включают в себя до 20 региональных энергосистем по географическому признаку.

В контексте сказанного математическое описание энергосистем подразумевает использование специфических подходов, в том числе кибернетического и синергетического. Основная задача кибернетического подхода при исследовании систем заключается в изучении процессов управления ими, а синергетического — в изучении процессов самоорганизации систем. Сравнительный анализ (табл. 3) двух подходов показывает, что синергетический подход является более широким, что обусловило его выбор в качестве основного инструмента в рамках настоящего исследования.

Модель Лотки — Вольтерры: описание и применение

Синергетика, будучи междисциплинарной наукой, позволяет использовать одни и те же модели для объектов различной природы. В рамках синергетической науки выработан набор базовых математических моделей, к которым относится и модель межвидовой конкуренции Лотки — Вольтерры. Большой интерес со стороны ученых названная модель вызывает в силу обоснованности заложенных в нее предположений и полученных выводов. Основным ее достоинством является то, что на ее основе с помощью рассмотрения упрощенных закономерностей возможно осуществлять изучение качественного характера поведения систем.

Модель Лотки — Вольтерры широко используется в различных областях науки: в работах по кинетике химических реакций [9] и динамике микробных экосистем [10], при моделировании процессов видообразования [11] и активности нейронов [12], в математической экономике [13], астрофизике [14], гидродинамике [15], при описании социальных и экономических взаимодействий [16–21].

В 1910 г. итальянец А. Лотка на основе анализа системы дифференциальных уравнений предсказал возможность колебаний в химических системах. В 1920-е гг. В. Вольтерра, заинтересовавшись колебаниями улова рыбы в Адриатическом море, вывел систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающую взаимодействие популяций. Результаты, полученные независимо друг от друга, оказались идентичными. По этой причине модель, описываемую системой диффе-

ренциальных уравнений (1), назвали моделью Лотки — Вольтерры [22, с. 24]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(a - by), \\ \frac{dy}{dt} = y(-c + dx), \end{cases} \quad (1)$$

где x — численность жертв; y — численность хищников; a — коэффициент прироста жертвы в единицу времени при отсутствии хищников ($y = 0$); $-c$ — коэффициент исчезновения хищника в единицу времени при отсутствии жертвы ($x = 0$); b, d — коэффициенты хищности (параметры, описывающие эффективность потребления жертв хищниками); $a, b, c, d > 0$.

В основу модели Лотки — Вольтерры заложены следующие допущения:

— популяция жертвы размножается экспоненциально (в соответствии с законом Мальтуса $\frac{dx}{dt} = ax$), если отсутствует хищник;

— популяция хищника экспоненциально вымирает ($\frac{dy}{dt} = -cy$), если отсутствует жертва;

— существует линейная зависимость суммарного количества жертв, потребляемого хищником, от численности обеих популяций;

— слагаемые, пропорциональные произведению xu , рассматриваются как превращение энергии одного источника в энергию другого (то есть результат встречи двух популяций состоит в уменьшении скорости прироста dx / xt численности жертв на величину xu , пропорциональную численности хищников) [23];

— отсутствуют дополнительные факторы, оказывающие влияние на динамику популяций (ограниченность ресурсов жертвы и хищника, эффект насыщения хищника и т. д.).

В. Вольтерра, изучая взаимоотношения типа «хищник — жертва», пришел к следующим выводам [24]:

1) колебания числа индивидуумов двух видов являются периодическими;

2) среднее значение числа особей двух видов не зависит от начальных условий, если только коэффициент прироста и коэффициент хищности остаются теми же самыми;

3) если стремиться уничтожить в одно и то же время особей обоих видов, то среднее число индивидуумов пожираемого вида увеличится, а число индивидуумов пожирающего вида уменьшится.

Ключевыми для модели (1) являются коэффициенты хищности, относительно которых В. Вольтерра писал: «...Они увеличиваются вместе с хищностью и прожорливо-

стью второго рода и уменьшаются, когда средства защиты у первого вида делаются больше» [24]. Именно по этой причине в основу модели легло понятие трофической функции, описывающей индивидуальный рацион хищника. По определению, индивидуальный рацион — это количество жертв, потребляемых хищником за единицу времени. Классической формой трофической функции является зависимость индивидуального рациона хищника P только от плотности популяции жертв x , то есть $P = P(x)$. Простейшим случаем трофической функции является линейная зависимость $P(x) = mx$, которая и была использована в модели Лотки — Вольтерры. Такая зависимость применима в тех случаях, когда почти все жертвы становятся добычей хищника. Если принять, что k -я часть полученной с биомассы жертв энергии расходуется на воспроизводство, а остальная тратится на поддержание основного обмена, модель (1) примет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax - mxy, \\ \frac{dy}{dt} = kmxy - cy. \end{cases} \quad (2)$$

Модель Лотки — Вольтерры обладает некоторыми недостатками. С математической точки зрения модель является жесткой (в терминологии В.И. Арнольда) и консервативной в силу того, что даже малые изменения параметров системы могут привести к качественному изменению в траектории решения. С биологической точки зрения недостаток заключается в отсутствии факторов, оказывающих сильное влияние на динамику популяций (ограниченность ресурсов жертвы и хищника, эффект насыщения хищника и т. д.). Тем не менее, модель (1) позволяет описывать поведения сложных систем различной природы с помощью простых закономерностей, и эффективность этого подхода неоднократно была доказана [25–30].

Модель использования возобновляемых и традиционных источников энергии

За основу модели использования традиционных и возобновляемых источников энергии примем модель (2). Производство электроэнергии на основе использования ВИЭ будем ассоциировать с жертвами и обозначать переменной x , а производство электроэнергии на основе ТИЭ — с хищниками, обозначая y . Слагаемое ax в первом уравнении модели (2) отражает рост производства электроэнергии на основе ВИЭ в отсутствие ТИЭ: очевидно, что в этом случае можно ожидать приращения производства

Таблица 4
Себестоимость производства электроэнергии в РФ в 2007 г. [31, 32]

Вид электрических станций (ЭС)	Себестоимость, цент/кВт·ч
ГЭС	2,5–5,5
АЭС	≤2
Средние и крупные ГЭС	≤1
Малые ГЭС	2,5–4,3
Биомасса	4,5–14
Ветровые ЭС	16–22
Геотермальные ЭС	13–15
Солнечная ЭС	53,5–57,2
Приливные ЭС	17–20

электроэнергии на базе ВИЭ пропорционально уже произведенному количеству электроэнергии. Слагаемое $-cy$ во втором уравнении объясняется следующим образом. В отсутствие ВИЭ, по сути, исчезает конкурент для производителей электроэнергии на базе ТИЭ, которые могут получать те же прибыли, увеличивая цены на свою продукцию при сокращении объемов производимой электроэнергии.

Слагаемые, пропорциональные производству x , отражают приращения производства электроэнергии от взаимодействия двух видов источников. Учитывая, что производство электроэнергии на основе ТИЭ является более распространенным и обеспечивающим меньшую его стоимость (табл. 4) для потребителей, можно предполагать, что потребитель, имея возможность выбора, предпочтет электроэнергию на основе ТИЭ, что отрицательно скажется на приращении переменной x , и напротив, положительно — на приращении переменной y . При этом все объемы потребления, которые «потеряют» производители электроэнергии на базе ВИЭ, очевидно, должны быть обеспечены электроэнергией на базе ТИЭ. Это позволяет принять параметр k равным 1.

Расчет параметров модели использования ВИЭ и ТИЭ проводился на основании данных официальной статистической отчетности РФ (табл. 5).

Непосредственные расчеты осуществлялись с помощью прикладного пакета программ Mathcad, что позволило получить следующие значения искомым параметрам: $a = 3,9956$; $m = 0,000004$; $c = 0,0172$. Таким образом, модель использования ВИЭ и ТИЭ примет вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = 3,9956x - 0,000004xy, \\ \frac{dy}{dt} = 0,000004xy - 0,0172y. \end{cases} \quad (3)$$

Выработка электроэнергии в РФ, млн кВт·ч

Год	Выработано электроэнергети с использованием ВИЭ*	Выработано электроэнергети на основе традиционных источников	Выработано электроэнергети всего	Доля электроэнергии выработанной на базе ВИЭ, %
2000	4550,7	873249,3	877800,0	0,52
2001	4788,2	886511,8	891300,0	0,54
2002	5021,7	886278,3	891300,0	0,56
2003	5362,7	910937,3	916300,0	0,59
2004	5982,1	925917,9	931900,0	0,64
2005	5892,2	947191,2	953083,4,0	0,62
2006	5929,4	989864,5	995793,9	0,60
2007	6027,5	1009306,0	1015333,5	0,59
2008	6460,2	1033919,0	1040379,2	0,62
2009	6750,9	985228,6	991979,5	0,68
2010	6320,1	1031709,0	1038029,1	0,61

* Безруких П. П. Состояние и перспективы использования возобновляемых источников энергии в мире. М.: ИМЭМО РАН, 2013. [Электронный ресурс]. URL: http://old.imemo.ru/ru/conf/2013/13122013/BEZRUCH_13122013.pdf (дата обращения: 16.03.2015).

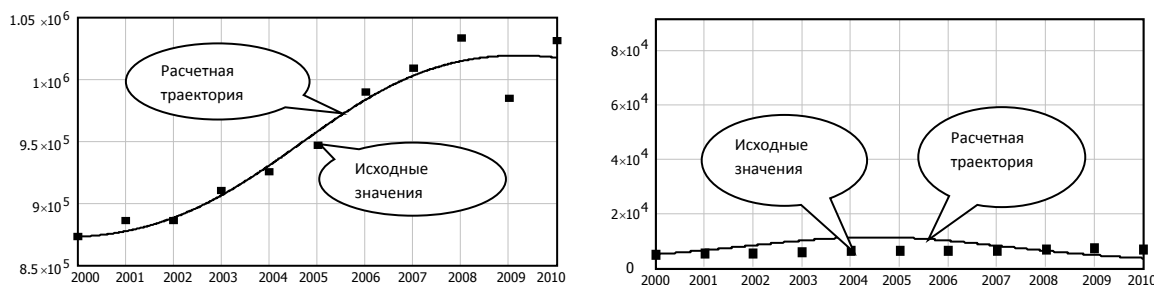


Рис. 1. Траектории выработки электроэнергии на основе ТИЭ (слева) и ВИЭ (справа)

Хорошую точность модели (3) подтверждают средние ошибки аппроксимации $A_y = 1,094\%$; $A_x = 1,094\%$ (рис. 1).

Модель (3) позволяет оценить текущее состояние энергетической системы (определить, в каком положении она находится на текущий момент времени), спрогнозировать ее поведение с учетом различных начальных условий и определить на ее основе наиболее эффективные варианты использования традиционных и альтернативных источников энергии.

Синергетический подход предполагает, что в процессе своего развития, состоящего из циклически повторяющихся стадий эволюции и скачка, система постоянно переходит из устойчивого состояния в неустойчивое и обратно. Разным типам равновесных состояний соответствуют различные типы движения в окрестностях равновесия (режимы). Большинство практических работ по синергетике направлено на нахождение устойчивых положений системы и изучение поведения системы вблизи равновесных точек.

На основании системы (3) могут быть определены точки равновесия, которые вычисляются, исходя из условий:

$$\frac{dx}{dt} = 0; \quad \frac{dy}{dt} = 0. \quad (4)$$

У модели (3) существует 2 стационарных состояния: первое — $x = 0$, $y = 0$ — соответствует отсутствию выработки электроэнергии, а потому не представляет интереса для исследования, второе — $x = \frac{a}{m} = 944300$, $y = \frac{m}{m} = 4065$ — является особой точкой внутри фазовых кривых — центром (рис. 2). Фазовые траектории в окрестностях стационарного состояния являются замкнутыми линиями, соответствующими начальным значениям за 2000–2010 гг. Вблизи особой точки наблюдаются незатухающие колебания. Возникновение отрицательной обратной связи проявляется в том, что при уменьшении выработки электроэнергии на базе невозобновляемых источников наблюдается рост выработки электроэнергии на базе ВИЭ. Поскольку положение равновесия устойчиво, то только сильные флуктуации (такие

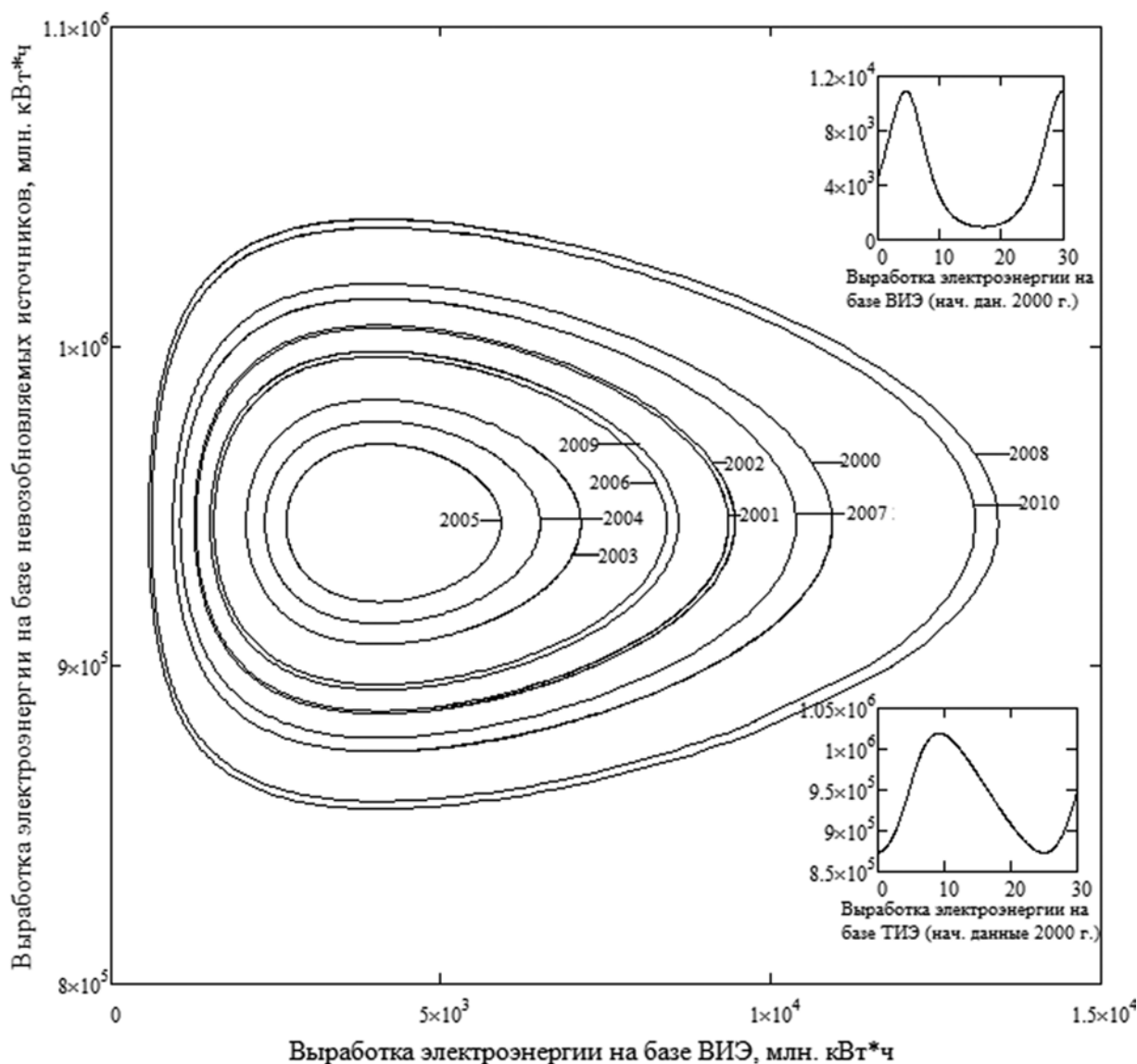


Рис. 2. Фазовые траектории модели (3)

как, например, внушительные объемы инвестиций в возобновляемую энергетику, введение государством различных поощрительных мер) могут привести к качественному скачку и изменению структуры электроэнергетики нашей страны.

Заключения, сделанные В. Вольтеррой относительно модели «хищник — жертва», оказываются справедливыми и для системы (3).

Исследования модели (3) показали, что энергетическая система РФ с 2000 по 2005 г. стремилась к точке равновесия (соответствующие траектории на рис. 2). Затем наблюдалось некоторое отдаление от нее. Максимальное удаление от равновесного состояния было в 2008 г. Этот год следует рассматривать как период наилучшей возможности для осуществления качественного скачка в энергетической сфере РФ. Однако никаких мер для этого

принято не было, и далее энергосистема стала возвращаться в «комфортное» (стационарное) состояние.

Данный вывод подтверждают и статистические данные (табл. 5): значения выработки электроэнергии на основе различных источников энергии в России были близки к значениям в точке равновесного состояния. В разные годы относительное отклонение по электроэнергии, выработанной на основе ТИЭ и ВИЭ, составляло от 0,3 % до 9,5 % и от 11,9 % до 66,1 % соответственно. Как отмечалось выше, это может объясняться достаточностью запасов традиционных источников энергии и неразработанностью механизмов государственной поддержки возобновляемой энергетики.

Применение модели использования возобновляемых и традиционных источников энергии

Построенная модель (3) может быть использована для целей прогнозирования и обоснования целевых ориентиров. В США, например, детальные прогнозы динамики разнородных энергетических индикаторов, учитывающие ВИЭ, на период до 2020 г. были составлены еще в 1996–1998 гг. [33]. В нашей стране прогнозы по ВИЭ не осуществляются, и лишь совсем недавно появились целевые индикаторы их развития.

Впервые целевые индикаторы развития ВИЭ на государственном уровне в РФ были обозначены в «Основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 г.» (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 г. № 1-р)¹. В соот-

¹ Собрание законодательства Российской Федерации. 2009. № 4. С. 515.

ветствии с принятым документом планировалось увеличить совокупную долю ВИЭ (без больших ГЭС) в электрогенерации страны в 2010, 2015 и 2020 гг. до 1,5, 2,5 и 4,5 % соответственно. Однако время показало, что намеченные ориентиры являются труднодостижимыми. Поэтому Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 мая 2013 г. № 861-р² в указанный документ были внесены дополнения и корректировки (табл. 6).

В 2014 г., согласно скорректированной и утвержденной государственной программе Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики»³, было запланировано увеличить долю ВИЭ в энергобалансе страны к 2020 г. до 2,5 % вместо намечавшихся в 2009 г. 4,5 %⁴ (табл. 7).

² Собрание законодательства Российской Федерации. 2013. № 23. С. 2931.

³ Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 321 [http://ips.pravo.gov.ru].

⁴ Собрание законодательства Российской Федерации. 2009. № 4, ст. 515.

Таблица 6

Целевые показатели величин объемов ввода установленной мощности генерирующих объектов (МВт) и ожидаемых объемов производства электрической энергии (ГВт·ч) на основе ВИЭ

Виды генерирующих объектов, функционирующих на основе ВИЭ	МВт/ ГВт·ч	Год							Всего
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Генерирующие объекты, функционирующие на основе энергии ветра	МВт	100	250	250	500	750	750	1000	3600
	ГВт·ч	219	547,5	547,5	1095	1642,5	1642,5	2190	7884
Генерирующие объекты, функционирующие на основе фотоэлектрического преобразования энергии солнца	МВт	120	140	200	250	270	270	270	1520
	ГВт·ч	136,7	159,4	227,8	284,7	307,5	307,5	307,5	1731
Генерирующие объекты установленной мощностью менее 25 МВт, функционирующие на основе энергии вод	МВт	18	26	124	124	141	159	159	751
	ГВт·ч	46,4	69,6	324,6	324,6	371	417,4	417,4	1971
Итого	МВт	238	416	574	874	1161	1179	1429	5871
	ГВт·ч	402	776,5	1099,9	1704,3	2321	2367,4	2914,9	11586

Таблица 7

Развитие использования возобновляемых источников энергии

Показатель	Год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Доля производства электрической энергии генерирующими объектами, функционирующими на основе использования ВИЭ, в совокупном объеме производства электрической энергии (без учета ГЭС установленной мощностью свыше 25 МВт), %	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5
Мощность генерирующих объектов, функционирующих на основе использования ВИЭ (без учета ГЭС установленной мощностью свыше 25 МВт), МВт	—	238	416	574	874	1161	1179	1429

Таблица 8

Результаты экстраполяции модели (3) при вариации данных 2010 г. как начальных*

Показатель	Сценарии по вариации данных 2010 г.				
	1	2	3	4	5
Доля электроэнергии, произведенной на основе использования ВИЭ в совокупном объеме производства, %	0,62	1,0	1,5	2,0	2,5
ВИЭ, млн кВт·ч начальное значение	6320,1	10380,3	15570,4	20760,6	25950,7
минимальное значение за полный цикл	606,1 <i>(0,058 %)</i>	376,8 <i>(0,036 %)</i>	168,1 <i>(0,016 %)</i>	66,0 <i>(0,006 %)</i>	24,6 <i>(0,002 %)</i>
максимальное значение за полный цикл	13090,0 <i>(1,26 %)</i>	15480,0 <i>(1,49 %)</i>	19570,0 <i>(1,89 %)</i>	24040,0 <i>(2,32 %)</i>	28730,0 <i>(2,77 %)</i>
ТИЭ, млн кВт·ч начальное значение	1031709,0	1027648,8	1022458,7	1017268,5	1012078,4
минимальное значение за полный цикл	857300,0	842000,0	819100,0	797500,0	777600,0
максимальное значение за полный цикл	1037000,0	1055000,0	1082000,0	1108000,0	1133000,0
Периодичность, лет	26,0	27,0	28,5	30,5	32,5

* — жирным курсивом выделены доли электроэнергии, произведенные на основе использования ВИЭ, по отношению к общему объему производства электрической энергии.

В рамках построенной модели (3) было исследовано влияние изменения начальных условий на поведение энергетической системы РФ. Так, вариация доли электроэнергии, произведенной на основе ВИЭ в 2010 г. (табл. 8) при сохранении общего объема выработанной электроэнергии на уровне 1038029,1 млн кВт·ч (табл. 5), позволила выявить, что рост доли электроэнергии, произведенной на основе ВИЭ, дает следующие эффекты:

— возрастает разброс значений электроэнергии, произведенной на основе ВИЭ и ТИЭ, то есть энергетическая система РФ удаляется от своего стационарного состояния, при этом наблюдается явное нарушение гармонического характера колебаний, что можно рассматривать как фактор, положительно сказывающийся на увеличении возможностей для изменения сложившейся структуры ЭС;

— увеличивается длительность циклов — периодов предсказуемого развития энергетической системы РФ;

— сокращается разброс между максимальным количеством электроэнергии, произведенной на основе использования ВИЭ, в совокупном объеме производства электрической энергии и аналогичным начальным значением, выраженными в процентах. При фактических значениях 2010 г. названные величины отличались в 2,03 раза (1,26 %/0,62 %), а при долях ВИЭ в общем объеме произведенной электроэнергии в 1, 1,5, 2 и 2,5 % и в 1,49, 1,26, 1,16 и 1,11 раза соответственно.

Результаты последнего из приведенных выводов могут рассматриваться в качестве осно-

вания для разработки целевых показателей. Действительно, увеличение доли электроэнергии, произведенной на основе использования ВИЭ, в совокупном объеме электроэнергии страны сопряжено с ростом инвестиций в данное направление электроэнергетики. При этом очевидно, что инвестиционные проекты в масштабах государства тем привлекательнее, чем больший положительный эффект они могут вызвать [34]. В данном случае положительный эффект, в первую очередь, выражается в возможном увеличении прироста электроэнергии, произведенной на основе использования ВИЭ. В случае инвестиций в производство электроэнергии на основе ВИЭ с доведением ее доли в общем объеме электроэнергии страны до 1 % (табл. 8) максимальный эффект составит 0,49 % (1,49 %–1 %), а при доведении до 1,5, 2 и 2,5 % — 0,39, 0,32 и 0,27 % соответственно.

Соотнесение планируемых инвестиционных вложений с предполагаемыми эффектами способствует повышению обоснованности принимаемых решений. Заметим, что приведенные результаты расчетов и представленные на их основе выводы подтверждают целесообразность проведенной в 2014 г. коррекции целевых ориентиров доли ВИЭ в энергобалансе страны¹, согласно которой к 2020 г. данная величина должна составлять 2,5 % вместо 4,5 %, намечавшихся в 2009 г.

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 321 [<http://ips.pravo.gov.ru>].

Список источников

1. Фортвов В. Е., Попель О. С. Возобновляемые источники энергии в мире и в России // Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR-2013. Мат-лы I международного форума. 22–23 окт. 2013 г. / Под ред. д-ра техн. наук О. С. Попеля. — М.: ОИВТ РАН, 2013. — С. 12–22.
2. Кузнецов Б. Л. Синергетический менеджмент. Словарь терминов и определений — Набережные Челны: Изд-во КамПИ, 2011. — 73 с.
3. Жилин В. И. К вопросу о самоорганизации в кибернетических и синергетических системах // Вестник Ленинградского государственного университета им. А. С. Пушкина. — 2010. — Т. 2. — № 2. — С. 142–149.
4. Котельников Г. А. Теоретическая и прикладная синергетика. — Белгород: БелГТАСМ: Крестьянское дело, 2000. — 162 с.
5. Кузнецов Б. Л. Экономическая синергетика как интеллектуальный ресурс экономического развития России // Экономическая синергетика. Синергетическое управление социально-экономическим развитием: сб. науч. тр. / Камская государственная инженерно-экономическая академия; под ред. д-ра техн. наук проф. Б. Л. Кузнецова. — Набережные Челны: Изд-во Камской гос. инж.-экон. академии, 2010. — 167 с.
6. Галева Е. И. Синергетический подход как инновационная технология управления социально-экономическими системами // Вестник Чувашского государственного университета. — 2008. — № 3. — С. 319–326.
7. Кузнецов Б. Л. Выдержки из доклада «Синергетическое управление социально-экономическим развитием» // III Научные чтения профессорско-экономистов. Альтернативы экономического роста. Инновационное и эволюционное развитие российской экономики (2–4 февраля 2010 г.) // Управленец. — 2010. — № 3–4 (7–8). — С. 1417.
8. Милованов В. Н. Соотношение диалектики и синергетики / Экономическая синергетика. Инновационное развитие России : сб. науч. тр. / Камская государственная инженерно-экономическая академия; под ред. д. т. н., проф. Б. Л. Кузнецова. — Набережные Челны: Изд-во Камской гос. инж.-экон. академии, 2008. — 285 с.
9. Kerner E. H. A dynamical approach to chemical kinetics: mass-action laws as generalized. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 1972. 34 (2), 243–275.
10. Пых Ю. А. Математический анализ модели культивирования микроводорослей на многокомпонентной среде // Сборник трудов по агрономической физике. — Вып. 38. — Л. : АФИ, 1976. — С. 82–84.
11. Розоноэр Л. И., Седых Е. И. О механизмах эволюции самовоспроизводящихся систем, III // Автоматика и телемеханика. — 1979. — № 5. — С. 137–148.
12. Cowan J. D. A statistical mechanism of nervous activity. In M. Gerstenhaber (Ed.), Lectures on Mathematics in the Life Sciences 1970 2 (pp. 1–57). Providence: Rhode Island: American Mathematical Society.
13. Gandolfo G. Mathematical methods and models in economic dynamics. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1971. P. 511
14. Чандрасекар С. Введение в учение о строении звезд. — М.: Иностранная литература, 1950. — 466 с.
15. Нелинейные системы гидродинамического типа / Ф. В. Должанский, В. И. Кляцкин, А. М. Обухов, М. А. Чусов. — М.: Наука, 1974. — 163 с.
16. Иваницкий Г. Р. На пути второй интеллектуальной революции // Техника кино и телевидения. — 1988. — № 5. — С. 33–39.
17. Коровкин А. Г., Лапина Т. Д., Полежаев А. В. Согласование спроса на рабочую силу и ее предложения. Федеральный и региональный аспекты // Проблемы прогнозирования. — 2000. — № 3. — С. 73–88.
18. Коровкин А. Г., Наумов А. В. Социально-экономические проблемы формирования рациональной занятости // Экономика и математические методы. — 1990. — Т. 26. — Вып. 5. — С. 861–870.
19. Милованов В. П. Об одном подходе к моделированию механизмов ценообразования // Экономика и математические методы. — 1994. — Т. 30. — Вып. 1. — С. 137–147.
20. Dasarathy V. V. Dynamics of a class of social interaction systems. International Journal of Systems Science, 1974. 5 (4), P. 329–333.
21. Плотинский Ю. М. Теоретические и эмпирические модели социальных процессов: учеб. пособие. — М.: Логос, 1998. — 279 с.
22. Базыкин А. Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций. — М.: Наука, 1985. — 181 с.
23. Трубецков Д. И. Феномен математической модели Лоттки — Вольтерры и сходных с ней // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. — 2011. — Т. 19, № 2. — С. 69–88.
24. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. — М.: Наука, 1976. — 288 с.
25. Oster G. F., Perelson A. S. Chemical reaction dynamics. Archive for Rational Mechanics and Analysis, 1974. No 55 (3), P. 230–274.
26. Samuelson R. A. Generalized predator-prey oscillations in ecological and economic equilibrium. Proc. Nat. Acad. Sci., 1971. No 68 (3), P. 980–983.
27. Jones C. W. On reducible non-linear differential equations occurring in mechanics. Proceedings of the Royal Society A. 1953. No 217, P. 327–343.
28. Коровкин А. Г. Согласование динамики вакантных рабочих мест и рабочей силы в России // Проблемы прогнозирования. — 1999. — № 2. — С. 73–84.

29. Балацкий Е. В., Коньшев В. А. Взаимодействие государственного и частного секторов России. Проблема достижения равновесия // Общество и экономика. — 2004. — № 1. — С. 3–17.
30. Dasarathy B. V. On a generalized dynamic model of bistate social interaction process. International Journal of Systems Science. 1974. No 5, P. 499–506.
31. Перспективы возобновляемых источников энергии в России // Федеральный портал protown.ru. [Электронный ресурс]. URL: <http://protown.ru/information/hidden/7941.html> (дата обращения: 18.03.2015).
32. Шевелев Ю. А. Возобновляемые источники энергии // Уголь Кузбасса. Федеральный научно-практический журнал. 2010. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.2014.uk42.ru/index.php?id=310> (дата обращения: 20.03.2015).
33. Цыбатов В. А., Важенина Л. В. Методические подходы к анализу и прогнозированию развития топливно-энергетического комплекса в регионе // Экономика региона. — 2014. — № 4. — С. 188–199.
34. Domnikov Yu., Khodorovsky M. J., Khomenko P. M. Optimization of finances into regional energy // Экономика региона. — 2014. — № 2. — С. 248–254.

Информация об авторах

Гайнанов Дамир Ахнафович — доктор экономических наук, директор, Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра РАН (Российская Федерация, 450054, Республика Башкортостан, Уфа, пр. Октября, 71; e-mail: 2d2@inbox.ru).

Кантор Ольга Геннадиевна — кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра РАН (Российская Федерация, 450112, Республика Башкортостан, Уфа, пр. Октября, 71; e-mail: o_kantor@mail.ru).

Каширина Екатерина Сергеевна — аспирант, младший научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра РАН (Российская Федерация, 450054, Республика Башкортостан, Уфа, пр. Октября, 71; e-mail: katuyh@mail.ru).

For citation: Ekonomika regiona [Economy of Region]. — 2015. — № 4. — pp. 357–369.

D. A. Gaynanov, O. G. Kantor, E. S. Kashirina

Synergetic Modelling of the Russian Federation's Energy System Parameters

The energy system in any country is the basis of the whole economy. The level of its development largely determines the quantity and quality of economic entities, periods of economic growth, fall and stagnation. A high percentage of the power-deficient municipalities in the Russian Federation shows the substantive issues in this sphere that carries a threat to the energy security of the state.

One of the promising trends for enhancing the energy security is the renewable energy sources (RES). Their use has the obvious benefits: it provides electricity to power-deficient and inaccessible areas, contributes to the introduction and spread of new technologies, thus solving the important social and economic problems. At that, it is important to determine the optimum ratio using of the recovery of renewable and conventional energy sources (CES). One of the main challenges in this regard is to build a model that adequately reflects the ratio of renewable and conventional energy sources in the Russian energy system.

The paper presents the results of a synergistic approach to the construction of such a model. The Lotka-Volterra model was the main instrument used, which allowed to study a behavior pattern of the considered systems on the basis of the simplified regularities. It was found that the best possibility for the qualitative "jump" in the Russian energy sector was in 2008. The calculations have allowed to investigate the behavior of the Russian energy system with the variation of the initial conditions and to assess the validity of the targets for the share of electricity produced through the use of renewable energy in the total electric power of the country.

Keywords: renewable energy sources, energy system, targets, synergetic approach

References

- Fortov, V. E. & Popel, O. S. (2013). Vozobnovlyaemye istochniki energii v mire i v Rossii [Renewable energy sources in the world and in Russia]. *Vozobnovlyaemaya energetika. Puti povysheniya energeticheskoy i ekonomicheskoy effektivnosti REENFOR-2013. Mat-ly I mezhdunarodnogo foruma. 22–23 okt. 2013 g. [Renewable energy. Ways of improving the power and economic efficiency of REENFOR-2013. Proceedings of the 1st international forum. 22–23 of Oct., 2013].* In: O. S. Popel (Ed.). Moscow: OIVT RAN Publ., 12–22.
- Kuznetsov, B. L. (2011). *Sinergeticheskiy menedzhment. Slovar terminov i opredeleniy [Synergetic management. Dictionary of terms and definitions].* Nab. Chelny: KamPI Publ., 73.
- Zhilin, V. I. (2010). K voprosu o samoorganizatsii v kiberneticheskikh i sinergeticheskikh sistemakh [To a question of self-organization in the cybernetic and synergetic systems]. *Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta im. A. S. Pushkina [Bulletin of the A.S. Pushkin Leningrad State University], 2(2), 142–149.*
- Kotelnikov, G. A. (2000). *Teoreticheskaya i prikladnaya sinergetika [Theoretical and applied synergetics].* Belgorod: Krestyanskoye delo Publ., 162.
- Kuznetsov, B. L. (2010). Ekonomicheskaya sinergetika kak intellektualnyy resurs ekonomicheskogo razvitiya Rossii [Economic synergetics as an intellectual resource of economic development of Russia]. *Ekonomicheskaya sinergetika. Sinergeticheskoye upravlenie sotsialno-ekonomicheskim razvitiem: sb. nauch. tr. [Economic synergetics. Synergetic management*

of socio-economic development: collection of scientific papers]. In: B. L. Kuznetsov (Ed.). Naberezhnye Chelny: Kamsky gos. inzh.-ekon. akademiya Publ., 167.

6. Galeyeva, Ye. I. (2008). Sinergeticheskiy podkhod kak innovatsionnaya tekhnologiya upravleniya sotsialno-ekonomicheskimi sistemami [Synergetic approach as an innovative technology of the socio-economic systems management]. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Chuvash State University]*, 3, 319–326.

7. Kuznetsov, B. L. (2010). Vyderzhki iz doklada «Sinergeticheskoye upravlenie sotsialno-ekonomicheskimi sistemami» [Excerpts from the report “Synergetic management of socio-economic development”]. III Nauchnyye chteniya professorov-ekonomistov: Alternativy ekonomicheskogo rosta. Innovatsionnoye i evolyutsionnoye razvitiye rossiyskoy ekonomiki (2–4 fevralya 2010 g.) [III Scientific readings of the professors-economists: Alternatives of economic growth. Innovative and evolutionary development of the Russian economy (2–4 of February, 2010)]. *Upravlenets [Manager]*, 3–4 (7–8), 14–17.

8. Milovanov, V. N. (2008). Sootnoshenie dialektiki i sinergetiki [Ratio of dialectics and synergetics]. *Ekonomicheskaya sinergetika: innovatsionnoye razvitiye Rossii: sb. nauch. tr. [Economic synergetics: innovative development of Russia: collection of scientific papers]*. In: B. L. Kuznetsov (Ed.). Nab. Chelny: Kamsky gos. inzh.-ekon.akademiya (Ed.), 285.

9. Kerner, E. N. (1972). A dynamical approach to chemical kinetics: mass-action laws as generalized. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 34(2), 243–275.

10. Pykh, Yu. A. (1976). Matematicheskiy analiz modeli kultivirovaniya mikrovdorosley na mnogokomponentnoy srede [The mathematical analysis of the microseaweed cultivation model on the multicomponent environment]. *Sbornik trudov po agronomicheskoy fizike [Collection of works on agronomical physics]*, 38. Leningrad: AFI Publ., 82–84.

11. Rozonoyer, L. I. & Sedykh, E. I. (1979). O mekhanizmax evolyutsii samovosproizvodyashchikhsya sistem, III [On evolutionary mechanisms of the self-replicating systems, III]. *Avtomatika i telemekhanika [Automatics and telemechanics]*, 5, 137–148.

12. Cowan, J. D. (1970). A statistical mechanism of nervous activity. In: M. Gerstenhaber (Ed.). *Lectures on Mathematics in the Life Sciences*, 2. Providence: Rhode Island: American Mathematical Society, 1–57.

13. Gandolfo, G. (1971). *Mathematical methods and models in economic dynamics*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 511.

14. Chandrasekar, S. (1950). *Vvedenie v uchenie o stroenii zvyozd [Introduction to the doctrine on the structure of stars]*. Moscow: Inostrannaya literatura Publ., 466.

15. Dolzhanskiy, F. V., Klyatskin, V. I., Obukhov, A. M. & Chusov, M. A. (1974). *Nelineynyye sistemy gidrodinamicheskogo tipa [Nonlinear systems of hydrodynamic type]*. Moscow: Nauka Publ., 163.

16. Ivanitskiy, G. R. (1988). Na puti vtoroy intellektualnoy revolyutsii [On the way of the second intellectual revolution]. *Tekhnika kino i televideniya [Technics for cinema and television]*, 5, 33–39.

17. Korovkin, A. G., Lapina, T. D. & Polezhaev, A. V. (2000). Soglasovanie sprosa na rabochuyu silu i eyo predlozheniya. Federalnyy i regionalnyy aspekty [Coordination of labor demand and its offer. Federal and regional aspects]. *Problemy prognozirovaniya [Forecasting problems]*, 3, 73–88.

18. Korovkin, A. G. & Naumov, A. V. (1990). Sotsialno-ekonomicheskie problemy formirovaniya ratsionalnoy zanyatosti [Socio-economic problems of the rational employment development]. *Ekonomika i matematicheskie metody [Economics and mathematical methods]*, 26(5), 861–870.

19. Milovanov, V. P. (1994). Ob odnom podkhode k modelirovaniyu mekhanizmov tsenoobrazovaniya [On the approach to modeling the pricing mechanisms]. *Ekonomika i matematicheskie metody [Economy and mathematical methods]*, 30(1), 137–147.

20. Dasarathy, B. V. (1974). Dynamics of a class of social interaction systems. *International Journal of Systems Science*, 5(4), 329–333.

21. Plotinskiy, Yu. M. (1998). *Teoreticheskie i empiricheskie modeli sotsialnykh protsessov: ucheb. posobie [Theoretical and empirical models of social processes: study guide]*. Moscow: Logos Publ., 279.

22. Bazykin, A. D. (1985). *Matematicheskaya biofizika vzaimodeystvuyushchikh populyatsiy [Mathematical biophysics of the interacting populations]*. Moscow: Nauka Publ., 181.

23. Trubetskov, D. I. (2011). Fenomen matematicheskoy modeli Lottki — Volterra i skhodnykh s ney [Phenomenon of mathematical model of Lottki — Volterra and similar ones]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya nelineynaya dinamika [News of higher education institutions. Applied nonlinear dynamics]*, 19(2), 69–88.

24. Volterra, V. (1976). *Matematicheskaya teoriya borby za sushchestvovanie [The mathematical theory of struggle for existence]*. Moscow: Nauka Publ., 288.

25. Oster, G. F. & Perelson, A. S. (1974). Chemical reaction dynamics. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, 55(3), 230–274.

26. Samuelson, R. A. (1971). Generalized predator-prey oscillations in ecological and economic equilibrium. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 68(3), 980–983.

27. Jones, C. W. (1953). On reducible non-linear differential equations occurring in mechanics. *Proceedings of the Royal Society*, 217, 327–343.

28. Korovkin, A. G. (1999). Soglasovanie dinamiki vakantnykh rabochikh mest i rabochey sily v Rossii [Coordination of the dynamics of the vacant workplaces and labor in Russia]. *Problemy prognozirovaniya [Forecasting problems]*, 2, 73–84.

29. Balatskiy, E. V. & Konyshev, V. A. (2004). Vzaimodeystvie gosudarstvennogo i chastnogo sektorov Rossii. Problema dostizheniya ravnovesiya [Interaction of the state and private sectors in Russia. Problem to achieve balance]. *Obshchestvo i ekonomika [Society and economics]*, 1, 3–17.
30. Dasarathy, B. V. (1974). On a generalized dynamic model of bistate social interaction process. *International Journal of Systems Science*, 5, 499–506.
31. *Perspektivy vozobnovlyаемых источников энергии в России [Prospects for the renewable energy sources in Russia]*. Federalnyy portal protown.ru [Federal website protown.ru]. Retrieved from: <http://protown.ru/information/hide/7941.html> (date of access: 18.03.2015).
32. Shevelev, Yu. A. (2010). *Vozobnovlyаемые источники энергии [Renewable energy sources]*. Ugol Kuzbassa. Federalnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal [Coal of Kuzbass. Federal scientific and practical journal]. Retrieved from: <http://www.2014.uk42.ru/index.php?id=310> (date of access: 20.03.2015).
33. Tsybatov, V. A. & Vazhenina, L. V. (2014). Metodicheskie podkhody k analizu i prognozirovaniyu razvitiya toplivno-energeticheskogo kompleksa v regione [Methodical approaches to the analysis and forecasting of the development of the regional fuel and energy complex]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 4, 188–199.
34. Domnikov, Yu., Khodorovsky, M. J. & Khomenko, P. M. (2014). Optimization of finances into regional energy. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 2, 248–254.

Authors

Gaynanov Damir Akhnafovich — Doctor of Economics, Professor, Head of the Institute of Social and Economic Research, Ufa Scientific Centre of RAS (71, Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russian Federation; e-mail: 2d2@inbox.ru).

Kantor Olga Gennadievna — PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Research Associate, Institute of Social and Economic Research, Ufa Scientific Centre of RAS (71, Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russian Federation; e-mail: o_kantor@mail.ru).

Kashirina Ekaterina Sergeyevna — PhD Student, Junior scientist, Institute of Social and Economic Research, Ufa Scientific Centre of the RAS (71, Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russian Federation; e-mail: katuyh@mail.ru).