



СТОХАСТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

Михалевич А. А., Фисенко С. П.

Институт тепло - массообмена им. А. В. Лыкова НАНБ

Реферат. В данной работе применены методы эконофизики к разработке стохастического среднесрочного прогноза энергобезопасности. В работе представлены первые результаты исследования перехода от детерминистической модели энергобезопасности к стохастической модели. Детерминистическая модель описывает совместную эволюцию численности населения, ВВП и потребления энергии с учетом прогнозируемого роста производительности труда и снижения энергоемкости единицы ВВП. Для описания в первом приближении функции распределения потребления энергии в стране получено уравнение типа Фоккера – Планка. Выведенное уравнение решено моментным методом. Показано, что стохастичность естественным образом ограничивает точность среднесрочного прогноза. Изменение ширины функции распределения определяется коэффициентом броуновского блуждания A в пространстве энергии. На основе статистических данных для Беларуси оценено значение этого коэффициента.

Ключевые слова: энергобезопасность, стохастическая модель

PROGNOZA STOCASICĂ A SECURITĂȚII ENERGETICE A ȚĂRII

Mikhalevich A.A., Fisenko S.P.

Institutul de transfer a masei și căldurii „AV Lykov”, ASN Bielorusia

Rezumat – În această lucrare s-au aplicat tehnici de econofizica pentru a prognoza pe termen mediu nivelul securității energetice a țării. În lucrare se prezintă primele rezultate ale unui studiu de tranziție de la modelele deterministe ale securității energetice la modele de tip stohastic.

Modelul determinist descrie evoluția populației, PIB-ul și consumului de energie, ținând cont de creșterea estimată a productivității muncii și a reducerii consumului de energie la o unitate de PIB. Pentru descrierea în prima aproximare a funcției de distribuție a consumului de energie în țară s-a obținut o ecuația de tip Fokker – Planck. Această ecuație este rezolvată cu metoda de cuplu dedus. A fost demonstrat, că caracterul stohastic a proceselor limitează natural precizie de prognoză pe termen mediu. Modificarea lățimii funcției de distribuție este determinată de caracterul brownian al evoluției coeficientului A în spațiul energiei. Pe baza datelor statistice pentru Belarus s-a apreciat valoarea acestui coeficient.

Cuvinte cheie – securitatea energetică, modelul stohastic.

FORECAST STOCHASTIC ENERGY SECURITY

Mikhalevich A.A., Fisenko S.P.

Institute of Heat - mass transfer. AV Lykov, NASB

Abstract – In this paper were applied econophysics techniques to predict the medium-term energy security. The paper presents the first results of a study of transition from deterministic models of energy security type stochastic models.

Deterministic model describes the evolution of population, GDP and energy consumption, taking into account the expected increase in labor productivity and reducing energy consumption per unit of GDP. To describe the first approximation of the distribution function of energy consumption in the country has achieved a type equation Fokker - Planck. This is resolved by way of stances Discharged couple deduced. It was shown that the stochastic nature of natural processes limited medium-term forecasting accuracy. Change width of the distribution function is determined by the Brownian character evolution coeficientului A in energy space. Based on statistical data for Belarus appreciated the value of this coefficient.

Keywords: energy security, stochastic models.

ВВЕДЕНИЕ.

Среднесрочное прогнозирование энергобезопасности страны – важная и актуальная задача, стоящая перед научным сообществом. В частности, в работе [1] была развита детерминистическая математическая модель прогнозирования

энергобезопасности, основанная на открытой статистической информации и методе эконофизики [2, 3]. В этой математической модели учитывается динамика народонаселения страны, динамика валового внутреннего продукта (ВВП) и потребления энергии, что и позволяет надежно моделировать влияние целого ряда факторов на эволюцию энергобезопасности страны.

Однако в этой модели не был учтен целый ряд относительно небольших случайных факторов, которые влияют на точность прогноза энергобезопасности: колебания спроса на рынке, воздействующие на величину ВВП; флуктуации потребления энергии (в связи с различным числом праздничных дней в году, отклонениями зимней температуры от средней многолетней температуры и т.п.). В этой связи значительный интерес представляет развитие стохастического прогнозирования энергобезопасности. Естественно, стохастическая модель ограничивает однозначность среднесрочного прогноза, однако повышает его надежность. Для простоты изложения в этой работе ограничимся рассмотрением только флуктуаций потребления энергии в стране. Численные расчеты приведены для Республики Беларусь.

Отметим, что в настоящее время ведутся работы по созданию вероятностной (стохастической) модели экономики [4]. В целом нам представляется, что стохастические математические модели более корректно, чем детерминистические модели, описывают вопросы, связанные с поведением сложных социальных и экономических систем [5].

ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.

Общепринятое количественное определение энергобезопасности страны далеко от окончательной формулировки, и это не случайно. Действительно, оно существенно зависит от временного и пространственного масштаба рассмотрения энергобезопасности. В этом состоит интересная близость теоретической задачи об прогнозировании энергобезопасности страны со многими проблемами неравновесной статистической физики и термодинамики [6]. Отметим, что чем меньше временной масштаб рассмотрения, тем больше параметров нужно использовать для корректного описания энергобезопасности страны. Такая же ситуация имеет место и в задачах неравновесной физики. При увеличении временного масштаба число параметров, необходимых для макроскопического состояния системы, сокращается.

Описание состояния страны, необходимое для прогнозирования энергобезопасности, используемое в нашем подходе, базируется на минимальном наборе переменных. Среди них: GDP – валовой внутренний продукт в течение года; E – энергия, потребляемая страной в течение года; P_r – средняя цена единицы энергии на внешнем рынке и N – численность населения.

Следя [1], введем безразмерный параметр ε , равный

$$\varepsilon = GDP(EP_r), \quad (1)$$

который можно рассматривать как количественную характеристику уровня энергобезопасности страны. Очевидно, что параметр ε должен быть всегда больше единицы для обеспечения развития страны. В рамках нашей детерминистической модели, как можно

показать, величина параметра ε в любой момент времени t определяется соотношением

$$\varepsilon = \frac{1}{k_{egnp}(t)P_r(t)}, \quad (2)$$

где k_{egnp} – энергоемкость единицы ВВП страны. Аналогичный вывод о влиянии энергоемкости единицы ВВП на энергобезопасность страны был сделан в работе [7], в которой приведено много полезной статистической информации.

Численные результаты прогнозов для различных сценариев развития Республики Беларусь на основе детерминистической модели энергобезопасности приведены в работе [1]. На рис. 1 приведен для иллюстрации детерминистический прогноз изменения параметра $\varepsilon(t)$ при ежегодном темпе роста производительности труда на 8%, снижения энергоемкости единицы ВВП на 5% и при средней цене единицы энергии, эквивалентной 60 \$ США за баррель нефти.

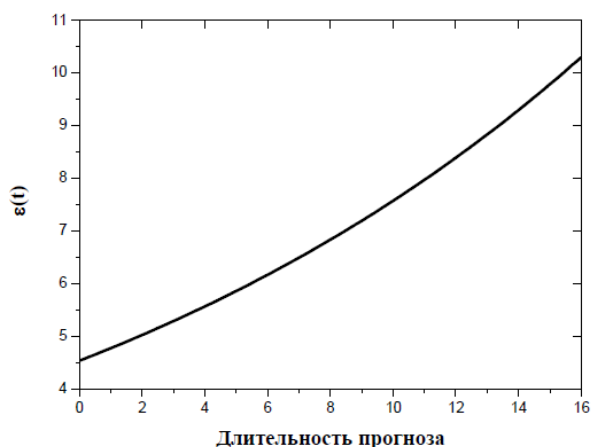


Рис.1. Прогноз энергобезопасности страны на 16 лет.

Ежегодное снижение энергоемкости единицы ВВП 5%. Отметим, что для этого сценария развития параметр $\varepsilon(t)$ и через 16 лет не достигнет уровня характерного для стран Западной Европы сегодня.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ. ПРИБЛИЖЕНИЕ ФОККЕРА – ПЛАНКА.

С целью учета влияния относительно небольших, зачастую действующих в противоположном направлении, случайных факторов в экономике и энергопотреблении, введем в уравнение для расчета потребляемой энергии стохастический источник $I(t)$. Теперь это уравнение имеет вид

$$\frac{dE(t)}{dt} = \frac{d(k_{egnp}GDP)}{dt} + I(t). \quad (3)$$

При этом будем считать, что случайная величина $I(t)$ является дельта-коррелированной случайной величиной [8, 9] с нулевым значением средней величины. Другими словами, среднее по ансамблю случайных реализаций $\langle I \rangle$

$$\langle I \rangle = 0, \quad (4)$$

а для корреляционной функции справедливо равенство

$$\langle I(t')I(t) \rangle = A(t)\delta(t' - t) \quad (5)$$

Таким образом, если усреднить уравнение (3) на достаточно большом интервале времени, то сразу видно, что оно описывает поведение среднего значения $\langle E(t) \rangle$ потребляемой энергии. Сделанные выше предположения о природе флуктуаций, как известно, являются простейшими с математической точки зрения [8, 9]. Учет как корреляций между флуктуациями, так и конечного времени их затухания значительно усложняет математические аспекты анализа. В настоящей работе ограничимся простейшими предположениями.

В проблемах энергобезопасности задача о нахождении параметра A по статистическим данным к настоящему времени решена только частично. В физических задачах параметр A в выражениях, аналогичных (5), прямо пропорционален температуре системы, т. е. мере хаотического движения.

С введением стохастического источника в уравнение (3) потребляемая в стране энергия $E(t)$ также становится случайной величиной. Удобно перейти к эквивалентному описанию случайных процессов, связанному не с введением случайных источников, а с использованием функции распределения параметров. Введем функцию распределения потребления энергии страной $f(E, t)$ так, чтобы она была нормированной на единицу.

Как известно [8, 9], с предположениями (4) и (5) для $f(E, t)$ можно записать кинетическое уравнение

$$\frac{\partial f(E, t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial E} \left(f(E, t) \frac{d(k_{\text{енп}} \text{GDP})}{dt} \right) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial E^2} (f(E, t) A) \quad (6)$$

Уравнение (6) представляет собой уравнение Фоккера – Планка с переменными коэффициентами. Оно описывает дрейф функции распределения $f(E, t)$ и её "диффузионное" расширение. Именно это диффузионное расширение и ограничивает точность среднесрочного прогноза энергобезопасности. Отметим, что в отличие от уравнений детерминистической модели уравнение (6) не обладает инвариантностью относительно обращения времени.

Граничные условия к уравнению (6) имеют естественный вид: функция распределения достаточно быстро спадает к нулю при достаточно большом удалении от среднего значения.

Квазиравновесное распределение $f_e(E, t)$ потребляемой в стране энергии находится из условия обращения в нуль первого члена в правой части уравнения (6). Если начальное распределение представляет собой δ -функцию Дирака [8], то тогда $f_e(E, t)$ имеет вид:

$$f_e = \frac{1}{\sqrt{2\pi At}} \exp \left[-\frac{(E - \langle E \rangle)^2}{2At} \right]. \quad (7)$$

Как хорошо известно, для функции распределения (7) характерная ширина функции распределения $\sim At$.

МОМЕНТНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ.

Используем для численного решения стохастической модели (2), (3) и (7) метод моментов [8]. Причем ограничимся только двумя первыми моментами – средней энергией $\langle E \rangle$ и средним квадратом потребляемой энергии $\langle E^2 \rangle$. Уравнение для $\langle E^2 \rangle$ следует после вычисления второго момента функции распределения с помощью (6). В результате имеем два обыкновенных дифференциальных уравнения:

$$\frac{d \langle E \rangle}{dt} = \langle \dot{E} \rangle \quad (8)$$

где мы ввели обозначение $\frac{d(k_{\text{енп}} \text{GDP})}{dt} = \langle \dot{E} \rangle$ и

$$\frac{d \langle E^2 \rangle}{dt} = 2 \langle E \rangle \langle \dot{E} \rangle + A \quad (9)$$

Очевидно, что для описания этих двух моментов использование уравнений (8) и (9) эквивалентно применению уравнения (6). Отметим, что при $A = 0$ ширина функции распределения $f(E, t)$ остается постоянной во времени.

Среднеквадратичное отклонение $\sigma(t)$ определяется стандартным образом:

$$\sigma(t) = \sqrt{\langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2}.$$

На значение $\sigma(t)$ влияет длительность интервала прогнозирования и величина параметра A . Из сравнения статистических данных по потреблению энергии в РБ и расчетных результатов можно сделать вывод, что $A = \langle E \rangle^2 p$, где p – параметр.

На рис. 2 показан стохастический прогноз потребления энергии для значения $p = 0.0003$, который достаточно хорошо описывает флуктуации потребления энергии в РБ за 2000 – 2005 гг. Кривая 1 описывает поведение среднего значения $\langle E(t) \rangle$, кривая 2 показывает границу $\langle E(t) \rangle + \sigma(t)$, кривая 3 – границу $\langle E(t) \rangle - \sigma(t)$. Если считать, что функция распределения потребляемой энергии является гауссовой функцией со средним значением, совпадающим с $\langle E(t) \rangle$, то вероятность найти значение потребляемой энергии между кривыми 2 и 3 равна 0.683. Отметим, что принятому значению p отвечают флуктуации годового потребления энергии с амплитудой порядка 1.5% от среднего значения.

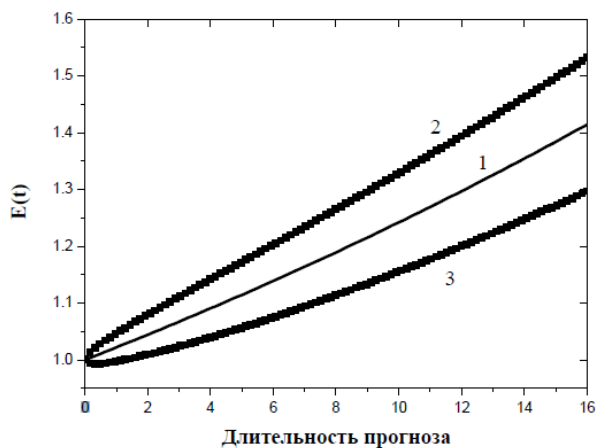


Рис.2 Стохастический прогноз потребления энергии для одного из сценариев развития Беларуси.

Темп роста производительности труда 0.08, темп снижения энергоёмкости единицы ВВП – 0.05; стохастический параметр $A = 0.0003$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Связь между уровнем развития общества и величиной потребляемой им энергии была осознана физиками достаточно давно [10]. В данной работе методы эконофизики применены к разработке стохастического среднесрочного прогноза энергобезопасности. В работе представлены первые результаты исследования перехода от детерминистической модели энергобезопасности к стохастической модели.

Детерминистическая модель описывает совместную эволюцию численности населения,

ВВП и потребления энергии с учетом прогнозируемого роста производительности труда и снижения энергоёмкости единицы ВВП. В приближении белого шума в уравнении для описания энергии получено уравнение типа Фоккера – Планка для функции распределения потребления энергии в стране. Выведенное уравнение решено моментным методом. Показано, что стохастичность естественным образом ограничивает точность среднесрочного

прогноза. Изменение ширины функции распределения определяется коэффициентом броуновского блуждания A в пространстве энергии. На основе статистических данных для Беларуси оценено значение этого коэффициента.

Значительный практический интерес представляет учет стохастических членов и в других уравнениях нашей математической модели [1], описывающих динамику народонаселения страны и внутреннего валового продукта. Очевидно, что при этом точность среднесрочного прогноза энергобезопасности уменьшится, хотя величина эффекта уменьшения сильно зависит от амплитуды флуктуаций. Для выявления этих эффектов в ретроспективном анализе статистических данных предстоит провести значительную работу [4].

Работа была частично поддержана грантом БРФФИ, проект T08МЛД – 025.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Михалеви́ч А.А., Фисенко С.П., Шнип А.И., *Прогнозирование энергобезопасности в среднесрочной перспективе* // Тепло- и массоперенос – 2007. Минск: ИТМО НАН Беларуси. сс.15–19.
- [2] Econophysics in <http://en.wikipedia.org>
- [3] Романовский М. Ю., Романовский Ю. М. Введение в эконофизику. *Статистические и динамические модели.* Москва, Ижевск: Изд-во «РХД», 2007.
- [4] Вальтух К.К. О разработке вероятностной экономической теории // Вестник РАН. 2008. Т. 78, № 1. Сс.28–47.
- [5] Haken H. *Cooperative effects in systems far from thermal equilibrium and in nonphysical systems* // Rev. Mod. Phys. 1975. Vol. 47. P. 67.
- [6] Stauffer D. *Introduction to statistical physics outside physics* // Physica A. 2004. Vol. 336. Pp. 1–5.
- [7] Никитенко П.Г., Кулаков Г.Т., Цибилина В.М. *Энергоэффективность как ключевой момент энергетической безопасности Республики Беларусь* // Вестник Фонда Фундаментальных Исследований, 2008. №4, Сс.20- 28
- [8] Рыгов С.М. *Введение в статистическую радиофизику. Случайные процессы.* 1. М.: Наука, 1976. 496 с.
- [9] Кляцкин В.И. *Стохастические уравнения глазами физика.* М.: Физматлит, 2001. –528 с.
- [10] Капица П.Л. *Глобальные проблемы и энергия* // Эксперимент, теория, практика М.: Наука, 1981. С.430.