



Artificial societies. 2013-2020

ISSN 2077-5180

URL - <http://artsoc.jes.su>

All right reserved

Issue 1 Volume 15. 2020

Evaluation of the Probabilistic characteristics of Random processes in the World Economy under Conditions of Nonlinear dynamics with an Essential Chaotic Component

E. Loginov

*MINISTRY OF ENERGY OF RUSSIAN FEDERATION; Institute for Economic Strategies
Russian Federation, Moscow*

S. Zarbaliev

*MGIMO UNIVERSITY
Russian Federation, Moscow*

V. Grigorev

*MGIMO UNIVERSITY
Russian Federation, Moscow*

Abstract

Random processes are considered as an important component of macroeconomic dynamics, which explains the catastrophic nature of crisis phenomena in the world economy, which is characterized by non-linear dynamics with an essential chaotic component. Calculation algorithms are formulated for obtaining estimates of the initial moments based on the reference values of the characteristic function of mixtures of signals or data packets on macroeconomic processes and interference or events that affect macroeconomic dynamics, but are not taken into account in traditional economic analysis. It is concluded that the processes of macroeconomic dynamics in the global economy in the face of complex multifactorial crisis phenomena with an essential chaotic component began to be influenced by stationary stochastic factors that are not taken into account in traditional analytical models of macroeconomic dynamics.

Keywords list (en): probability density, correlation function, initial moments, estimation of distribution moments, characteristic function

Date of publication: 13.03.2020

Acknowledgment:

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-010-00956 А «Стратегия внедрения элементов цифровой экономики России для оптимизации взаимодействия агрегированных групп экономических агентов на основе развития логистики цифровых активов и интеллектуальной мобильности»).

Citation link:

Grigorev V., Loginov E., Zarbaliev S. Evaluation of the Probabilistic characteristics of Random processes in the World Economy under Conditions of Nonlinear dynamics with an Essential Chaotic Component // Artificial societies. 2020. V. 15. Issue 1 [Electronic resource]. Access for registered users. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800008701-0-1/> (circulation date: 23.10.2020). DOI: 10.18254/S207751800008701-0

1 **Введение** Начиная со второй половины XX века, в мировой экономике все более часто встречаются макроэкономические явления, которые относят к случайным процессам [1; 3; 13]. В настоящий момент в исследовании экономических процессов широко используется стохастический факторный анализ. Он применяется тогда, когда случайный процесс принципиально не может быть детерминирован, т.е. не может быть не случайным. Стохастический факторный анализ включает в себя корреляционный, регрессионный и дисперсионный методы. Каждый из этих методов имеет свои преимущества в зависимости от природы исследуемого процесса. Существенным условием эффективного применения этих методов является объем данных.

2 Рассматриваемый в настоящей статье метод характеристических функций включает в себя элементы регрессионного и дисперсионного методов [10]. Этот метод предназначен для исследования случайных процессов, допускающих разбиение на интервалы по нескольким признакам и в соответствии с заданными условиями. Суть метода характеристических функций состоит в разбиении случайного процесса по одному либо нескольким признакам по сегментам, на каждом из которых изучается соответствующая эмпирическая характеристическая функция. Тогда эмпирическая функция плотности распределения вероятности всего случайного процесса аналитически задается через формулу обращения как произведение соответствующих эмпирических характеристических функций каждого сегмента. На промежутке случайный процесс характеризуется следующими точечными параметрами: выборочное среднее и исправленная выборочная дисперсия. При определенных условиях эти статистические параметры являются состоятельными и несмещенными оценками параметров теоретического распределения всего исследуемого случайного процесса. Производная k -го порядка эмпирических характеристических функций для каждого сегмента в нулевой момент времени является соответствующим моментом того же порядка.

3 **Случайные процессы как важный компонент макроэкономической динамики** Особенно ярко эти процессы проявились в последние годы. Хроника нарастания катастрофических кризисных явлений в мировой экономике характеризуется нелинейной динамикой с существенной хаотической компонентой [4; 6]. Например, экономическая динамика США и Китая демонстрирует несколько областей синхронизации или асинхронизации различных циклических и нециклических автоколебаний. Это, прежде всего, области, подверженные влиянию инвестиционного стимулирования. В них взаимодействуют устойчивые и неустойчивые макроэкономические циклы (рис.1).



Рисунок 1. График зависимости темпов прироста производительности труда от капиталовооружённости $\delta y = f(\delta k)$ по данным США с 1947–2016 гг.[11]

5 При этом просто традиционными кризисными закономерностями, ранее носившими устойчиво циклический характер, эти явления объяснить затруднительно [11; 12]. Динамика денежного агрегата M2 США, в общем случае считающаяся показателем, который тесно связан с циклами кризиса, также не демонстрирует связи с циклическими явлениями (рис.2).

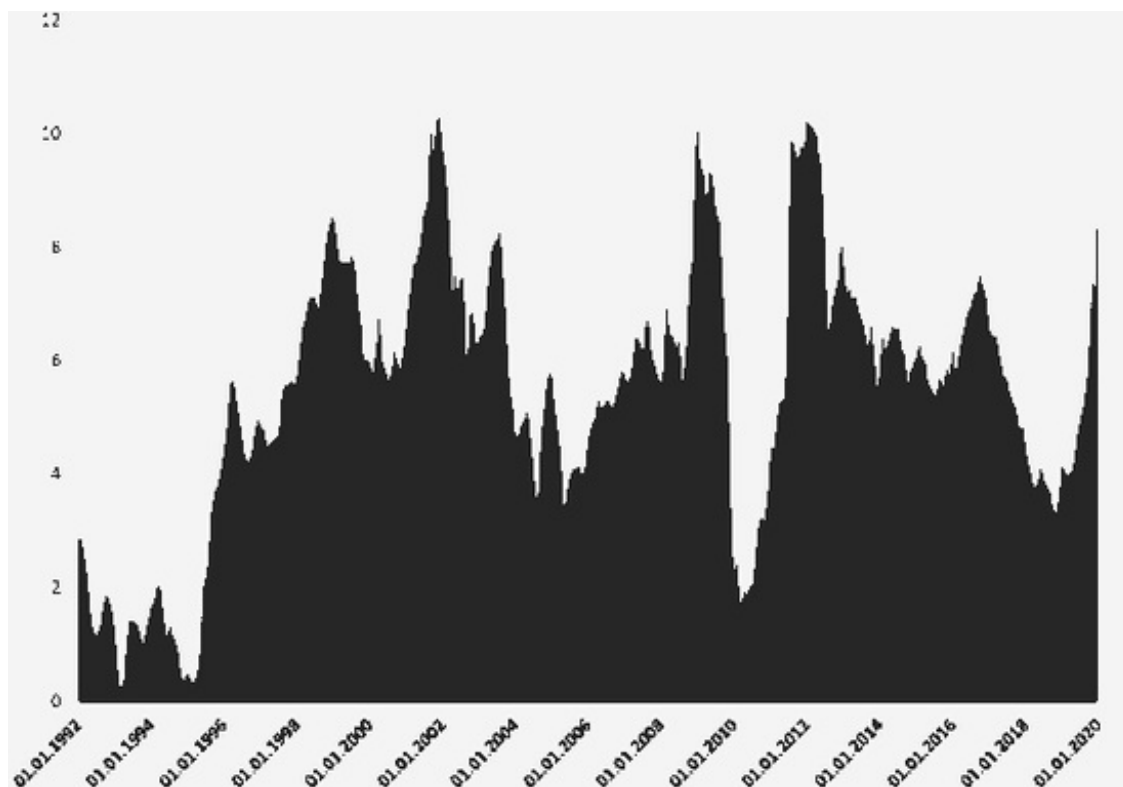


Рисунок 2. Денежный агрегат M2 США (год к году, %) [1]

7 Характеристики рассматриваемой нелинейной макроэкономической динамики могут быть получены методами статистического оценивания параметров случайных процессов [11]. Неоднократные попытки установления статистического оценивания параметров случайных процессов в управленческом пространстве мировой экономики с анализом обобщенного макроэкономического цикла как совокупности различных циклов для определения точек наблюдаемого равновесия инвестиционно-финансовых факторов в рамках наблюдаемого рыночного пространства, определяемых сочетанием адаптивных макроэкономических флуктуаций, пока не привели к требуемым результатам. Это, по-видимому, связано с недостаточным учетом неоднородности показателей состояния и развития сегментов мировой экономики с определенной товарной и производственной специализацией групп компаний, действующих в рамках наблюдаемого рыночного пространства как смесей сигналов (пакетов данных о макроэкономических процессах), включая товарно-финансовые компоненты, изменяющиеся во времени.

8 В системе сегментов мировой экономики с определенной товарной и производственной специализацией, при коллаборации с системными колебаниями, порождаемыми существенно неравновесной активной средой адаптивных крупных сегментов рыночного пространства, сравнимых по величине с ТНК, с большим количеством трансграничных контуров производственно-торгового оборота (имеющей инверсную характеристику кризисности макроэкономических уровней), наблюдаются процессы товарно-финансового разбалансирования [7; 8]. В результате чего, в частности, происходит сбой эффективности механизмов планирования и регулирования рыночной конъюнктуры в рамках рыночного пространства, включающей инвестиционно-ориентированные и производственно-ориентированные тренды развития отраслевых сегментов на трансграничном уровне [9].

9 Использование оценок характеристических функций целесообразно при определении статистических характеристик смесей сигналов (пакетов данных о макроэкономических процессах) и помех (событий, влияющих на макроэкономическую динамику, но не учитываемых при традиционном экономическом анализе). Пример таких помех: расширение или сужение национальной монетарной базы и инвестиционных потоков за счет не учитываемой величины денежной массы и «переливов» трансграничных криптовалют; изменение эффективности национального макроэкономического регулирования в естественных или искусственных условиях, например, эпидемиях коронавирусных инфекций и пр.

10 **Алгоритмы вычислений, основанные на отсчетных значениях характеристической функции случайного сигнала** Обозначим через $m_k(t)$ начальный момент распределения вероятностей случайного процесса порядка k . Воспользуемся известной формулой начального момента k -го порядка, представленной в [2]. Отметим, что начальные моменты случайного сигнала выражаются через функцию плотности распределения вероятности $p(x;t)$ исследуемого случайного процесса, характерного для некоторых макроэкономических явлений.

11 Обратим внимание на то, что реальным случайным сигналам соответствуют ограниченные мгновенные значения. Отсюда следует, что плотность распределения вероятностей реальных сигналов (пакетов данных о макроэкономических процессах) можно считать с вероятностью, близкой к единице, заключенной в некотором конечном промежутке значений от $(-x_n)$ до x_n .

12 Так как плотность распределения вероятностей случайного сигнала $p(x;t)$ на отрезке $[-x_n; x_n]$ подчиняется условиям Дирихле, то на этом отрезке её можно представить в виде сходящегося ряда Фурье. При этом коэффициенты разложения ряда Фурье — есть

элементарные функции оценок отсчетов характеристической функции через интервалы $\Delta\eta$, равные π/x_n , т.е. $\Delta\eta = \pi/x_n$. Для оценки плотности распределения вероятностей случайного сигнала $p(x;t)$ воспользуемся формулой из [5]:

$$13 \quad p^*(x; \Delta\eta; t) = \frac{\Delta\eta}{2\pi} \cdot \sum_{m=-N}^N \psi^*(\eta_m; t) e^{-ix\eta_m}, (1)$$

14 которая позволяет достаточно эффективно оценивать функцию плотности распределения вероятности эмпирической функцией плотности распределения вероятности, полученной в результате наблюдений за изучаемым макроэкономическим процессом. В формуле (1) $\psi^*(\eta_m; t)$ является оценкой отсчетов одномерной характеристической функции, которая получается по наблюдениям случайного сигнала при вычислении на компьютере [3; 5], а η_m — это отсчетные значения аргумента характеристической функции, определяемые выбранным интервалом отсчетов $\Delta\eta$ и их количеством m , т.е. $\eta_m = m\Delta\eta$. Рассматриваемая эмпирическая характеристическая функция $\psi^*(\eta_m; t)$ имеет комплексную природу и поэтому может быть представлена через действительную и мнимую части. Тогда формула (1) примет такой вид:

$$15 \quad p^*(x; \Delta\eta; t) = \frac{\Delta\eta}{2} \left(0,5 + \sum_{m=1}^{N_1} (\cos(x\eta_m) \operatorname{Re} \psi^*(\eta_m; t) + \sin(x\eta_m) \operatorname{Im} \psi^*(\eta_m; t)) \right), (2)$$

16 где $\operatorname{Re} \psi^*(\eta_m; t)$ и $\operatorname{Im} \psi^*(\eta_m; t)$ являются оценками отсчетных значений соответственно действительной и мнимой составляющих эмпирической характеристической функции.

17 Формула (2) может служить алгоритмом для расчета эмпирической плотности распределения вероятностей случайных сигналов — пакетов данных о макроэкономических процессах — с помощью конкретных и эффективных вычислительных методов. Стоит заметить, что для достоверной статистической оценки первоначально рассчитываются оценки $\operatorname{Re} \psi^*(\eta_m; t)$ и $\operatorname{Im} \psi^*(\eta_m; t)$ по реализациям случайных сигналов. Учитывая тот факт, что $\Delta\eta = \pi/x_n$, в качестве статистической оценки начальных моментов распределения вероятностей принимается функционал

$$18 \quad m_k^*(t) = \int_{-x_n}^{x_n} x^k p^*(x; \Delta\eta; t) dx, (3)$$

19 зависящий от момента времени t .

20 Используя (2) в формуле (3), получим выражение для оценки начальных моментов $m_k^*(t)$, которое позволит связать статистическую оценку эмпирических начальных моментов в момент времени t , соотношением:

$$21 \quad m_k^*(N_2) = \frac{\Delta\eta}{2} \int_{-x_n}^{x_n} x^k \left(0,5 + \sum_{m=1}^{N_1} (\cos(x\eta_m) \operatorname{Re} \psi^*(\eta_m; N_2) + \right. \\ \left. + \sin(x\eta_m) \operatorname{Im} \psi^*(\eta_m; N_2)) \right) dx, (4)$$

22 где N_2 — достаточное количество выбранных отсчетов случайного сигнала, обеспечивающего свойство репрезентативности случайного процесса.

23 Введем для значений случайного сигнала нормировку $|x_n^t| = \pi$ и пусть $\Delta\eta = 1$. Тогда эмпирическая оценка эмпирической плотности распределения вероятностей случайного сигнала (2) для функции плотности распределения вероятностей $p(x;t)$ примет следующий вид:

$$24 \quad p^*(x; N_2) = \frac{1}{\pi} \left(0,5 + \sum_{m=1}^{N_1} (\cos(xm) \operatorname{Re} \psi^*(m; N_2) + \sin(xm) \operatorname{Im} \psi^*(m; N_2)) \right) \quad (5)$$

25 Из формулы (4) следует, что все четные начальные моменты определяются только действительной частью, а все нечетные начальные моменты только мнимой частью характеристической функции случайного сигнала.

26 Нетрудно показать, что из формулы (4) следуют оценки выборочного математического ожидания и исправленной выборочной дисперсии в зависимости от первых двух начальных моментов, которые можно представить в следующем виде:

$$27 \quad m_1^*(N_2) = \frac{2}{\Delta\eta} \sum_{m=1}^{N_1} (-1)^{m+1} \bullet \frac{\operatorname{Im} \psi^*(\eta_m; N_2)}{m},$$

$$28 \quad m_2^*(N_2) = \frac{\pi^2}{3\Delta\eta^2} + \frac{4}{\Delta\eta^2} \sum_{m=1}^{N_1} (-1)^m \bullet \frac{\operatorname{Re} \psi^*(\eta_m; N_2)}{m^2}.$$

29 **Макроэкономическое оперирование с учетом случайных событий** Набор оценок начальных моментов, основанных на отсчетных значениях характеристической функции смесей сигналов или пакетов данных о макроэкономических процессах и помех или событий, влияющих на макроэкономическую динамику должен позволить опираться на модель выявления предпосылок, способствующих формированию в финансовой системе (управленческом пространстве) мировой экономики как, своего рода, системе отраслевых или территориальных сегментов с определенной товарной и производственной специализацией наблюдаемых итераций спроса и поставок товарной продукции. То есть, системного агентного поведения, как, своего рода, набора вычисляемых факторов, с учетом возможного наличия избыточных экспортно-импортных эффектов, стимулирующих пополнение бюджетов всех уровней, которые не могут быть выведены в смежные офшорные финансовые системы с увеличением доли наблюдаемого контура до мировой экономики в целом или иных границ.

30 Измерение соотношения влияния этих факторов, в том числе спектр их мощности, позволяет выделить в области функционирования территориальных сегментов мировой экономики с определенной товарной и производственной специализацией как сложных функциональных пространств, где - вследствие смесей сигналов (пакетов данных о макроэкономических процессах) и помех (событий, влияющих на макроэкономическую динамику) трудно выделить области синхронизма формирующих наблюдаемых итераций спроса и поставок товарной продукции. То есть, происходит процесс выхода групп организационных структур, действующих в рамках наблюдаемого рыночного пространства за пределы квазикризисных состояний, их моделей коллективных коллабораций, может завершиться или активизироваться, в зависимости от показателей состояния суперсистемы. Этот процесс может привести к делению сегментов мировой экономики с определенной товарной и производственной специализацией на стагнирующие анклавы. Факторы каждого из функциональных пространств являются подфакторами соответствующего этому целевому блоку мегафактора динамики коллаборации системно-циклического множества формирующих наблюдаемых итераций спроса и поставок товарной продукции в условиях различной эффективности процессов наращивания поставок товарной продукции в рамках бесшовно наращиваемой матрицы заказов и поставок и последующего их реинвестирования с учетом различных тенденций товарно-финансовой активности .

31 **Заключение** Из рассмотренных соотношений можно сделать некоторые выводы о влиянии случайных воздействий типа флуктуационных шумов на макроэкономические процессы, а также о влиянии других явных и неявных факторов, которые можно отнести к стохастическим процессам.

32 Применение аппарата анализа случайных процессов к оценке вероятностных характеристик макроэкономической динамики в мировой экономике в условиях сложных многофакторных кризисных явлений с существенной хаотической компонентой показывает, что на эти процессы стали существенно влиять факторы, имеющие стохастический характер. При этом в традиционных аналитических моделях макроэкономической динамики эти факторы не учитываются. Таким образом, требуется построить программный анализатор, способный измерить соотношения влияния этих ранее не учитываемых факторов, т.е. спектр их мощности.

References:

1. Annigilyatsionnyj kollaps // URL: <https://spydell.livejournal.com/675431.html>
2. Bendat D., Pirsol A. Izmerenie i analiz sluchajnykh protsessov. // M.; Mir, 1971.
3. Gol'dberg N.I., Shirikov V.F. Raschet tochnosti statisticheskoj otsenki kharakteristicheskikh funktsij signalov i pomekh. // Sb. Avtomaticheskie sistemy optimal'nogo upravleniya tekhnologicheskimi protsessami. Tula; TPI, 1982.
4. Zarbaliev S.M. Approksimatsiya ehkonomicheskikh funktsij sluchajnoj prirody lomanyimi pryamymi // Vykход ehkonomiki Rossii iz krizisnoj tsiklichnosti: retrospektiva i novaya model' rosta / Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. Pod red. chl.-korr. RAN V.A. Tsvetkova, k.f.-m.n., dotsenta K.Kh. Zoidova. – M.: IPR RAN, 2019. S. 83-86.
5. Zarbaliev S.M. Asimptoticheskie svojstva sluchajnykh vypuklykh lomanykh // Matematika, informatika, estestvoznание v ehnomike i obschestve (MIESEhKO-2016) / Trudy Vserossijskoj nauchnoj konferentsii. M.: Moskovskij finansovo-yuridicheskij universitet MFYuA, 2016. S. 12-19.
6. Zarbaliev S.M., Grigor'ev V.V. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika. // M.; Nauchnaya Biblioteka, 2019.
7. Loginov E.L., Grigor'ev V.V., Bojko P.A., Sorokin D.D., Loginova V.E. Ispol'zovanie intellektual'nykh tekhnologij monitoringa i modelirovaniya dlya kogerentno-rezonansnogo balansirovaniya inflyatsionnykh protsessov pri denezhnoj ehmissii v ehnomike Rossii // Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii. 2019. №2. S. 230-235.
8. Loginov E.L., Shkuta A.A., Loginova V.E. Krizisnaya dinamika kak proyavlenie tsiklo-kogerentnykh protsessov, determinirovannykh sovokupnost'yu diskretnykh makroehkonomicheskikh tsiklov v mirovoj ehnomike // Finansy i kredit. 2018. T. 24. №4 (772). S. 941-953.
9. Makarov V.L., Vu Ts., Vu Z., Khabriev B.R., Bakhtizin A.R. Sovremennye instrumenty otsenki posledstvij mirovykh torgovykh vojn // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2019. T. 89. №7. S. 745-754.
10. Mirskij G.Ya. Apparturnoe opredelenie kharakteristik sluchajnykh protsessov. // M.; Ehnergiya, 1972.
11. Tsvetkov V.A., Stepnov I.M., Koval'chuk Yu.A., Zoidov K.Kh. Dinamika razvitiya ehkonomicheskikh sistem / Pod red. chl.-korr. RAN V.A. Tsvetkova. – M.: TsEhMI RAN / IPR RAN, 2016. 380 s.

12. Makarov V.L., Bakhtizin A.R. Supercomputer technologies in social sciences: existing experience and future perspectives // Springer Proceedings in Complexity 2017. S. 251-273.

13. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Sushko G.B. The application of graph decomposition to development of large-scale agent-based economic models // Advances in Systems Science and Applications. 2019. T. 19. № 1. S. 141-149.

Оценка вероятностных характеристик случайных процессов в мировой экономике в условиях нелинейной динамики с существенной хаотической компонентой

Логинов Е. Л.

Ситуационно-аналитический центр Минэнерго России; Институт экономических стратегий

Российская Федерация, Москва

Зарбалиев С. М.

МГИМО (У) МИД России

Российская Федерация, Москва

Григорьев В. В.

МГИМО (У) МИД России

Российская Федерация, Москва

Аннотация

Рассматриваются случайные процессы как важный компонент макроэкономической динамики, объясняющей катастрофичность кризисных явлений в мировой экономике, которая характеризуется нелинейной динамикой с существенной хаотической компонентой. Сформулированы расчетные алгоритмы получения оценок начальных моментов, основанных на отсчетных значениях характеристической функции смесей сигналов или пакетов данных о макроэкономических процессах и помех или событий, влияющих на макроэкономическую динамику, но не учитываемых при традиционном экономическом анализе. Сделан вывод, что на процессы макроэкономической динамики в мировой экономике в условиях сложных многофакторных кризисных явлений с существенной хаотической компонентой, стали влиять факторы, имеющие стационарный стохастический характер, которые в традиционных аналитических моделях макроэкономической динамики не учитываются.

Ключевые слова: плотность вероятности, корреляционная функция, начальные моменты, оценка моментов распределения, характеристическая функция

Дата публикации: 13.03.2020

Ссылка для цитирования:

Григорьев В. В. , Зарбалиев С. М. , Логинов Е. Л. Оценка вероятностных характеристик случайных процессов в мировой экономике в условиях нелинейной динамики с существенной хаотической компонентой // Искусственные общества. 2020. Т. 15. Выпуск 1 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800008701-0-1/> (дата обращения: 23.10.2020). DOI: 10.18254/S207751800008701-0

