

Научная статья
УДК 338.14, 330.47, 338.22.021.4
doi: 10.17586/2713-1874-2023-4-4-16

ЭНТРОПИЯ ОСНОВНЫХ ФОНДОВЫХ ИНДЕКСОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СОСТОЯНИЯ ЭКОНОМИКИ

Василий Владимирович Карасев^{1,2✉}, Екатерина Ивановна Карасева^{2,3}

¹ИПМаш РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

³ГУАП, Санкт-Петербург, Россия

^{1,2}vvkarasev@itmo.ru ✉

^{2,3}eikaraseva@itmo.ru

Язык статьи – русский

Аннотация: В статье рассмотрена проблема поиска оптимального численного критерия для оценки стабильности экономики и экономической безопасности, позволяющего проводить анализ состояния экономики и принимать решения по ее регулированию. В качестве такого критерия предлагается использовать значение неопределенности состояния экономики, которое вычисляется как энтропия основных фондовых индексов. Авторами проведен расчет энтропии основных фондовых индексов на десятилетнем временном интервале, выполнен сравнительный анализ полученных результатов с историческими данными известного индекса неопределенности экономической политики, обоснован выбор значения энтропии как показателя неопределенности состояния экономики.

Ключевые слова: индекс, неопределенность, оценка, регулирование, экономика, энтропия

Ссылка для цитирования: Карасев В. В., Карасева Е. И. Энтропия основных фондовых индексов как показатель неопределенности состояния экономики // Экономика. Право. Инновации. 2023. № 4. С. 4–16. <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2023-4-4-16>.

MAIN STOCK INDEXES ENTROPY AS UNCERTAINTY INDICATOR FOR ECONOMICS

Vasilii V. Karasev^{1,2✉}, Ekaterina I. Karaseva^{2,3}

¹IPMash RAS, Saint Petersburg, Russia

²ITMO University, Saint Petersburg, Russia

³SUAI, Saint Petersburg, Russia

^{1,2}vvkarasev@itmo.ru ✉

^{2,3}eikaraseva@itmo.ru

Article in Russian

Abstract: The article considers the problem of assignment the optimal numerical criterion for assessment the stability and security of the economics, which allows to analyze the state of the economics and make decisions on its regulation. It is proposed to use the value of economics uncertainty as such criterion. The uncertainty is calculated as the entropy of the main stock indexes. The authors had calculated the entropy of the main stock indices over a ten-year time interval, performed a comparative analysis of the obtained results with historical data of the known economic policy uncertainty index, explained the choice of the entropy value as an uncertainty indicator for the economics.

Keywords: economics, entropy, estimation, index, regulation, uncertainty

For citation: Karasev V. V., Karaseva E. I. Main Stock Indexes Entropy as Uncertainty Indicator for Economics. (In Russ.). *Ekonomika. Pravo. Innovacii*. 2023. No. 4. pp. 4–16. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17586/2713-1874-2023-4-4-16>.

Введение. В свете последних событий геополитического характера методы оценки устойчивости экономики и экономической безопасности приобрели особое значение. Но при разработке таких методов возникают сложности с определением основополагающего критерия, характеризующего состояние объекта исследования. Как охарактеризовать устойчивость, качество, надежность или стабильность фондового рынка? Какой величиной выразить меру (уровень) экономической безопасности страны, региона или области?

Чтобы ответить на эти вопросы, следует заранее определить, какой показатель состояния экономики нам нужен и какими свойствами он должен обладать.

Прежде всего, такой показатель должен объективно отражать состояние экономики, чтобы исходя из его значения можно было бы осуществлять необходимые в настоящий момент процедуры регулирования. Следовательно, показатель должен быть величиной объективной, динамичной, количественной и отражать системные свойства регулируемого объекта.

Устойчивость, качество, стабильность фондового рынка и экономической безопасности можно охарактеризовать универсальным показателем – уровнем неопределенности состояния экономики.

Неопределенность является одним из свойств экономики, порождаемым неполнотой информации при принятии решений субъектами экономики и многовариантностью развития ситуации вследствие принятых решений. В работе [1] приведен обзор причин возникновения неопределенности в экономике, среди которых – события социально-политического характера, неравномерность развития отдельных секторов и отраслей экономики, несовершенство законодательства, природные и техногенные катастрофы, внедрение новых технологий, коррупционные схемы.

Следует отметить, что в отличие от риска, который учитывается и поддается расчету различными методами, неопределенность в экономике далеко не всегда проявляет себя открыто. Неопределенность может проявлять себя в разных аспектах экономических процессов, накапливаться с течением

времени, а затем реализоваться в виде кризиса с эффектом «снежного кома».

Литературный обзор. Сочетание определенности и неопределенности в экономике рассматривали многие экономисты, принадлежащие к разным экономическим школам. В работе [2] рассмотрена эволюция понятия экономической неопределенности и ее представление в различных экономических школах. Например, Й. Шумпетер в книге [3] разделял предпринимателей на консерваторов и новаторов, создающих неопределенные ситуации вследствие внедрения новых технологий и создания новых рынков.

С точки зрения меркантилизма неопределенность прямо пропорциональна численному разнообразию экономических агентов в условиях свободной торговли. Согласно трактату Т. Муна [4] неопределенность возникает из факторов, свидетельствующих о торговой активности иностранных участников на национальном рынке и об экономической мощи государства.

В экономической школе физиократов неопределенность трактуется двояко: как неопределенность среды в непосредственной коммуникации между агентами и как неопределенность вследствие государственного вмешательства в экономические процессы. В исследовании основоположника учения физиократии Ф. Кенэ [5] впервые осмысливается аспект неопределенности, связанный с дефицитом информации.

Классическая политэкономия рассматривает неопределенность в более широком смысле и отождествляет неопределенность с риском. Впервые появляются зачатки системного подхода к изучению феномена неопределенности. Неопределенность становится характеристикой состояния экономической системы и состояния субъекта по отношению к идеальным или ожидаемым условиям.

В теории марксизма неопределенность и риск являются атрибутом повседневности, описывающем неизвестность или неточность исхода. В работе [6] неопределенность упоминается при расчете прибавочной стоимости продукта, величина которой может сильно варьироваться в зависимости от рыночных условий.

В неклассической экономической теории неопределенность не имеет четкого

определения, хотя и основывается на нескольких допущениях. Сделав ставку на рациональное поведение субъектов экономики, представители этого направления рассматривают неопределенность только в контексте непредвиденных событий. Тем не менее, по их мнению, неопределенность таит в себе дополнительные возможности для субъекта и даже предполагается существование приверженности субъектов к неопределенности, являющейся одной из скрытых целей их существования и функционирования. По-видимому, речь идет о расчете субъекта получить доход в будущем. Так, в работах А. Маршалла [7] и О. Бём-Баверка [8] можно встретить упоминания о предельной полезности, удаленной во времени, средних доходов, связанных с известным риском капитала (богатства в немедленном или будущем потреблении) и процентов между настоящей или будущей их стоимостью.

Идеи кейнсианства сфокусированы вокруг явления макроэкономического равновесия, которое характеризует временную определенность. Но в динамике нарушается устойчивый баланс занятости, цен и производства, так как развитие экономики негармонично. Дж. М. Кейнс в работе [9] напрямую упоминает факторы неопределенности, такие как непостоянство ценности капитала, налоговой политики и изменения предполагаемого отношения между текущим и будущим уровнями дохода. По мнению Кейнса, источником неопределенности является рынок, не способный к самоорганизации, а государство стремится создать определенность в рыночных отношениях. Дж. М. Кейнс отмечал в работе [9], что государственное регулирование вносит макроэкономическую определенность в действие рыночных механизмов, но неустойчивая психика инвесторов во взаимодействии с естественными факторами неопределенности ведёт к непредсказуемым сменам периодов высокой и низкой деловой активности.

Представители институциональной экономической теории склонны считать, что любое движение экономики – это развитие в условиях неопределенности, причем неопределенность является главным мотивирующим фактором развития и сопутствующим обстоятельством при получении прибыли.

Так, Дж. К. Гэлбрэйт в работе [10] утверждает, что развитие современного предприятия происходит в усилиях по снижению риска и неопределенности в поведении, но волатильность цен создает неопределенность и только при ней возможно получение сверхприбыли, либо колоссального убытка, уж как повезет.

В монетарной классической теории к неопределенности приводят факторы или параметры рыночного экономического знания. В работе [11] указывается, что такое знание возникает из известных негативных событий: банкротств, падения производства, роста безработицы. Следовательно, с увеличением подобных событий, характеризующих состояние рынка, увеличивается потенциальная неопределенность не только в предельных величинах, но и в среднем уровне за определенный промежуток времени. Возникающее незнание и неточность в одном процессе либо явлении создает производную неопределенность во взаимодействующих процессах, явлениях.

Несмотря на столь разносторонний взгляд на неопределенность у представителей основных экономических школ, все они проявляют единодушие в одном: с точки зрения управления неопределенность сказывается крайне негативно на состоянии экономики, а увеличение неопределенности несет серьезные риски для нее. Неопределенность повышает риск потери безвозвратных затрат при инвестициях, что ухудшает инвестиционный климат и снижает общий уровень инвестиций, отрицательно влияет на рынок труда и рост доходов населения, приводит к снижению потребительского спроса, замедляет экономический рост. В условиях неопределенности трудно ожидать от субъектов экономики обоснованных рациональных решений. В исследовании [12] показано, например, что рост неопределенности состояния экономики Австралии в период с 2008 по 2013 гг. понизил объем инвестиций, уровень занятости и потребления, привел к росту объема сбережений домохозяйств.

При этом неопределенность не является причиной экономических кризисов, несмотря на ее стремительный рост во время кризиса. В работе [13] установлены эмпирическим путем четыре факта о неопределенности, причем первые два факта утверждают, что не-

определенность в экономике на микро- и макроуровне увеличивается с ростом рецессии.

Экономисты и менеджеры испытывают острую необходимость адекватных методов оценки неопределенности экономики, но существенного прогресса в этой области не происходит. Основной причиной этого следует считать некоторый субъективный характер понятия «неопределенность», поскольку оценку состояния экономики в значении «неопределенное» дают конкретные субъекты экономики (потребители ресурсов, представители бизнеса и государства). Так, в работе [14] подчеркивается, что в современной экономической теории доминирует субъективно-вероятностный подход к оценке неопределенности и игнорируется общесистемный онтологический аспект феномена неопределенности.

Цель исследования. Существует множество различных экономических показателей и индикаторов состояния фондовых рынков, однако на практике применение их для оценки экономической неопределенности может вызвать трудности, поскольку часть из них может говорить об одной ситуации, а остальные – о противоположной. Большинство из них допускает субъективные толкования и могут по-разному оцениваться экспертами.

Например, в работе [15] рассмотрены несколько показателей (индексов), рассчитываемых на основе волатильности основных фондовых индексов. Примером может служить «индекс страха» VIX, который строится на основе прогнозных ожиданий 30-дневной будущей волатильности фондового рынка США и рассчитывается на основе цен опционов на индекс S&P 500. Имеется российский аналог – индекс волатильности RVI для рынка РТС. Оба индекса измеряют неопределенность на финансовых рынках, но не позволяют адекватно оценить неопределенность в экономике, поскольку волатильность не отражает фундаментальных свойств экономики с точки зрения системного анализа.

Показателями неопределенности или нестабильности в экономике может служить семейство индексов неопределенности экономической политики EPU [16]. Семейство индексов включает в себя страновые, региональные и глобальный индексы. Это

числовые вещественные показатели, каждый из них является интегрированным значением трех компонентов.

1) Математическая свертка частот упоминания ряда ключевых терминов (таких, как «экономика», «неопределенность», «политика» и др.) на страницах определенного множества (набора) печатных изданий и других средств массовой информации.

2) Данные на основе отчетов госорганов по бюджету, включающих в себя перечень временных положений по налогам и сборам (позволяет оценить направления налоговой политики в ближайшем будущем).

3) Данные на основе опроса аналитиков центробанков, рассчитывается как дисперсия между прогнозами отдельных аналитиков относительно будущих уровней индекса потребительских цен и государственных закупок [17] либо как волатильность прогноза значений основных макроэкономических показателей.

Большинство индексов семейства EPU рассчитываются на основе первого компонента и отражает величину неопределенности экономической политики в своем масштабе и может служить косвенной оценкой неопределенности в экономике – политическим и экономическим событиям, которые не поддаются точной численной оценке. Расчет индексов EPU производится регулярно и их значения имеются в открытом доступе. Семейство индексов EPU представляют особый интерес, поскольку учитывают не только волатильность, но и ряд системных факторов. Так, в работе [18] проведено исследование поведения индекса EPU накануне президентских выборов в 23 странах и выявлено увеличение этого индекса за месяц до выборов и в месяц проведения выборов в среднем на 13% (в США рост составил 28%), которое подтверждает влияние качественных нефинансовых системных факторов на неопределенность экономики.

Тем не менее, о практическом применении индекса EPU к оценке неопределенности состояния экономики говорить сложно. Поскольку в основе расчета большинства индексов этого семейства лежит значение,

полученное на основе анализа сообщений средств массовой информации, то в ряде случаев значение не может быть признано объективным.

Также индекс демонстрирует неопределенность экономической политики, а не экономики непосредственно. Как отмечается в работе [19], индекс EPU показывает степень нерешительности правительства при принятии экономических решений. Безусловно, неопределенность состояния экономики влияет на нерешительность правительства, но это не единственная возможная причина. Возможны ситуации, когда нерешительность правительства вызвана политическими и психологическими факторами вследствие некоторых ожидаемых (прогнозируемых) событий, в то время как состояние экономики в этот момент может быть вполне удовлетворительным.

Исходя из вышеизложенного, цель нашего исследования заключается в проведении расчетных исследований для выявления объективного показателя неопределенности состояния экономики, имеющего фундаментальный характер и отражающего системные свойства экономических систем.

Методы и материалы исследования. В текущих условиях нестабильности мировых финансовых рынков возрастает значение энтропийных методов управления экономикой и финансами. На это есть две серьезные причины. Во-первых, энтропия выступает как объективная системная количественная мера неопределенности, что обуславливает интерес к ней исследователей и аналитиков. При выборе вероятностной меры в постановке задачи, выбор величины и способа расчета энтропии предопределен и объективен, в отличие от величины риска, который можно определять по-разному. Во-вторых, энтропия выступает как мера диверсификации, что особенно важно для обеспечения устойчивости экономики и повышению надежности финансов. Еще одним важным свойством энтропии является возможность использовать ее значение в системах автоматизированного управления финансами.

Энтропия впервые была упомянута в экономических науках в 1971 году в работе Н. Джорджеску-Регена [20]. Эта работа послужила толчком для экономистов при разработке нового подхода к теории производства,

который заключался в применении второго закона термодинамики к экономическим исследованиям. Важность применения понятия энтропии для моделирования экономических процессов и понимания экономических проблем была отмечена многими экономистами, в том числе и П. А. Самуэльсоном [21].

Следует отметить, что в экономике способы расчета энтропии зачастую используют невероятностные меры, а в качестве входных переменных – детерминированные значения конкретных экономических параметров. В работе [21] эта особенность рассматривается в связи со спецификой процессов в экономических системах, основанных на движении денежных средств. Автор делает вывод, что энтропия в экономике должна быть связана с полезностью товаров (услуг) и производственными факторами. Энтропия является неотъемлемым свойством производственных процессов, участвует в товарообороте и оказывает прямое влияние на реальные деньги. В этой работе приводится также ряд формул для расчета различных видов энтропии с детерминированными параметрами.

Джон Брайант в работе [22] приводит следующую формулу для расчета энтропии экономической системы, основанную на семантике формулы энтропии Больцмана, но использующую в качестве аргумента не статистический вес, а другой весовой параметр – отношение величины экономической деятельности V к величине, ограничивающей эту деятельность X :

$$S = \ln \left(\frac{V}{X} \right) \quad (1)$$

Для расчета энтропии временных рядов экономических показателей также могут применяться детерминированные величины. Например, в работе [23] производится расчет энтропии Гроссбергера-Прокаччия (аргументами являются объем выборки и расстояние между членами ряда – евклидова норма) для временного ряда и последующее сравнение полученных значений энтропии с величинами текущей волатильности ряда, также проведен корреляционный анализ, показавший высокую корреляцию волатильности и энтропии. Там же отмечается, что в отличие от энтропии Шеннона, требующей большого количества исходной информации (сотни тысяч членов

временных рядов) для получения адекватных результатов расчетов, энтропия Грассбергера-Прокаччия требует гораздо меньшего количества исходной информации для расчетов.

В работе [24] на стр. 6 приводится формула расчета информационной энтропии Ферми-Дирака для доходности портфеля ценных бумаг, использующая в качестве аргументов детерминированные величины стоимости активов и «емкостей активов», выражающих максимально возможную стоимость в течении заданного периода времени.

В ряде исследований энтропию представляют как альтернативный показатель волатильности рынка. Так, в работе [25] отмечаются недостатки традиционного показателя волатильности. Во-первых, волатильность одинаково учитывает и рост, и снижение рынка; во-вторых, традиционный показатель усредняет резкие колебания. Модель, построенная на основе такого показателя, не всегда соответствует ситуации, складывающейся на практике. В работе [25] предлагается использовать альтернативный показатель – месячную энтропию фондового рынка. Эту величину предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$ENTROPY(t) = -100\% \cdot \sum_i \frac{MCX_i(t)}{AVMCX(t)} \ln \frac{MCX_i(t)}{AVMCX(t)} \quad (2)$$

Здесь $MCX_i(t)$ – значение индекса ММВБ в i -й день месяца t , $AVMCX(t)$ – среднее значение индекса за месяц t , суммирование производится по всем дням месяца t .

Важнейшими индикаторами состояния фондовых рынков являются фондовые индексы. Рассмотрим энтропию фондовых индексов как показатель неопределенности и проведем соответствующие расчетные исследования.

В нашем исследовании мы используем следующие индексы: РТС, CSI 300, Dow & Jones Index, Standard & Poor's 500, NASDAQ 100, Nikkei 225. Опишем вкратце каждый из них.

Индекс РТС является российским ценовым интегрированным индексом и включает наиболее ликвидные акции крупнейших и

наиболее перспективных российских эмитентов. В список входят эмитенты, функционирующие в основных отраслях российской экономики, Индекс отражает их рыночную капитализацию, которая с марта 2022 года выражается в юанях. Список эмитентов регулярно пересматривается один раз в квартал.

Индекс CSI 300 (Shanghai Shenzhen CSI 300) считается лучшим индексом фондового рынка Китая. Представляет собой также взвешенный по капитализации индекс фондового рынка, учитывающий показатели акций 300 крупнейших эмитентов, торгуемых на Шанхайской фондовой бирже и Шэньчжэньской фондовой бирже.

Индекс Доу-Джонса (Dow & Jones Index) является одним из самых известных и старейших международных биржевых индексов. В более ранних публикациях его часто называли промышленным индексом Доу-Джонса (Dow Jones Industrial Average), так как изначально он учитывал показатели акций промышленных компаний для отслеживания динамики развития американской промышленности. Сейчас для его расчета используются показатели акций тридцати крупнейших компаний из различных отраслей экономики США. Индекс рассчитывается как масштабированное среднее их котировок на момент закрытия биржевого дня: сумма цен делится на делитель, который изменяется всякий раз, когда входящие в индекс акции подвергаются дроблению или консолидации. Данная методика призвана сохранить сопоставимость показателя с состоянием экономики с учетом изменений во внутренней структуре входящих в него акций.

Standard & Poor's 500 является фондовым индексом, рассчитываемым на основе показателей акций пятисот избранных торгуемых на фондовых биржах США публичных компаний, имеющих наибольшую капитализацию. В отличие от предыдущего индекса дает более полное и точное представление о тенденциях развития всех отраслей экономики США. Тем не менее, мы включаем в свое исследование и D&J Index как дань уважения первому в истории (применяется с 1896 года) численному интегрированному показателю состояния фондового рынка и тенденции развития экономики.

NASDAQ100 – американский фондовый индекс рассчитывается исходя из показателей акций сотни крупнейших по капитализации компаний. Индекс учитывает только те компании, акции которых торгуются на бирже NASDAQ, т.е. высокотехнологичных компаний из сектора производства электроники, программного обеспечения, информационных технологий, и не учитывает акции компаний финансового сектора.

Nikkei 225 – наиболее важный японский фондовый индекс. Вычисляется как простое среднее арифметическое цен акций 225 наиболее активно торгуемых компаний первой секции Токийской фондовой биржи.

Основываясь на семантике формул расчета энтропии из [21] и [25] мы предлагаем использовать следующую формулу для расчета энтропии основных фондовых индексов:

$$E_t = \sum_{i=1}^{N_t} \frac{INDEX_{it}}{AV_INDEX_t} \ln \frac{INDEX_{it}}{AV_INDEX_t}, \quad (3)$$

$$E_t = \sum_t^{N_t} \left(\frac{INDEX_t}{\sum_t^{N_t} INDEX_t} \cdot \ln \frac{INDEX_t}{\sum_t^{N_t} INDEX_t} \right) = \sum_t^{N_t} \left(\frac{INDEX_t \cdot N_t}{\sum_t^{N_t} INDEX_t} \cdot \ln \left(\frac{INDEX_t \cdot N_t}{\sum_t^{N_t} INDEX_t} \right) \right) \quad (5)$$

Отсюда:

$$E_t = N_t \sum_t^{N_t} \left(\frac{INDEX_t}{\sum_t^{N_t} INDEX_t} \cdot (\ln N_t + \ln \left(\frac{INDEX_t}{\sum_t^{N_t} INDEX_t} \right)) \right) \quad (6)$$

или

$$E_t = (-N_t) \cdot \sum_t^{N_t} \left(-\frac{INDEX_t}{\sum_t^{N_t} INDEX_t} \cdot \ln N_t - \frac{INDEX_t}{\sum_t^{N_t} INDEX_t} \ln \left(\frac{INDEX_t}{\sum_t^{N_t} INDEX_t} \right) \right) \quad (7)$$

В выражении (7) в скобках вычитаемое имеет отрицательное значение (аргумент натурального логарифма меньше 1), со знаком «-» оно становится положительным, но уменьшаемое больше по модулю, так как аргументом логарифма является целое число. Следовательно, все выражение под знаком суммы принимает отрицательные значения, но при умножении на $(-N_t)$ все выражение принимает положительное значение.

Здесь $INDEX_{it}$ – значение индекса в i -й день месяца t , AV_INDEX_t – среднее значение индекса за месяц t , N_t – количество дней в месяце t .

По сравнению с формулой (2) семантика формулы (3) не предполагает процентное нормирование величины энтропии, а позволяет вычислить ее значение, необходимое для целей анализа состояния экономики и регулирования. Знак также изменен, поскольку месячная величина энтропии любого индекса по формуле (3) всегда положительна. Покажем это на примере математического преобразования формулы (3).

Имеем набор неотрицательных значений $INDEX_t, t = 1, N_t$. Их среднее арифметическое значение будет равно:

$$AV_INDEX = \frac{\sum_{t=1}^{N_t} INDEX_t}{N_t} \quad (4)$$

Подставив это значение в (3) получаем:

Отметим, что количество дней в месяце, по которым производится расчет, не соответствует календарному количеству дней. Расчет производится исключительно в дни торговых сессий, когда меняются индексы. Следует также обратить внимание на тот факт, что для разных индексов не всегда совпадают дни их изменения. Тем не менее, мы принимаем в качестве расчетного периода один календарный месяц. На это есть следующие причины.

1) В целях исследования мы будем проводить сравнительный анализ энтропии индексов, как меры неопределенности состояния экономики, и индексов неопределенности экономической политики EPU. Региональные и глобальный индексы EPU рассчитываются ежемесячно.

2) Календарный месяц является минимальным сроком предоставления основных видов отчетности по налогам и сборам, статистических данных и расчета основных финансовых показателей субъектов экономики.

Полученные результаты. В расчетах использовались данные по шести вышеперечисленным индексам за 10 лет, с января 2013 по декабрь 2022, полученные с сайтов finam.ru и

yahoo.com, а также данные страновых индексов EPU (четверки стран – России, Китая, Японии и США) и глобального индекса неопределенности экономической политики GEPU, полученные с сайта <https://www.policyuncertainty.com> за тот же временной период. Всего 121 значение каждого индекса. По результатам расчетов были построены графики изменения энтропии, приведенные на рисунке 1.

На графике видно, что в конце 2014–начале 2015 года энтропия индекса РТС была максимальна (вследствие присоединения республики Крым и последующих экономических санкций), затем, через семь месяцев, столь же резкое увеличение энтропии продемонстрировал индекс CSI 300.

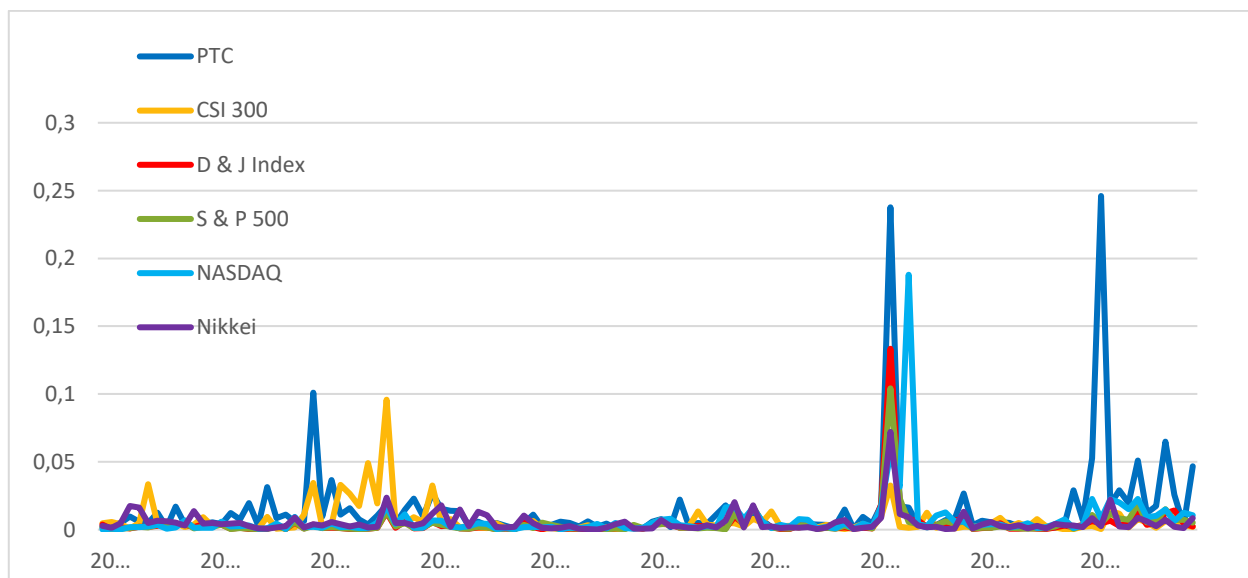


Рисунок 1 – Графики изменения величин энтропии основных индексов

Источник: расчет произведен авторами по данным, полученным с ресурсов *Финам* и *Yahoo! Finance* [26, 27]

После длительного «затишья» и стабильности на финансовых рынках энтропия всех индексов резко выросла, пик пришелся на первый квартал 2020 года, что связано с эпидемией коронавирусной инфекции. Энтропия индекса РТС имела максимальное значение, а энтропия индекса CSI300 имела минимальное значение по сравнению с остальными. Интересно отметить, что энтропия значений индекса NASDAQ резко выросла чуть позже – во втором квартале, что на самом деле неудивительно, так как индекс NASDAQ формируется на основе капитализации крупнейших компаний из сектора электроники, программного обеспечения и информационных

технологий, услуги и сервисы которых стали еще более востребованы, что отразилось на стоимости акций. Тем не менее, энтропия индекса NASDAQ во втором квартале почти достигла значения энтропии индекса РТС в первом.

Самый высокий пик энтропии за весь период наблюдений пришелся на начало 2022 года и принадлежит индексу РТС, что связано с началом проведения специальной военной операции.

Графики изменения страновых индексов EPU и индекса GEPU приведены на рисунке 2. Здесь картина значительно отличается. Если с начала индекса наблюдений до

конца 2016 года волатильность индексов невысокая, а индекс EPU Russia в основном превышает остальные индексы (рост и последующие скачки EPU Russia участились с 2014 года), то с начала 2017 года рекордсменом является индекс EPU China, глобальный экстремум которого приходится на середину 2019 года, а в среднем можно наблюдать трех- и четырехкратный рост. В первом квартале 2020 года также растет EPU Russia и какое-то время удерживает «лидирующие» позиции, но затем столь же быстро снижается, а EPU China снова быстро растет и чуть не дотягивает до предыдущего рекорда. С началом 2021 года все индексы снижаются, некоторое время сохраняется относительно стабильная ситуация, затем в начале 2022 года растет EPU Russia и сохраняет максимальные

значения среди всего семейства индексов EPU в течение всего 2022 года.

В работе [19] такое поведение индекса EPU China объясняется ухудшением экономических показателей Китая. Китайские фирмы, чья продукция была ориентирована на рынок США, демонстрировали в 2019 году отрицательную доходность капитала, либо значительное увеличение волатильности доходности по сравнению с другими китайскими фирмами. Отметим, что максимумы индекса Global EPU приходятся на середину 2020 года – начало 2021 года, также имеется небольшой рост с начала 2022 года и далее – сохранение достигнутых значений. Менее всего подвержен колебаниями Japan EPU, хотя можно отметить экстремумы в середине 2016 и середине 2020 годов.

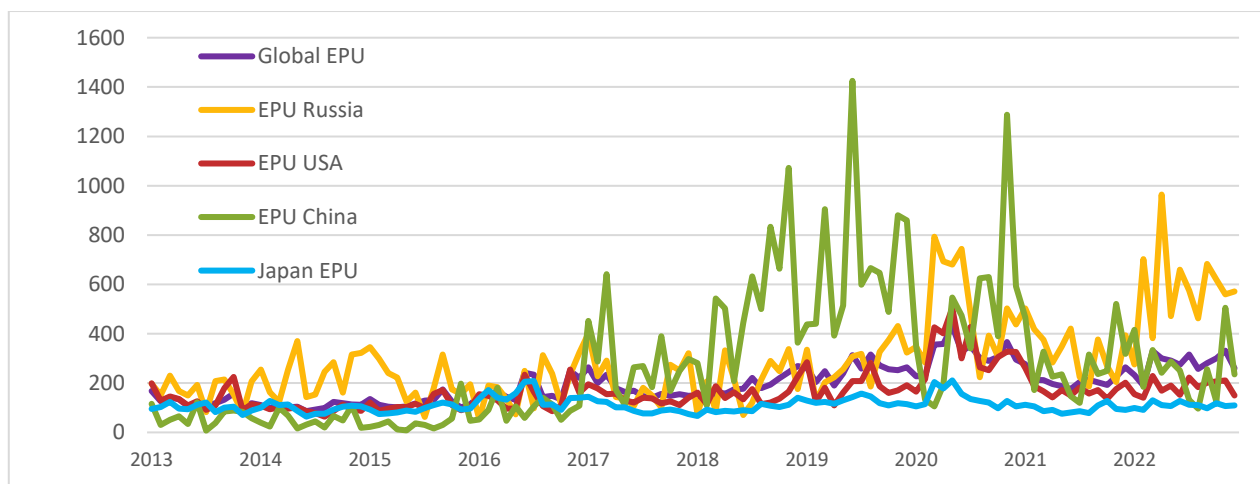


Рисунок 2 – Графики изменения индексов семейства EPU

Источник: составлено авторами на основе [28]

При беглом визуальном анализе графиков можно сделать вывод об отсутствии каких-либо значимых трендов и выдвинуть предположение о стационарности полученных временных рядов. Временные ряды энтропии были проверены на стационарность посредством тестов Дики-Фуллера (с константой, уровни значимости – 1% и 5%, нулевой лаг) и Филлипса-Перрона (с константой, уровни значимости – 1% и 5%, лаг 4), и рассчитаны соответствующие критические значения. Объем выборки – 120 значений. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

В обоих тестах критические значения для всех рядов совпали и слегка превысили

пороговый уровень -3.51 , согласно [29], поэтому нулевую гипотезу о единичном корне не следует отклонять и временные ряды следует считать скорее нестационарными. Однако в обоих тестах не было превышено критическое значение распределения Стьюдента (-2.5) для данного объема выборки, за исключением величины Global EPU в тесте Филлипса-Перрона.

При уровне значимости 5% критические значения временных рядов составили 2.88550 при пороговом уровне 2.89, т. е. значения практически совпали.

Поскольку при уровне 5% значения близки, представляется целесообразным

рассчитать коэффициенты кросс-корреляции значений энтропии индексов с соответствующими страновыми показателями EPU, расчет был произведен для величин лагов от 1 до 4. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 1

**Проверка гипотезы стационарности временных рядов энтропии
основных фондовых индексов**

Источник: расчеты произведены авторами

Энтропия индекса	Тест Дики-Фуллера			Тест Филлипса-Перрона		
	5%	1%	T-статистика	5%	1%	T-статистика
CSI300	-2.88550	-3.48552	-8.77406	-2.88550	-3.48552	-9.20154
PTC	-2.88550	-3.48552	-9.54073	-2.88550	-3.48552	-9.69126
D & J Index	-2.88550	-3.48552	-8.45111	-2.88550	-3.48552	-8.49838
S & P 500	-2.88550	-3.48552	-7.90027	-2.88550	-3.48552	-7.92676
NASDAQ	-2.88550	-3.48552	-8.89640	-2.88550	-3.48552	-9.19108
Nikkei	-2.88550	-3.48552	-9.57055	-2.88550	-3.48552	-9.64719
EPU Russia	-2.88550	-3.48552	-5.06652	-2.88550	-3.48552	-5.10720
EPU USA	-2.88550	-3.48552	-4.39901	-2.88550	-3.48552	-4.29228
EPU China	-2.88550	-3.48552	-5.28837	-2.88550	-3.48552	-5.31290
Japan EPU	-2.88550	-3.48552	-4.47478	-2.88550	-3.48552	-4.42500
Global EPU	-2.88550	-3.48552	-2.86638	-2.88550	-3.48552	-2.48529

Таблица 2

**Коэффициенты кросс-корреляции между страновыми показателями EPU
и значениями энтропии соответствующих индексов**

Источник: расчеты произведены авторами

Энтропия индекса	Лаг 1	Лаг 2	Лаг 3	Лаг 4
PTC / EPU Russia	0.430810	0.069399	0.134061	0.032088
CSI 300 / EPU China	-0.22752	-0.17098	-0.11637	-0.14684
Nikkei / EPU Japan	7e-002	-2e-002	-6e-002	-2e-002
D & J Index / EPU USA	0.417435	0.143189	0.038317	0.061249
S & P 500 / EPU USA	0.159858	0.047035	0.051730	0.032139
NASDAQ / EPU USA	0.356976	0.324816	0.085760	0.042612

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о наличии определенной положительной корреляции между индексом PTC и EPU Russia, Доу-Джонса и EPU USA, NASDAQ и EPU USA, причем во втором случае корреляция все еще существенна и во втором лаге. По результатам вычислений можно сделать вывод о применимости значений энтропии фондовых индексов для оценки неопределенности состояния экономики. Энтропия является системным свойством и объективным показателем неопределенности.

Выводы. Существует большое разнообразие способов расчета энтропии в экономике и финансах, хороший аналитический обзор приведен в работе [7], применительно к задачам управления финансами.

Энтропия существует объективно, но выбор способа расчета энтропии производится субъективно, в зависимости от вероятностной меры, заданной исследователем, или, иными словами, в зависимости от способа постановки задачи. Предложенная формула имеет семантику, схожую с семантикой формул расчета энтропии Больцмана и Шеннона, но оперирует с детерминированными величинами, так как в нашем случае используется не вероятностная мера, связанная с состояниями системы, а конкретные экономические показатели. В случае неопределенности состояния экономики фондовые индексы теряют информативность и не отражают текущую ситуацию объективно.

По результатам расчетных исследований можно сделать вывод о том, что величина

энтропии основных фондовых индексов по ряду причин более приемлема в качестве оценки уровня неопределенности состояния экономики.

Энтропия фондовых индексов возрастает во время рыночных шоков, что свидетельствует о росте неопределенности. Сравнение значений энтропии фондовых индексов национальной экономики со значениями энтропий индексов других экономик позволяет провести сравнительный анализ и дает объективную картину устойчивости национальной экономики перед лицом новых суровых вызовов реальности.

Энтропия может также дать другую полезную информацию для целей анализа и регулирования. Например, величина энтропии характеризует гомогенность экономики, малые значения энтропии свидетельствуют о схожих макроэкономических показателях различных субъектов экономики. Высокая величина энтропии, напротив, говорит о неравномерности развития различных секторов экономики.

С точки зрения практического применения, оценка неопределенности состояния экономики на основе энтропии фондовых индексов отличается простотой, прозрачностью получаемых результатов и может быть применена не только специалистами регуляторных органов, но и инвесторами, рыночными аналитиками и менеджерами высшего и среднего звена для принятия обоснованных решений по инвестиционному проектированию.

Список источников

1. Rossi B. Apestegua J. Essays on Economic Uncertainty. – Universitat Pompeu Fabra, Departament d'Economia i Empresa, 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/664416/tms.pdf?sequence=1> (In Eng.).
2. Кузьмин Е. А. Феномен неопределенности в экономических теориях и концепциях // Вестник НГУЭУ. 2014. № 2. С. 18–36.
3. Шумпетер Й. А. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия. – М.: Эксмо, 2008. – 864 с.
4. Mun T. England's Benefit and Advantage by Foreign Trade, Plainly Demonstrated. – HardPress, 2018. – 28 с. (In Eng.).

References

1. Rossi B. Apestegua J. Essays on Economic Uncertainty. – Universitat Pompeu Fabra, Departament d'Economia i Empresa, 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/664416/tms.pdf?sequence=1>
2. Kuzmin. E. A. The Phenomenon of Uncertainty in Economic Theories and Concepts. *Vistnik NGYEU*. 2014. No. 2. pp. 18–36. (In Russ.).
3. Shumpeter Y. A. Theory of Economic Development. Capitalism, socialism and democracy. *M.: Eksmo*. 2008. 864 p. (In Russ.).
4. Mun T. England's Benefit and Advantage by Foreign Trade, Plainly Demonstrated. *HardPress*. 2018. 28 p.

5. Кенэ Ф., Робер А., Тюрго Ж., де Немур П.С.Д. Физиократы. Избранные экономические произведения. – М.: Эксмо, 2008. – 1200 с.
6. Маркс К. Капитал. Критика политической экономии. Том 1. – М.: Эксмо, 2021. – 1200 с.
7. Marshall A. Principles of Economics. – Prometheus, 1997. – 320 с. (In Eng.).
8. Bohm-Bawerk E. Capital and Interest. – Libertarian Press, 1959. – 1202 с. (In Eng.).
9. Keynes J. M. General Theory of Employment, Interest and Money. – Stellar Classics, 2016. – 168 с. (In Eng.).
10. Galbraith J. K. The Affluent Society. – Houghton Mifflin Harcourt, 1998. – 288 с. (In Eng.).
11. Friedman M., Friedman R. Free to Choose: a Personal Statement – A Harvest Book: Harcourt Inc., 1990. – 338 с. (In Eng.).
12. Moore A. Measuring Economic Uncertainty and Its Effects [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rba.gov.au/publications/rdp/2016/pdf/rdp2016-01.pdf> (In Eng.).
13. Bloom N. Fluctuations in Uncertainty // *Journal of Economic Perspectives*. 2014. № 28 (2). С. 153–176. DOI: 10.3386/w19714. (In Eng.).
14. Köhn J. Uncertainty in Economics: A New Approach. – Springer International Publishing, 2017. – 199 с. DOI 10.1007/978-3-319-55351-1. (In Eng.).
15. Moran M.T., Liu B. The VIX Index and Volatility-Based Global Indexes and Trading Instruments - A Guide to Investment and Trading Features. – CFA Institute Research Foundation Briefs, 2020. – 32 с. (In Eng.).
16. Economic Policy Uncertainty Index // *Economic Policy Uncertainty* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.policyuncertainty.com/index.html> (In Eng.).
17. Datta D., Londono J. M. Taxonomy of Global Risk, Uncertainty, and Volatility Measures // *International Finance Discussion Papers*. 2017. Т. 1216. DOI: 10.17016/IFDP.2017.1216. (In Eng.).
18. Baker S. R., Baksy A., Bloom N., Davis S. J., Rodden J. A. Elections, Political Polarization, and Economic Uncertainty // *NBER Working Paper Series*. 2020. № 27961. 26 с. (in Eng.).
19. Шэнь Я., Ма Т., Чжан С. Индекс неопределенности экономической политики и волатильность фондового рынка Китая применительно к России // *Инновации и Инвестиции*. № 9. 2019. С. 99–104.
20. Georgescu-Roegen N. The Entropy Law and the Economic Process. – Harvard University Press: Cambridge, MA, USA, 1971. – 457 с. (In Eng.).
21. Jakimowicz A. The Role of Entropy in the Development of Economics // *Entropy*. 2020. № 22 (4). (In Eng.). DOI: 10.3390/e22040452.
22. Bryant J. Entropy Man. – VOCAT International Ltd.: Harpenden, UK, 2015. – 222 с. (In Eng.).
5. Kene F., Rober A., Tyurgo Zh., de Nemur P.S.D. Physiocrats. Selected Economic Works. *M.: Eksmo*. 2008. 1200 p. (In Russ.).
6. Marks K. Capital. Criticism of Political Economy. Vol. 1. *M.: Eksmo*. 2021. 1200 p. (In Russ.).
7. Marshall A. Principles of Economics. *Prometheus*. 1997. 320 p.
8. Bohm-Bawerk E. Capital and Interest. *Libertarian Press*. 1959. 1202 p.
9. Keynes J. M. General Theory of Employment, Interest and Money. *Stellar Classics*. 2016. 168 p.
10. Galbraith J. K. The Affluent Society. *Houghton Mifflin Harcourt*. 1998. 288 p.
11. Friedman M., Friedman R. Free to Choose: a Personal Statement. *A Harvest Book: Harcourt Inc*. 1990. 338 p.
12. Moore A. Measuring Economic Uncertainty and Its Effects. Available at: <https://www.rba.gov.au/publications/rdp/2016/pdf/rdp2016-01.pdf>
13. Bloom N. Fluctuations in Uncertainty. *Journal of Economic Perspectives*. 2014. No. 28 (2). pp. 153–176. DOI: 10.3386/w19714.
14. Köhn J. Uncertainty in Economics: A New Approach. *Springer International Publishing*. 2017. 199 p. DOI 10.1007/978-3-319-55351-1.
15. Moran M.T., Liu B. The VIX Index and Volatility-Based Global Indexes and Trading Instruments - A Guide to Investment and Trading Features. *CFA Institute Research Foundation Briefs*. 2020. 32 p.
16. Economic Policy Uncertainty Index. *Economic Policy Uncertainty*. Available at: <https://www.policyuncertainty.com/index.html>
17. Datta D., Londono J. M. Taxonomy of Global Risk, Uncertainty, and Volatility Measures. *International Finance Discussion Papers*. 2017. Vol. 1216. DOI: 10.17016/IFDP.2017.1216.
18. Baker S. R., Baksy A., Bloom N., Davis S. J., Rodden J. A. Elections, Political Polarization, and Economic Uncertainty. *NBER Working Paper Series*. 2020. No. 27961. 26 p.
19. Shen Ya., Ma T., Chzhan S. Economic Policy Uncertainty Index and China Stock Market Volatility as Applied to Russia. *Innovacii i investicii*. 2019. No. 9. pp. 99–104. (In Russ.).
20. Georgescu-Roegen, N. The Entropy Law and the Economic Process. *Harvard University Press: Cambridge, MA, USA*. 1971. 457 p.
21. Jakimowicz A. The Role of Entropy in the Development of Economics. *Entropy*. 2020. № 22 (4). DOI: 10.3390/e22040452.
22. Bryant J. Entropy Man. *VOCAT International Ltd.: Harpenden, UK*. 2015. 222 p.

23. Королев О. Л., Кусый М. Ю., Сигал А. В. Применение энтропии при моделировании процессов принятия решений в экономике. – Симферополь: Издательство «ОДЖАКЪ», 2013. – 148 с.
24. Zhou R., Cai R., Tong G. Application of Entropy in Finance: A Review // *Entropy*. 2013. № 15 (11). С. 4909–4931. (In Eng.). DOI: 10.3390/e15114909.
25. Дранев Ю. Я., Ананьев Н. С. Влияние изменения индикаторов фондового рынка на привлечение средств в российские паевые фонды акций // *Корпоративные финансы*. 2010. № 2. С. 5–15.
26. Группа Финам. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.finam.ru/>
27. Yahoo! Finance. Информационный интернет-портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://finance.yahoo.com/calendar/> (In Eng.).
28. Economic Policy Uncertainty. Информационный интернет-портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.policyuncertainty.com> (In Eng.).
29. Bhandari S., Bergmann N., Jurdak R., Kusy B. Time Series Analysis for Spatial Node Selection in Environment Monitoring Sensor // *Sensors*. 2018. № 18 (1). (In Eng.). DOI: 10.3390/s18010011.
23. Korolev O. L., Kussy M. Yu., Sigal A. V. Application of Entropy in Decision Making Process Modeling in Economics. *Simferopol, Izdatel'stvo «ODZHAK»*. 2013. 148 p. (In Russ.).
24. Zhou R., Cai R., Tong G. Application of Entropy in Finance: A Review. *Entropy*. 2013. No. 15 (11). pp. 4909–4931. (In Eng.). DOI: 10.3390/e15114909.
25. Dranev U. Y., Ananov N. S. Effect of Changes in Stock Market Indicators on Raising Funds in Russian Equity Mutual Funds. *Korporativnie finansi*. 2010. No. 2. pp. 5–15. (In Russ.).
26. FINAM Group. *Official site*. Available at: <https://www.finam.ru/> (In Russ.).
27. Yahoo! Finance. *Information Internet-portal*. Available at: <https://finance.yahoo.com/calendar/>
28. Economic Policy Uncertainty. *Information Internet-portal*. Available at: <https://www.policyuncertainty.com>
29. Bhandari S., Bergmann N., Jurdak R., Kusy B. Time Series Analysis for Spatial Node Selection in Environment Monitoring Sensor. *Sensors*. 2018. No. 18 (1). DOI: 10.3390/s18010011.