

О ПРИМЕНЕНИИ ЭНТРОПИЙНОГО ПОДХОДА В ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ОБ УПРАВЛЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

В.Ф. Исламутдинов

Казанский инновационный университет им. В.Г. Тимирязова, Казань, Россия

В.М. Куриков

Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

В статье показано, что одним из способов преодоления кризиса экономической науки может стать синтез альтернативных течений и школ на базе подхода, использующего терминологию и методологию энтропии. Показана динамика роста количества публикаций экономической направленности с использованием терминологии и методологии энтропии. Выявлены причины привлекательности энтропийного подхода в экономических исследованиях, связанные с ростом интереса к экологическим проблемам и междисциплинарным исследованиям. Обобщены направления применения терминологии и методологии энтропии в экономических исследованиях и достигнутые представителями этих направлений результаты. Выявлены наиболее распространенные ошибки и спекуляции при применении энтропийного подхода в экономических исследованиях. Раскрыта специфика экономических систем, проявляющаяся в принадлежности к классу живых систем с обратной связью и возможностью накопления отрицательной энтропии и определяющая возможности и ограничения по использованию энтропийного подхода. Показаны варианты использования энтропийного подхода в экономических исследованиях, начиная от использования в качестве одного из инструментов исследований и заканчивая синтезом достижений мировой экономической науки; указаны плюсы и минусы этих вариантов.

Ключевые слова: экономические системы, энтропия, энтропийный подход, экономические исследования, методология экономической науки.

Введение. О кризисе в экономической науке было сказано уже неоднократно (например, в [1-3]), и косвенным подтверждением того, что этот кризис действительно имеет место быть, является то, что новых направлений экономической науки с каждым годом становится все больше, и они все дальше уходят от «столбового» пути ее развития. Хотя есть и другая точка зрения, что методологический плюрализм – это наоборот, признак и способ преодоления кризиса [4]. В прошлом экономической науки уже были неоднократные и достаточно удачные попытки преодолеть кризис за счет синтеза или интеграции новых направлений в мейнстрим: кейнсианство, монетаризм, неoinституционализм. Возможно, экономической науке удастся совершить еще один такой синтез. Тем более, что не прекращаются попытки разработать и внедрить новую парадигму экономической теории, в том числе в отечественной науке, примером может служить «системная» экономика Г.Б. Клейнера [5]. Однако, глубина и системность текущего кризиса, а также то, что мало кто из представителей альтернативных течений пытается искать точки соприкосновения, не позволяют надеяться на такой исход.

Основной претензией к традиционной парадигме экономической науки является слабость ее ме-

тодологии по сравнению с естественными науками. Ученые-экономисты всегда работали с оглядкой и даже с некоторой завистью к естественным наукам. Экономистам тоже хотелось бы вывести неоспоримые законы экономики, подобные физическим или химическим. Но здесь непреодолимой стеной встает невозможность полноценного применения экспериментального метода в экономических науках. Конечно, частично ограничения на использование экспериментального метода снимаются за счет применения имитационного моделирования, но все равно, такие эксперименты не позволяют выявить глубинные общие законы развития экономики.

В то же время, есть несколько путей преодоления слабости методологии экономической науки, и одним из таких вариантов является привлечение новых подходов или новой методологии, в частности, методологии энтропийного подхода.

1. О причинах привлекательности энтропийного подхода в экономических исследованиях. Количество работ экономической тематики с использованием термина энтропия растет быстрыми темпами (рис. 1).

Количество публикаций, ед.

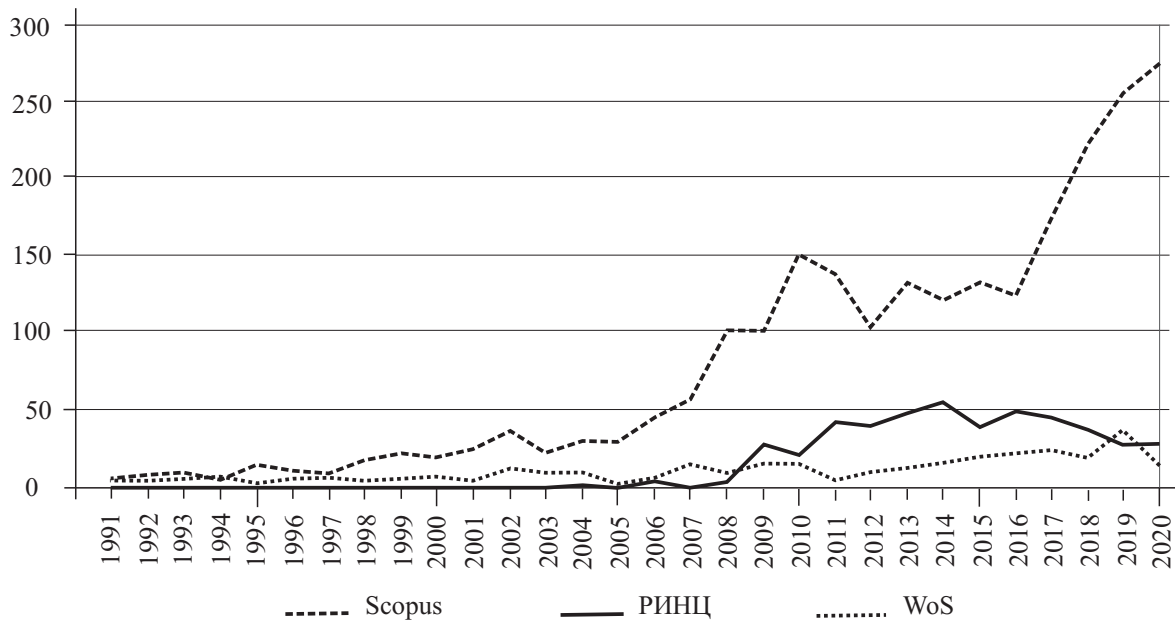


Рис. 1. Количество публикаций с использованием ключевого слова «энтропия» по отраслям знаний «экономика» и «бизнес»¹

Как видно из графика, первый всплеск интереса экономистов к данному подходу случился в конце первого десятилетия 2000-х годов, хотя первые упоминания относятся еще к 1974 г., а первые значительные статьи и монографии – к 2001-2003 гг. Примерно в то же время интерес к энтропийному подходу появился и среди отечественных ученых. Однако, затем тренды разошлись; и если в мировой экономической науке сейчас имеет место второй бум интереса к данному подходу, вызванный скорее всего проблемами развития «зеленой» экономики, то среди отечественных ученых-экономистов замечен в последние годы спад интереса, видимо вызванный неким разочарованием в данном подходе.

Можно выделить несколько причин привлекательности использования энтропийного подхода в экономических исследованиях. Первая причина связана с уже упомянутым выше кризисом экономической науки, и энтропийный подход для многих ученых-экономистов кажется неким универсальным приемом, позволяющим по-новому взглянуть на актуальные проблемы экономики, разобраться в них и все объяснить. Тем более, что ученые-экономисты, также как и любые другие ученые, в начале своего научного пути обучаются в аспирантуре. Там они изучают философию и методологию науки, в том числе базовые принципы мироздания, одним из которых является второй закон термодинамики о максимуме энтропии. Вторая причина связана с повышением интереса экономистов к проблемам

окружающей среды, ввиду того, что признаки глобального экологического кризиса становятся все более заметными. Третья причина лежит в плоскости междисциплинарных исследований, когда ученые естественных наук, чаще всего физики и математики, начинают экспансию в экономические исследования и привносят с собой естественно-научные методы, в том числе энтропийный подход как наиболее универсальный.

2. Направления применения терминологии и методологии энтропии в экономических исследованиях, достигнутые результаты. Считается, что толчком для использования энтропийного подхода в экономических исследованиях стала работа Н. Джорджеску-Рёгена «The entropy law and the economic process» [6]. В этой пионерной работе исследователь сформулировал несколько важных тезисов:

- экономический процесс является энтропийным процессом;
- человек борется за низкую энтропию, а экономический дефицит есть отражение закона об энтропии, который является наиболее экономичным по своей природе из всех естественных законов;
- экономическая деятельность фактически является продолжением и дополнением биологической эволюции человека.

На основе его работы возникло первое направление использования энтропийного подхода в эко-

¹ Составлено автором на основе наукометрических данных.

номических исследованиях, которое затем оформилось в целое течение в экономической науке, имеющее несколько конкурирующих названий: биоэкономика, экологическая экономика, экономика устойчивого развития. Основной задачей данного направления видится борьба за прекращение (или хотя бы замедление) разрушения окружающей среды за счет ограничения потребления в экономике. Внутри данного течения имеет место деление на сторонников слабой и сильной устойчивости. Слабая устойчивость предполагает достижение устойчивого развития только социо-экономической системы на основе имеющихся ресурсов. Сильная устойчивость предполагает устойчивое развитие более комплексной эколого-социо-экономической системы. В качестве примеров исследований возможностей устойчивого экономического развития с учетом влияния экономики на энтропию окружающей среды можно привести работы Дж. С. Эйвери, Г. Халкос и Ч. Кидос, а также С. Дивайн [7; 8; 9]. Отдельно следует отметить растянувшуюся по времени дискуссию сторонников концепций сильной или слабой устойчивости М. Гутеса, Ф. Крысяка и Р. Кюммель [10; 11; 12]. Есть и прикладные исследования, например, в статье М. Вейцмана [13] используется простая экологическая модель эндогенного заболевания для того, чтобы показать, как чисто экономическое решение выращивать больше широко распространенных культур создает негативные внешние эффекты, увеличивая вероятность того, что появятся новые патогены. Здесь уместно вспомнить тезис об эволюции доктора биологических наук, зав. лабораторией молекулярной генетики Института проблем химической физики РАН Виктора Прохоровича Щербакова, имеющее отношение к биоэкономике: «Эволюция – это способ живого противостоять энтропии, нарастающему хаосу и беспорядку. Она творит разные новшества, но естественный отбор сохраняет только те из них, что придают организмам устойчивость к дальнейшим изменениям, те, что позволяют им воспроизводить свои копии в длинном ряду поколений, практически не меняясь. Как это ни странно, но получается, что эволюция работает против себя самой»². Отечественные исследователи, к примеру Ю.Г. Пузыченко и С.Л. Турков, пока ограничиваются применением энтропийного подхода для объяснения общих оснований концепции устойчивого развития [14; 15]. К достоинствам этого направления можно отнести то, что здесь делается попытка интегрировать экономику в систему более высокого порядка – окружающую среду и, соответственно, увязать экономическое развитие с динамикой энтропии. К недостаткам относится то, что энтропийный подход чаще всего используется лишь как общая философская и методологическая рамка, без попыток выявить взаимосвязь и динамику энтропии разных уровней и элементов глобальной эколого-социо-экономической системы.

Второе направление связано с попытками применить второй закон термодинамики о максимуме энтропии замкнутых систем непосредственно к моделированию экономических явлений и процессов. Условно данное направление можно назвать экономической термодинамикой. К числу исследователей данного направления можно отнести У. Саслоу и Л. Возна [16; 17]. Есть попытки практического применения таких моделей для определения оптимального распределения ресурсов в экономике, в качестве примера можно привести работу В. В. Иванова и его партнеров [18], или для определения оптимального распределения организаций по пошиву одежды, здесь уместно привести работу Ф. Чжэна и К. Суна [19]. Из отечественных исследователей можно отметить основательные монографии В. М. Сергеева [20] и А. М. Цирлина [21], а также работы А. В. Ковалева [22] и И. Г. Поспелова [23]. Достоинством данного направления является то, что оно наиболее ярко и доступно показывает возможности применения энтропийного подхода в экономических исследованиях. Однако, эта доступность в то же время является и основным недостатком, т.к. достигается она за счет максимального упрощения экономических процессов и явлений до масштабов замкнутых систем, к тому же находящихся в предельных (идеальных) равновесных состояниях максимума энтропии, что на практике встречается крайне редко.

Третье направление предполагает более корректное понимание экономики на основе работ Ильи Пригожина [24] как открытой диссипативной системы с целевой функцией минимизации энтропии и детерминированным хаосом. Соответственно, энтропия здесь применяется для оценки динамического равновесия, а также для определения степени хаотичности режима развития экономической системы: аттрактор или бифуркация. Данное направление называют эконофизикой или экономической синергетикой. Помимо Ильи Пригожина, еще одним основоположником данного направления по праву может считаться В.-Б. Занг [25]. В качестве примеров работ данного направления можно привести работы М. У. Хо, Э. Т. Джейнса, А. Рейна и его партнеров [26; 27; 28]. Из отечественных исследователей можно упомянуть работы В. Л. Скобелева и А. А. Петрова [29; 30]. Главным достоинством этого направления использования энтропийного подхода является то, что его представители не пытаются упростить экономические системы, а наоборот, стремятся выявить всю их сложность и хаотичность, и, используя энтропийный подход, раскрыть закономерности в их эволюции. Однако, это приводит к сложности математической формализации хаотических процессов. Также данное направление не лишено недостатка предыдущего направления, то есть попыток рассматривать только предельные состояния и режимы развития экономических систем, но теперь уже в точке минимума энтропии.

² Щербаков В. П. Эволюция как сопротивление энтропии. URL: https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/430413/Evolutsiya_kak_soprotivlenie_entropii (дата обращения: 12.05. 2022).

Четвертое направление предполагает использование информационной энтропии в экономических исследованиях, в первую очередь для обоснования экономической категории стоимость и для определения оптимального или «справедливого» уровня цен в экономике. Условно данное направление можно назвать информационно-энтропийной теорией стоимости. В качестве примера работ в данном направлении можно привести работы Дж. Чена, Дж. Яна, Р. А. Родригес и его коллег [31; 32; 33]. Следует отметить, что отечественные исследователи не отстают в данном направлении, и уже есть даже защищенные диссертации [34]³, известные не только в российской научной среде монографии, в том числе члена-корреспондента РАН К. К. Вальтуха (Новосибирск, СО РАН, 2001 г) [35], О. Л. Королева и его коллег (Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, 2013 г., переизд. в 2016 г) [36], С. А. Дятлова (Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2015 г., переизд. в 2017 г) [37], и даже попытки философского осмысления данного подхода Д. Г. Егоровым [38]⁴, доктором философских наук, профессором (Псковский государственный педагогический университет, 2007 г). Преимуществом данного подхода является попытка увязать энтропию с базовыми глубинными экономическими категориями, в частности, с категорией стоимости. Недостатком является то, что стоимость пытаются увязать только с информационной энтропией, игнорируя другие ее составляющие и факторы.

Пятое направление применяет методологию энтропии к описанию и моделированию экономического поведения. Соответственно, можно данное направление назвать энтропией экономического поведения, причем для моделирования и прогнозирования экономического поведения авторами используется как термодинамическая [39; 40], так и информационная энтропия [39–43]. Особо стоит отметить работы Д. К. Фоули [46; 47], которые отличаются высоким уровнем как математического аппарата, так и прикладным характером. Из отечественных работ можно отметить вышеупомянутую обзорную монографию О. Л. Коро-

лева и его коллег [36], а также статью А. И. Пилипенко [48], имеющую прикладной характер. Преимуществом данного подхода является то, что исследователи в равной степени используют и термодинамическую, и информационную энтропию. Недостатком является рассмотрение поведения экономических акторов опять же только в предельных состояниях и режимах развития экономических систем (в точке максимума или минимума энтропии). В то время как реальная экономика характеризуется множеством переходных состояний и режимов, и поведение экономических акторов может сильно варьироваться даже при незначительном изменении уровня или динамики энтропии.

Шестое направление представляет чисто прикладное применение энтропии в эконометрических расчетах, соответственно, его можно так и назвать: энтропия в эконометрике. Наиболее продуктивным представителем этого направления можно назвать Г. Джаджи [50; 51]. Также интересные результаты получены в работах Ю. Дуань с коллегами и А. Якимовичем [52; 53]. Русскоязычных работ на эту тему пока мало, в качестве примера работ, использующих энтропийный метод анализа иерархий, можно привести работы И. В. Барановой [54]⁵ и М. Ю. Куссий [55]⁶. Недостатком данного направления является слишком узкое применение энтропии только для улучшения качества эконометрических расчетов. Однако, в качестве преимущества можно указать, что представителям этого направления удалось объединить субъективные и объективные оценки эконометрических данных.

Результаты обобщения направлений исследований представлены в таблице 1. Поиск публикаций проводился по базе Scopus с использованием фильтра по областям знаний «Economics, Econometrics and Finance», «Business, Management and Accounting». Конечно, это существенно сузило охват публикаций, так как многие работы с использованием энтропийного подхода являются междисциплинарными исследованиями и проходят по другим отраслям знаний, или публикуются в изданиях, никак не связанных с экономическими науками.

³ Одной из таких диссертаций является докторская диссертация А. В. Григорьева, защищенная по специальности «Экономическая теория» в 2007 г. В ней обосновываются (в части энтропии) следующие положения: *информация, необходимая для принятия экономических решений, представляет собой снятую неопределенность энтропии*; оценка неопределенности, с которой постоянно сталкивается практически любой экономический субъект, *может базироваться на принципе максимальной энтропии*; стоимость информации определяется посредством решения оптимизационной задачи *на максимум энтропии*, а равновесная цена информации с корпоративной точки зрения определяется *приростом затрат при увеличении энтропии на единицу*.

⁴ В статье Д. Г. Егоровым исследована связь понятий «информация» и «стоимость»: идеи теории информации использованы для нахождения объективной основы для квантификации стоимости. Показано, что увеличение информации в экономических системах не противоречит принципу неубывания энтропии. Показано, что трактовка стоимости как активной экономической категории расширяет возможности адекватного отображения в экономической теории свойств экономических систем.

⁵ Статья И. В. Барановой посвящена вопросам использования энтропии при оценке эффективности деятельности органов власти в сфере общественных финансов. Рассмотрено содержание синергетического подхода и энтропии как меры неопределенности. Предложена методика оценки эффективности деятельности органов государственной власти с использованием энтропии расходов бюджета субъекта Федерации на основе синергетического подхода.

⁶ В статье предлагается методический подход к использованию энтропии для анализа характеристик финансовых рынков. В качестве анализируемой характеристики рынка выбрана текущая волатильность, которая тестируется как возможная мера неопределенности рынка при помощи энтропии (алгоритма) Грассбергера-Прокачча.

Направления использования энтропийного подхода в экономических исследованиях*

Наименование направления	Применение энтропии	Ключевые слова	Количество публикаций в базе Scopus
Биоэкономика, экологическая экономика, экономика устойчивого развития	Обоснование ущерба от экономической деятельности для окружающей среды на основе показателя энтропии и поиск путей устойчивого развития социо-экономической (слабая устойчивость) или эколого-социо-экономической (сильная устойчивость) системы	entropy, sustainability, orgrowth or development	322
Экономическая термодинамика	Нахождение экономического равновесия в точке максимума термодинамической энтропии	entropy, equilibrium or maximization	281
Эконофизика, экономическая синергетика, квантовая экономика	Рассмотрение механизмов снижения (диссипации) энтропии в экономических системах, а также режимов развития таких систем: аттрактор, бифуркация (катастрофа)	entropy, econophysics or synergy or chaos or open system	46
Информационно-энтропийная теория стоимости	Использование информационной энтропии для обоснования экономической категории стоимости и формирования цен	entropy, information, value or price	120
Энтропия экономического поведения	Использование информационной или термодинамической энтропии для моделирования и прогнозирования поведения экономических агентов.	entropy, behavior	51
Энтропия в эконометрике	Использование энтропии для повышения качества эконометрических методов	entropy, econometrics	34

*Составлено автором на основе наукометрических данных.

Как видно из таблицы, на данный момент наиболее плодотворным направлением является биоэкономика, и это неудивительно, – исторически это направление является самым первым. Кроме того, экологические проблемы с каждым годом только нарастают, что усиливает интерес к этой тематике. На втором месте идет экономическая термодинамика, так как аналогия о том, что экономику можно представить как идеальный газ, а экономических агентов как отдельные молекулы, довольно простая и притягательная, и множество ученых обращаются к этой идее. На третьем месте информационно-энтропийная теория стоимости, которая также весьма привлекательна, так как дает надежду на то, что наконец-то удастся дать полное и окончательное объяснение природы экономической категории стоимости. Остальные направления менее развиты ввиду того, что появились сравнительно недавно и являются более сложными для понимания.

3. Специфика экономических систем, определяющая возможности и ограничения по использованию энтропийного подхода. Прежде чем обосновывать применение энтропийного подхода в качестве инструмента для усиления методологии экономической науки и ее сближения с естественными науками, следует сделать ряд пояснений о роли энтропии в неживых и живых системах, и о ключевых особенностях ее проявления в экономических системах.

Первая особенность состоит в специфике проявления второго закона термодинамики для двух классов систем: неживых и живых. В неживых системах рост термодинамической энтропии происхо-

дит постоянно, может меняться лишь скорость ее прироста. Для живых систем характерно локальное уменьшение энтропии за счет ее отвода во внешнюю среду. То есть в системе «внешняя среда-живое существо» энтропия все так же продолжает прирастать, однако внутри живой системы энтропия может довольно долгое время поддерживаться на стабильном уровне (гомеостаз). Собственно, живые существа используют вещество и энергию внешней среды для поддержания внутри себя приемлемого уровня термодинамической энтропии. Так вот, если естественные науки в основном имеют дело с неживыми системами (за исключением биологии), то экономические науки имеют дело только с живыми системами, которые способны регулировать уровень собственной энтропии. Соответственно, нельзя к экономическим системам применять второй закон термодинамики в его первоначальном виде.

Вторая особенность кроется в предмете экономической науки и состоит в том, что она имеет дело не с любыми живыми системами, а с системами, в основе которых стоит человек, являющийся живым существом, способным управлять уровнем своей энтропии сознательно. Конечно, большая часть процессов по регулированию уровня энтропии внутри нашего организма происходит бессознательно, но в конечном итоге уровень собственной энтропии человек ощущает с помощью органов чувств и способен предпринять сознательные действия, чтобы изменить уровень энтропии и связанные с ней ощущения. А значит, необходимо учитывать субъективные оценки и реакции людей на уровень и динамику энтропии.

Третья особенность экономических систем в том, что только в них возможно накопление и ис-

пользование величины, противоположной энтропии, именуемой негэнтропией⁷ [26], в форме благ и/или ресурсов и их универсального эквивалента – денег. Это требует более комплексного учета динамики энтропии и ее проявлений в экономике.

Четвертая особенность состоит в том, что появляется и начинает играть большую роль информационная энтропия, которая является результатом деятельности человека. Так как человек управляет своей энтропией сознательно, то ему для этого требуется получать и обрабатывать большие объемы информации. В то же время информация также подвержена энтропийным процессам – устаревание, информационный шум и т.д. То есть, в результате собственной деятельности человек производит еще один тип энтропии, несуществующей в неживой природе, с которым не сталкиваются в явном виде другие животные – это и есть информационная энтропия. Человеку приходится одновременно регулировать уровень как термодинамической, так и информационной энтропии, то есть, в экономических исследованиях нужно учитывать эту вынужденную дихотомию поведения экономических акторов [56].

4. Варианты дальнейшего развития энтропийного подхода в экономических исследованиях, их плюсы и минусы. Изучив имеющиеся на данный момент экономические исследования с использованием энтропийного подхода, можно предложить несколько вариантов его дальнейшего развития.

Первый вариант: использовать энтропийный подход лишь как один из инструментариев наряду с другими, давно и широко используемыми методами и инструментами экономических и эконометрических исследований. Плюсов у такого варианта немного, максимум будут получены новые результаты, новые методы, уточнены какие-то неясные моменты. Минусов больше: энтропийный подход так и останется на периферии экономических исследований, и не получится погружения в сущность проявлений энтропии в экономике.

Второй вариант: использовать энтропийный подход как основу для развития нового отдельного направления в экономической науке – энтропийной экономики, по примеру биоэкономики, экономифизики и т.д. Например, можно использовать энтропийный подход как основу для развития методологии системной экономики, как это предложено автором настоящей статьи в ранее изданных публикациях [56–57]. Плюсы: новая терминология, новая методология, взаимосвязь с устойчивым развитием, экологией и «зеленой» экономикой. Минусы: «сложность прикладного применения энтропии в качестве интегрального параметра в ее классической интерпретации по отношению к реалиям экономики заключается, главным образом, в невозможности получения ее

точного значения, которое бы системно учитывало все факторы, влияющие на динамику системы» [58].

Третий вариант: попытаться использовать энтропийный подход как основу для синтеза достижений предыдущих поколений ученых-экономистов. Плюсы: проникновение в глубинную сущность экономических процессов и явлений, возможность синтеза разнородных течений экономической науки. Минусы: сопротивление уже существующих школ и течений, сложность в понимании энтропии в экономике, опасность скатывания в спекуляции.

Заключение. Таким образом, энтропийный подход уже проник в экономические исследования и набирает обороты. То есть, просто проигнорировать это уже не получится, и нужно определять его дальнейшую судьбу. По мнению автора настоящей статьи, наиболее предпочтительным видится третий вариант развития, так как он дает шанс на создание основы для синтеза разрозненных экономических школ и течений. Однако, для того чтобы реализовать третий вариант, то есть превратить энтропийный подход в методологическую основу синтеза разнородных экономических школ и течений, необходимо преодолеть ряд имеющихся недостатков его применения:

- перестать представлять экономические системы как разновидности замкнутых систем, находящихся в состоянии равновесия с максимумом термодинамической энтропии, либо рассматривать это только как частный (идеальный) случай;

- начать рассматривать уровень и динамику энтропии не только в предельных состояниях и режимах развития экономических систем (минимум или максимум энтропии), но и в переходных состояниях и режимах;

- не ограничиваться изучением только одного типа энтропии экономических систем: термодинамической или информационной, а начать изучать их взаимовлияние и взаимодействие;

- начать изучать взаимосвязь объективного уровня и динамики энтропии с субъективными оценками людей.

Помимо преодоления вышеуказанных недостатков требуется дальнейшее развитие энтропийного подхода за счет углубления исследований в части:

- понимания динамики энтропии в экономических системах и механизмов управления энтропией;
- взаимосвязки энтропии с базовыми категориями экономической науки (не только со стоимостью);
- построения синтетической модели поведения экономических акторов и систем, учитывающей влияние уровня и динамики энтропии;
- поиска возможностей интеграции большинства современных экономических школ и течений на базе энтропийного подхода;
- качественного развития методологии энтропийного подхода до уровня не ниже неоклассического.

⁷ *Негэнтропия* – философский и физический термин, образованный добавлением отрицательной приставки нег- (от лат. *negativus* – отрицательный) к понятию энтропия, и обозначающий его противоположность. В самом общем смысле противоположен по смыслу энтропии и означает меру упорядоченности и организованности системы или качество имеющейся в системе энергии. Термин иногда используется в физике и математике (теории информации, математической статистике) для обозначения величины, математически противоположной к величине энтропии. URL: <https://gnezdoparanoika.ru/stati/16096-negentropyia.html> (дата обращения: 23.06.2022).

Литература

1. Полтерович В. М. Кризис экономической теории // Экономическая наука современной России. 1998. № 1. С. 46–66.
2. Клисторин В. И. О кризисе экономической науки в стране и мире // ЭКО. 2009. № 9. С. 22–40.
3. Некипелов А. Д. Кризис в экономической науке – природа и пути преодоления // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 1. С. 24–37. DOI: 10.31857/S0869-587389124-37.
4. Украинский В.Н. Методологический плюрализм в исследовании экономического пространства // Пространственная экономика. 2012. № 4. С. 87–109.
5. Клейнер Г.Б. Системная экономика: шаги развития. М.: Издательский дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2021. 746 с.
6. Georgescu-Roegen N. The entropy law and the economic process. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971. 457 p.
7. Avery J.S. Entropy and Economics // CADMUS. A papers series of the South-East European Division of the World Academy of Art and Science (SEED-WAAS). 2012. Vol. 1, Issue 4. PP. 166–179.
8. Halkos G., Kitsos Ch. Uncertainty in environmental economics: The problem of entropy and model choice // Economic Analysis and Policy. 2018. No. 60. PP. 127–140. DOI: 10.1016/j.eap.2018.09.004.
9. Devine S. An Economy Viewed as a Far-from-Equilibrium System from the Perspective of Algorithmic Information Theory // Entropy. 2018. Vol. 20, Issue 4. 17 p. DOI: 10.3390/e20040228. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/An-Economy-Viewed-as-a-Far-from-Equilibrium-System-Devine/c056e1a4d73fcesca381270547dc81cf79492b221> (дата обращения: 12.06.2022).
10. Gutes M.C. Commentary. The concept of weak sustainability // Ecological Economics. 1996. No. 17. PP. 147–156.
11. Krysiak F.C. Entropy, limits to growth, and the prospects for weak sustainability // Ecological Economics. 2006. No. 58. PP. 182–191.
12. Kümmel R. The Impact of Entropy Production and Emission Mitigation on Economic Growth // Entropy. 2016. Vol. 18, Issue 3. DOI:10.3390/e18030075. URL: https://www.researchgate.net/publication/296473992_The_Impact_of_Entropy_Production_and_Emission_Mitigation_on_Economic_Growth (дата обращения: 12.06.2022).
13. Weitzman M.L. Economic profitability versus ecological entropy // Quarterly Journal of Economics. 2000. Vol. 115, Issue 1. PP. 237–263.
14. Пузаченко Ю.Г. Общие основания концепции устойчивого развития и экосистемных услуг // Известия РАН. Серия географическая. 2012. № 3. С. 22–39.
15. Турков С.Л. Национальная концепция устойчивого развития России // ИНТЕРКАРТО. ИНТЕР-ГИС. 2018. Т. 24, № 1. С. 30–43. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-30-43.
16. Saslow W.M. An economic analogy to thermodynamics // Am. J. Phys. 1999. Vol. 67, No. 12. PP. 1239–1247.
17. Vozna L.Yu. The Notion of Entropy in Economic Analysis: The Classical Examples and New Perspectives // Journal Of Heterodox Economics. 2016. Vol. 3, Issue 1. DOI: 10.1515/jheec-2016-0001. URL: <https://www.scilit.net/article/c5c498f7d171f24cdef43796e52e7ad6> (дата обращения: 19.05.2022).
18. Antoniou I., Ivanov V.V., Kryanev A.V., Matokhin V.V., Shapovalov M.V. On the efficient resources distribution in economics based on entropy // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2004. Vol. 336, Issues 3-4, PP. 549–562.
19. Zheng F., Song Q. Entropy Maximization Based Capability Allocation of Clothing Production Enterprises in Sharing Economy // IFAC-Papers On-Line. 2019. Vol. 52, Issue 13, PP. 211-216. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.112.
20. Сергеев В.М. Пределы рациональности. Термодинамический подход к теории экономического равновесия. М.: ФАЗИС, 1999. 146 с.
21. Цирлин А.М. Оптимизационная термодинамика экономических систем. М.: Научный мир, 2011. 200 с.
22. Kovalev A.V. Misuse of thermodynamic entropy in economics // Energy. 2016. No. 100. PP. 129–136. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2016.01.071.
23. Поспелов И.Г. Равновесные модели экономики в период мирового финансового кризиса // Труды МФТИ. 2009. Т. 1, № 4. С. 66–83.
24. Prigogine I. The rediscovery of value and the opening of economics. Chapter 2. / In book: The Evolutionary Foundation of Economics. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. PP. 61–69.
25. Занг В.Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории: Пер. с англ. М.: Мир, 1999. 335 с.
26. Ho M.W. What is (Schrodinger's) Negentropy? // Modern Trends in Bio Thermo Kinetics. 1994. No. 3. PP. 50–61. URL: https://www.researchgate.net/publication/255612623_What_is_Schrodinger's_Negentropy (дата обращения: 12.06.2022).
27. Jaynes E.T. How should we use entropy in economics? (Some half-baked ideas in need of criticism) / E.T. Jaynes St. John's College Cambridge CB2 1TP, England. 02.01.1991. URL: <https://bayes.wustl.edu/etj/articles/entropy.in.economics.pdf>.
28. Raine A., Foster J., Potts J. The new entropy law and the economic process // Ecological complexity. 2006. No. 3. PP. 354–360.
29. Скобелев В.Л. Феноменологический подход к изучению экономических систем // Петербургский экономический журнал. 2014. № 4. С. 45–61.
30. Петров А.А., Гераськина И.Н., Кривоносов А.М. Синергетическая парадигма в социально-экономических системах: теория и методология // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 289–297.

31. *Chen J.* An Entropy Theory of Value // SSRN Electronic Journal. May 2002. DOI: 10.2139/ssrn.307442. URL: https://www.researchgate.net/publication/228398386_An_Entropy_Theory_of_Value (дата обращения: 12.06.2022).
32. *Yang J.* Information theoretic approaches in economics // *Journal of Economic Surveys*. 2018. Vol. 32. No. 3. PP. 940-960. DOI: 10.1111/joes.12226.
33. *Rodríguez R.A., Cáceres-Hernández J.J.* Information, entropy, value, and price formation: An economic perspective // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2018. Vol. 512. PP. 74–85. DOI: 10.1016/J.PHYSA.2018.08.005.
34. *Григорьев А.В.* Методологические подходы к определению стоимости информации в стационарной экономике / Автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.01. Красноярск: ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», 2007. 38 с.
35. *Вальтух К.К.* Информационная теория стоимости и законы неравновесной экономики. М.: Янус-К, 2001. 897 с.
36. *Королев О.Л., Кусый М.Ю., Сигал А.В.* Применение энтропии при моделировании процессов принятия решений в экономике: монография. 2-е изд., перераб. и доп. / Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. Симферополь: Издательство ИП Корниенко А.А., 2016. 148 с.
37. *Дятлов С.А.* Энтропийная экономика: методология исследования глобального кризиса: монография / Санкт-Петербургский государственный экономический университет. – М.: ИНФРА-М, 2017. 350 с.
38. *Егоров Д.Г.* Информация и стоимость // *Финансы и кредит*. 2007. № 7 (247). С. 58–64.
39. *Anttila J., Annala A.* Natural games // *Physics Letters A*. 2011. Vol. 375, Issue 43. PP. 3755–3761.
40. *Caticha A., Golan A.* An entropic framework for modeling economies // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2014. Vol. 408. PP. 149–163. DOI: 10.1016/J.PHYSA.2018.08.005.
41. *Cabrales A., Gossner O., Serrano R.* Entropy and the value of information for investors // *American Economic Review*. 2013. Vol. 103, No. 1, PP. 360–77.
42. *Caplin A., Dean M., Leahy J.* Rationally Inattentive Behavior: Characterizing and Generalizing Shannon Entropy. 2017. 46 p. URL: <https://www.nber.org/papers/w23652> (дата обращения: 29.04.2022).
43. *Xu B., Zhang H., Wang Zh., Zhang J.* Test the principle of maximum entropy in constant sum 2x2 game: Evidence in experimental economics // *Physics Letters A*. 2012. № 376. PP. 1318-1322. DOI: 10.1016/j.physleta.2012.02.047.
44. *Wiener N.* Measuring Labor Market Segmentation from Incomplete Data / UMass Economics Working Papers. 2018. 35 p. URL: https://scholarworks.umass.edu/econ_workingpaper/238 (дата обращения: 12.06.2021).
45. *Smith J.* Maximum Entropy and Information Theory Approaches to Economics / The Boeing Company. 2018. 22 p. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3094757 (дата обращения: 24.05.2022).
46. *Foley D.K.* Information theory and behavior / Working Paper 31/2017 Department of Economics The New School for Social Research December 2017. 21 p. DOI: 10.1140 /EPJST/E20 20-900133-X. URL: https://www.economicpolicyresearch.org/econ/2017/NSSR_WP_312017.pdf.
47. *Scharfenaker E., Foley D.K.* A Maximum Entropy Solution to Quantal Response Equilibria in Economic Models / Working Paper. 2017. 25 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.29457.22889. URL: https://www.researchgate.net/publication/312153408_A_Maximum_Entropy_Solution_to_Quantal_Response_Equilibria_in_Economic_Models (дата обращения: 19.05.2022).
48. *Пилипенко А. И.* Энтропия как мера неопределенности в анализе рискованных ситуаций при выборе финансовых решений // *Экономические науки*. 2011. № 5 (78). С. 61–65.
49. *Попков Ю.С.* Энтропийные модели демо-экономической динамики // *Труды ИСА РАН*. 2006. Т. 28. С. 7-47.
50. *Judge G.* Entropy maximization as a basis for information recovery in dynamic economic behavioral systems // *Econometrics*. 2015. Vol. 3, Issue 1, PP. 91–100.
51. *Judge G.* Micro-Macro Connected Stochastic Dynamic Economic Behavior Systems // *Econometrics*. 2018. Vol. 6, Issue. 4, PP. 1-14. DOI:10.3390/econometrics6040046.
52. *Duan Y., Mu H., Li N., Li L., Xue Zh.* Research on comprehensive evaluation of low carbon economy development level based on AHP-Entropy method: A case study of Dalian // *Energy Procedia*. 2016. Vol. 104. PP. 468-474. DOI: 10.1016/J.EGYPRO.2016.12.079.
53. *Jakimowicz A.* The Role of Entropy in the Development of Economics // *Entropy*. 2020. Vol. 22, Issue 4, p. 452. DOI: 10.3390/e22040452. URL: <https://inpan.pl/wp-content/uploads/2021/10/entropy-22-00452.pdf>.
54. *Баранова И.В.* Использование энтропии при оценке эффективности деятельности органов власти в сфере общественных финансов // *Сибирская финансовая школа*. 2009. № 6 (77). С. 22–25.
55. *Кусый М.Ю.* Применение энтропии для анализа характеристик финансовых рынков // *Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: Экономика и управление*. 2012. Т. 25 (64), № 3. С. 143–152.
56. *Исламутдинов В.Ф.* Дихотомия энтропии в экономике / IV Российский экономический конгресс «РЭК-2020». Том XXI // Сборник материалов Тематической конференции «Междисциплинарные исследования в экономике». Составители В. Н. Бобков, М. Ю. Урнов, Д. В. Ушаков. М.: Новая экономическая ассоциация, 2020. С. 59–63.
57. *Исламутдинов В.Ф.* К вопросу о методологии системной экономики // *Сибирская финансовая школа*. 2021. № 2 (142). С. 3–8.
58. *Коровникова Н.А.* Концепция энтропийной экономики в контексте современной России // *Россия: тенденции и перспективы развития*. 2017. № 12-2. С. 27–29.

Сведения об авторах

Исламутдинов Вадим Фаруарович – д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры экономической теории ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет им. В.Г. Тимирсова (ИУЭП)», Казань, профессор Института цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск, Россия.
E-mail: isvad@yandex.ru

Куриков Владимир Михайлович – д-р экон. наук, профессор, профессор Института цифровой экономики ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск, Россия.
E-mail: vmkurikov56@mail.ru

ON THE APPLICATION OF THE ENTROPY APPROACH IN ECONOMIC RESEARCH

V. Islamutdinov

Kazan Innovative University named after V. G. Timiryasov (IEML), Kazan, Russia

V. Kurikov

Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

The paper shows that one of the ways to overcome the crisis of economic science can be the synthesis of alternative currents and schools based on an approach using the terminology and methodology of entropy. The dynamics of growth in the number of publications of an economic orientation using the terminology and methodology of entropy is shown. The reasons for the attractiveness of the entropy approach in economic research associated with the growing interest in environmental problems and interdisciplinary research are revealed. The directions of application of terminology and methodology of entropy in economic research, the results achieved by representatives of these directions, are generalized. The most common mistakes and speculations in the application of the entropy approach in economic research are revealed. The specificity of economic systems is revealed, which manifests itself in belonging to the class of living systems with feedback and the possibility of accumulating negative entropy, and determining the possibilities and limitations of using the entropy approach. Variants of using the entropy approach in economic research are shown, the pros and cons of these options are indicated.

Key words: economic systems, entropy, entropy approach, economic research, methodology of economic science.

References

1. Polterovich V.M. The crisis of economic theory. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoi Rossii*, 1998, No. 1, pp. 46-66. (in Russ.)
2. Klystorin V.I. On the crisis of economic science in the country and the world. *ECO*, 2009, No. 9, pp. 22-40. (in Russ.)
3. Nekipelov A.D. The crisis in economic science - the nature and ways of overcoming. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*, 2019, No. 89, pp. 24–37. DOI: 10.31857/S0869-587389124-37. (in Russ.)
4. Ukrainsky V.N. Methodological pluralism in the study of economic space. *Prostranstvennaya Ekonomika*, 2012, No. 4, pp. 87-109. (in Russ.)
5. Kleiner G.B. *Sistemnaya ekonomika: shagi razvitiya*. [Systemic economy: development steps], Moscow: Izdatel'skii dom «Nauchnaya Biblioteka», 2021, 746 p.
6. Georgescu-Roegen N. The entropy law and the economic process. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971, 457 p.
7. Avery J.S. Entropy and Economics, CADMUS. A papers series of the South-East European Division of the World Academy of Art and Science (SEED-WAAS), 2012, Vol. 1, Issue 4, pp. 166-179.
8. Halkos G., Kitsos Ch. Uncertainty in environmental economics: The problem of entropy and model choice, *Economic Analysis and Policy*, 2018, No. 60, pp. 127–140. DOI: 10.1016/j.eap.2018.09.004.
9. Devine S. An Economy Viewed as a Far-from-Equilibrium System from the Perspective of Algorithmic Information Theory, *Entropy*, 2018, Vol. 20, Issue 4, 17 p. DOI: 10.3390/e20040228, available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/An-Economy-Viewed-as-a-Far-from-Equilibrium-System-Devine/c056e1a4d73fceca381270547dc81cf79492b221> (June 12, 2021)
10. Gutes M.C. Commentary. The concept of weak sustainability, *Ecological Economics*, 1996, No. 17, pp. 147-156.
11. Krysiak F.C. Entropy, limits to growth, and the prospects for weak sustainability, *Ecological Economics*, 2006, No. 58, pp. 182-191.
12. Kümmel R. The Impact of Entropy Production and Emission Mitigation on Economic Growth, *Entropy*, 2016, Vol. 18, Issue 3. DOI:10.3390/e18030075,

available at: https://www.researchgate.net/publication/296473992_The_Impact_of_Entropy_Production_and_Emission_Mitigation_on_Economic_Growth (June 12, 2021).

13. Weitzman M.L. Economic profitability versus ecological entropy, *Quarterly Journal of Economics*, 2000, Vol. 115, Issue 1, pp. 237-263.

14. Puzachenko Yu.G. Common foundations of the concept of sustainable development and ecosystem services, *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2012, No. 3, pp. 22-39. (in Russ.)

15. Turkov S.L. National concept of sustainable development of Russia, *INTERCARTO. INTERGIS*, 2018, Vol. 24, No. 1, pp. 30-43, DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-30-43. (in Russ.)

16. Saslow W.M. An economic analogy to thermodynamics, *Am. J. Phys.*, 1999, Vol. 67, No. 12, PP. 1239-1247.

17. Vozna L.Yu. The Notion of Entropy in Economic Analysis: The Classical Examples and New Perspectives, *Journal Of Heterodox Economics*, 2016, Vol. 3, Issue 1, DOI: 10.1515/jheec-2016-0001, available at: <https://www.scilit.net/article/c5c498f7d171f-24cdef43796e52e7ad6> (June 12, 2021).

18. Antoniou I., Ivanov V.V., Kryanev A.V., Matokhin V.V., Shapovalov M.V. On the efficient resources distribution in economics based on entropy, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2004, Vol. 336, Issues 3-4, pp. 549-562.

19. Zheng F., Song Q. Entropy Maximization Based Capability Allocation of Clothing Production Enterprises in Sharing Economy, *IFAC PapersOnLine*, 2019, Vol. 52, Issue 13, pp. 211-216, DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.112.

20. Sergeev V.M. *Predely ratsional'nosti. Termodinamicheskii podkhod k teorii ekonomicheskogo ravnovesiya* [The limits of rationality. Thermodynamic approach to the theory of economic equilibrium], Moscow: FAZIS, 1999, 146 p. (in Russ.)

21. Tsirlin A.M. *Optimizatsionnaya termodinamika ekonomicheskikh sistem* [Optimization thermodynamics of economic systems], Moscow: Nauchnyi mir, 2011, 200 p. (in Russ.)

22. Kovalev A.V. Misuse of thermodynamic entropy in economics, *Energy*, 2016, No. 100, pp. 129-136, DOI:10.1016/J.ENERGY.2016.01.071.

23. Pospelov I.G. Equilibrium models of the economy during the global financial crisis. *Trudy MFTI*, 2009, Vol. 1, No 4, pp. 66-83. (in Russ.)

24. Prigogine I. The rediscovery of value and the opening of economics. Chapter 2 in book *The Evolutionary Foundation of Economics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005, pp.61-69.

25. Zang V.B. Synergetic economy. Time and changes in nonlinear economic theory: trans. from English, Moscow: *Mir*, 1999. 335 p. (in Russ.)

26. Ho M.W. What is (Schrödinger's) Negentropy? *Modern Trends in BioThermoKinetics*, 1994, No. 3, pp. 50-61, available at: <https://www.researchgate.net/>

[publication/255612623_What_is_Schrodinger's_Negentropy](https://www.researchgate.net/publication/255612623_What_is_Schrodinger's_Negentropy) (June 12, 2021).

27. Jaynes E.T. How should we use entropy in economics? (Some half-baked ideas in need of criticism). / E.T. Jaynesy St. John's College Cambridge CB2 1TP, England. 02.01.1991, available at: <https://bayes.wustl.edu/etj/articles/entropy.in.economics.pdf> (April 29, 2020)

28. Raine A., Foster J., Potts J. The new entropy law and the economic process, *Ecological complexity*, 2006, No. 3, pp. 354-360.

29. Skobelev V.L. Phenomenological approach to the study of economic systems, *Peterburgskii Ekonomicheskii zhurnal*, 2014, No. 4, pp. 45-61. (in Russ.)

30. Petrov A.A., Geraskina I.N., Krivososov A.M. Synergetic paradigm in socio-economic systems: theory and methodology, *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2016, No. 3 (56), pp. 289-297. (in Russ.)

31. Chen J. An Entropy Theory of Value, *SSRN Electronic Journal*, May 2002, DOI: 10.2139/ssrn.3074426 available at: https://www.researchgate.net/publication/228398386_An_Entropy_Theory_of_Value (June 12, 2021).

32. Yang J. Information theoretic approaches in economics, *Journal of Economic Surveys*, 2018, Vol. 32 No. 3, pp. 940-960 DOI: 10.1111/joes.12226.

33. Rodríguez R.A., Cáceres-Hernández J.J. Information, entropy, value, and price formation: An econophysical perspective, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2018, Vol. 512, pp. 74-85, DOI: 10/1016/J.PHYSA.2018.08.005.

34. Grigoriev A.V. Methodological approaches to determining the value of information in a stationary economy. Doctor Sci. (Econ.) Abstract of Thesis. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2007, 38 p. (in Russ.)

35. Valtukh K.K. *Informatsionnaya teoriya stoimosti i zakony neravnovesnoi ekonomiki* [Information theory of value and the laws of a non-equilibrium economy], Moscow: Janus-K, 2001, 897 p.

36. Korolev O.L., Kussyi M.Yu., Sigal A.V. *Primenenie entropii pri modelirovanii protsessov prinyatiya reshenii v ekonomike* [The use of entropy in modeling decision-making processes in economics], Simferopol: Izdatel'stvo ODZHAK, 2013, 148 p.

37. Dyatlov S.A. *Entropiinaya ekonomika: metodologiya issledovaniya global'nogo krizisa* [Entropic Economics: Methodology for Researching the Global Crisis], Moscow: INFRA-M. 2019, 350 p.

38. Egorov D.G. Information and cost, *Financy i Kredit*, 2007, No. 7 (247), pp. 58-64. (in Russ.)

39. Anttila J., Annala A. Natural games, *Physics Letters A*, 2011, Vol. 375, Issue 43, pp. 3755-3761.

40. Caticha A., Golan A. An entropic framework for modeling economies, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2014, Vol. 408, P. 149-163, DOI:10.1016/J.PHYSA.2018.08.005.

41. Cabrales A., Gossner O., Serrano R. Entropy and the value of information for investors, *American Economic Review*, 2013, Vol. 103, No. 1, pp. 360-377.

42. Caplin A., Dean M., Leahy J. Rationally Inattentive Behavior: Characterizing and Generalizing Shannon Entropy, 2017, 46 p. available at: <https://www.nber.org/papers/w23652> (April 29, 2020)
43. Xu B., Zhang H., Wang Zh., Zhang J. Test the principle of maximum entropy in constant sum 2x2 game: Evidence in experimental economics, *Physics Letters A*, 2012, No. 376, pp. 1318-1322, DOI: 10.1016/j.physleta.2012.02.047.
44. Wiener N. Measuring Labor Market Segmentation from Incomplete Data, *UMass Economics Working Papers*, 2018, 35 p. available at: https://scholarworks.umass.edu/econ_workingpaper/238 (June 12, 2021).
45. Smith J. Maximum Entropy and Information Theory Approaches to Economics, *The Boeing Company*, 2018, 22 p, available at: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3094757> (June 12, 2021).
46. Foley D.K. Information theory and behavior, Working Paper 31/2017, Department of Economics The New School for Social Research, December 2017, 21 p. DOI: 10.1140/EPJST/E20 20-900133-X., available at: https://www.economicpolicyresearch.org/econ/2017/NSSR_WP_312017.pdf. (June 12, 2021).
47. Scharfenaker E., Foley D.K. A Maximum Entropy Solution to Quantal Response Equilibria in Economic Models, *Working Paper*, 2017, 25 p, DOI: 10.13140/RG.2.2.29457.22889, available at: https://www.researchgate.net/publication/312153408_A_Maximum_Entropy_Solution_to_Quantal_Response_Equilibria_in_Economic_Models (June 12, 2021).
48. Pilipenko A.I. Entropy as a measure of uncertainty in the analysis of risk situations when choosing financial decisions, *Ekonomicheskie nauki*, 2011, No. 5 (78), pp. 61-65. (in Russ.)
49. Popkov Yu.S. Entropy models of demo-economic dynamics, *Trudy ISA RAS*, 2006, No. 28, pp. 7-47. (in Russ.)
50. Judge G. Entropy maximization as a basis for information recovery in dynamic economic behavioral systems, *Econometrics*, 2015, Vol. 3, Issue 1, pp. 91-100.
51. Judge G. Micro-Macro Connected Stochastic Dynamic Economic Behavior Systems, *Econometrics*, 2018, Vol. 6, Issue 4, PP. 1-14. DOI:10.3390/econometrics6040046.
52. Duan Y., Mu H., Li N., Li L., Xue Zh. Research on comprehensive evaluation of low carbon economy development level based on AHP-Entropy method: A case study of Dalian, *Energy Procedia*, 2016, Vol. 104, pp. 468-474, DOI: 10.1016/J.EGYPRO.2016.12.079.
53. Jakimowicz A. The Role of Entropy in the Development of Economics, *Entropy*, 2020, Vol. 22, Issue 4, p. 452, DOI: 10.3390/e22040452, available at: <https://inepan.pl/wp-content/uploads/2021/10/entropy-22-00452.pdf>. (June 12, 2021).
54. Baranova I.V. The use of entropy in evaluating the effectiveness of government bodies in the field of public finance, *Sibirskaya finansovaya shkola*, 2009, No. 6 (77), pp. 22–25.
55. Kussyi M.Yu. Application of entropy to analyze the characteristics of financial markets. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya: Ekonomika i upravlenie*, 2012, Vol. 25 (64), No. 3. pp. 143–152. (in Russ.)
56. Islamutdinov V.F. The dichotomy of entropy in economics, *IV Rossiiskii ekonomicheskii kongress «REK-2020». Tom XXI [IV Russian Economic Congress "REC-2020". Volume XXI]*, Proceedings of the Thematic conference "Interdisciplinary research in Economics", Moscow: Novaya ekonomicheskaya asotsiatsiya, 2020, pp. 59-63. (in Russ.)
57. Islamutdinov V.F. On the question of the methodology of systemic economics, *Sibirskaya finansovaya shkola*, 2021, No. 2 (142), pp. 3-8. (in Russ.)
58. Korovnikova N.A. The concept of entropy economy in the context of modern Russia, *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya*, 2017, No. 12-2. pp. 27–29. (in Russ.).

About the authors

Vadim F. Islamutdinov – Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the economics chair, Kazan Innovative University named after V. G. Timiryasov (IEML), Kazan, Professor of the Institute of Digital Economy, Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia.
E-mail: isvad@yandex.ru

Vladimir M. Kurikov – Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Institute of Digital Economy, Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia.
E-mail: vmkurikov56@mail.ru