

# ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

DOI: 10.15838/ptd.2022.3.119.4

УДК 332.1 | ББК 65.05

© Грачев С.А., Быкова М.Л.

## ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



### СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ГРАЧЕВ

Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Владимир, Российская Федерация

e-mail: grachev-sa@yandex.ru

ORCID: [0000-0002-6056-5527](https://orcid.org/0000-0002-6056-5527); ResearcherID: [N-6875-2016](https://orcid.org/N-6875-2016)



### МАРГАРИТА ЛЕОНИДОВНА БЫКОВА

Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Владимир, Российская Федерация

e-mail: margarita93@bk.ru

ORCID: [0000-0002-0296-4781](https://orcid.org/0000-0002-0296-4781); ResearcherID: [AAB-8882-2022](https://orcid.org/AAB-8882-2022)

*Цифровизация является важнейшим инструментом активной интеграции как на международном уровне, так и на мезоуровне. При этом процессы цифровизации в настоящее время затрагивают все сферы человеческой жизни. Географические, этнические, культурные, политические и иные особенности, присущие субъектам Российской Федерации, обуславливают неоднородность протекающих на территории страны цифровых преобразований. Стоит отметить, что в региональном масштабе процессы цифровизации приводят к необходимости активного взаимодействия субъектов Российской Федерации с совокупностью факторов внешней среды в поисках оптимальных направлений развития. Регионы страны являются открытыми системами, к которым могут быть применены базовые законы термодинамики, что позволяет использовать в рамках работы энтропийный подход. В статье рассматривается энтропийная функция применительно к исследованию социально-экономических систем для анализа возможности прогнозирования цифровых процессов на мезоуровне. Приводится расчет меры неопределенности в интенсивности применения цифровых технологий субъектами различных округов стра-*

**Для цитирования:** Грачев С.А., Быкова М.Л. (2022). Энтропийный подход к оценке уровня цифровизации в Российской Федерации // Проблемы развития территории. Т. 26. № 3. С. 42–55. DOI: 10.15838/ptd.2022.3.119.4

**For citation:** Grachev S.A., Bykova M.L. (2022). Entropic approach to assessing the level of digitalization in the Russian Federation. *Problems of Territory's Development*, 26 (3), 42–55. DOI: 10.15838/ptd.2022.3.119.4

ны. Используя аддитивное свойство энтропии, авторы рассчитали суммарный показатель энтропии, характеризующий степень неоднородности в процессах цифровизации на территории различных округов Российской Федерации. Построена ось для показателя энтропии цифровых процессов во всех федеральных округах. Подобный подход позволяет оценивать возможность прогнозирования в условиях неопределенности, являющейся неотъемлемым свойством открытых систем. Значимыми достоинствами предложенной методологии выступают ее универсальность и возможность для органов власти использовать полученные результаты анализа в целях выбора оптимальной стратегии цифрового развития округов страны с учетом степени неопределенности, характерной для конкретных регионов Российской Федерации.

*Энтропия, неопределенность, цифровизация, социально-экономическое развитие.*

### **Введение**

Цифровизация является объективным фактором, влияющим на развитие и функционирование современных социально-экономических систем. Отметим, что данные процессы характерны как для российской действительности, так и для мирового хозяйства в целом.

Изменения затрагивают не только экономическую, но и бытовую сферу. При этом проблематично выделить четкие границы всех трансформаций из-за их достаточно большого количества. Кроме того, внедрение сетевых и цифровых сервисов и их совершенствование составляют процесс непрерывный и нелинейный.

Следует отметить, что характер взаимодействия меняется. На текущий момент минимально необходимая цифровая инфраструктура сформирована, поэтому особое значение приобретает направление использования цифровых технологий. К схожим выводам приходит М.А. Груздева (Груздева, 2020), частично подтверждая логику и актуальность нашего исследования.

Цифровизация затрагивает все сферы жизнедеятельности населения, являясь неотъемлемой частью значимых эволюционных процессов в обществе. В таких условиях анализ цифровых процессов в обществе становится актуальной задачей, заслуживающей особого внимания.

Подобно любому процессу, цифровизация протекает неоднородно и неравномерно на различных территориях. Данный факт обусловлен целым рядом объективных причин, вызванных общими диспропорциями в развитии регионов. Соответственно, изучать

указанные аспекты следует с позиции анализа упорядоченности и динамики развития.

В.И. Бархатов отмечает, что в работах исследователей применяются различные подходы к трактовке развития (Бархатов, 2018). Некоторые авторы делают выводы о возможности определения развития с позиции взаимосвязанности социальных и экономических результатов с самим процессом, другие указывают на наличие прямой связи развития и экономического роста.

Анализируя актуальные процессы в российской экономике, В.И. Бархатов указывает, что модернизация связана с постоянной турбулентностью. Разделяя точку зрения автора, следует отметить, что в таких условиях особо важным является максимальный контроль энтропийных характеристик системы с целью недопущения наращивания показателей неопределенности.

В то же время изменение динамических характеристик окружающего мира должно быть сопряжено с возрастающей степенью энтропии. Основу такого подхода составляет второй закон термодинамики, дополненный законом сохранения энергии (Кузнецова, Медведева, 2020).

Сравнивая экономические и термодинамические системы, А.А. Краснов и Г.А. Краснов говорят об определенном сходстве между ними (Краснов, Краснов, 2010). В термодинамических системах показателем энтропии описывается доля тепловой энергии, которая не может участвовать в совершении работы. В экономических системах данный показатель может использоваться для характеристики структурных затрат, не участвующих в процессе прямого производства продукции.

А.В. Кокин с соавторами отмечают, что синергетический подход предполагает следование естественных (природных) систем принципам самоорганизации, которые не противоречат фундаментальным законам сохранения (Кокин и др., 2019). Авторами исследуется парадокс управляемости социальными объектами не только «в зависимости от социальных законов, но и под действием фундаментальных законов сохранения природы».

Поступательное развитие социально-экономических систем сопровождается нарастанием энтропии сложности их состояний. В.Н. Курочкин говорит о том, что развитие любой системы сопряжено с приобретением новых связей и постоянной их перестройкой, что и обуславливает рост неопределенности (Курочкин, 2002).

Современные структуры социально-экономического развития являются открытыми системами, активно взаимодействующими как между собой, так и с внешней средой (Гречко, 2015; Гречко, Курочкин, 2015). Таким образом, происходит межрегиональный и внешний обмен информацией о результатах развития различных сфер общественной жизни (Киртон, Уоррен, 2021).

Глобализация цифрового пространства приводит к «сглаживанию» территориальных параметров, становясь основным принципом развития современной экономики.

В работе Г.Г. Головенчик отмечается ведущая роль цифровых трансформаций в экономических интегративных процессах (Головенчик, 2018). Являясь инструментом активного взаимодействия в информационной сфере, цифровизация приводит к «стиранию» границ региональных процессов. Именно цифровая трансформация способствует интенсификации обмена информацией и технологиями, активному росту трансграничных потоков товаров, инвестиций и кредитов.

Таким образом, на мезоуровне процессы цифровизации приводят к активному взаимодействию регионов с внешней средой в поисках оптимальных направлений развития.

Исследование неопределенности социально-экономических систем необходимо

для анализа возможности прогнозирования цифровых процессов на мезоуровне. Меньшая величина коэффициента энтропии свидетельствует о более широких возможностях прогнозирования в условиях полной неопределенности внешней среды.

Актуальность использования энтропийного подхода обусловлена тем, что процесс цифровизации – принципиально новое явление в мировой практике. Следовательно, делать выводы об особенностях формирования цифровых трансформационных механизмов можно только на гипотетическом уровне.

Цель исследования заключается в оценке процесса цифровизации с использованием элементов теории энтропии.

Научная новизна работы состоит в том, что исследование энтропийных характеристик цифровизации позволяет оценить возможности прогнозирования адаптации системы к преобразованиям в цифровой сфере.

Практическое значение проведенного исследования связано с оценкой неопределенности цифрового развития субъектов. Полученные результаты могут использоваться научными работниками и органами власти для планирования направлений стратегического развития регионов в области цифровых трансформаций. Также оценка территорий по однородности процессов адаптации к цифровой трансформации позволяет оценить возможности планирования цифровых процессов на уровне субъектов. Соответственно, чем выше значение неопределенности в вопросах цифрового развития, тем меньше горизонт эффективного планирования для анализируемых округов.

В качестве объекта анализа выступили регионы Российской Федерации, субъектом исследования стали цифровые процессы, протекающие на мезоуровне.

### Материалы и методы

Термин «энтропия» обрел статистическую трактовку в 1872 году как «численная мера зависимости макросостояния системы от числа ее микросостояний, описываемых через взаимодействия элементов системы между собой» (Громенко, 2017).

Понятие «энтропия» как одно из центральных понятий теории информации начало применяться с 1948 года. При этом данным термином описывалось состояние неопределенности, количественная мера и возможность выбора<sup>1</sup>.

Следует отметить, что энтропия используется в качестве инструмента исследования в различных отраслях знаний.

Поливариантность трактовки термина «энтропия» в рамках отдельных направлений анализа предопределяет необходимость подробного рассмотрения неопределенности в ходе данного исследования. В первую очередь энтропия в работе понимается как характеристика упорядоченности конкретных состояний системы без анализа стадий развития процесса.

Рассмотрение энтропийных понятий в рамках нашего исследования базируется на теории информации и кодирования. Ключевой составляющей анализа в таком случае выступает вероятностная модель возникновения определенных событий, а энтропия – мерой неопределенности, которая является функцией, описывающей представление о состояниях системы, а также о вероятности их возникновения в определенных условиях анализа.

Энтропийные модели сложных систем и прикладные аспекты их использования рассмотрены в работах (Прангишвили, 2003; Птускин, Левнер, 2014; Птускин и др., 2016), касающихся вопросов управления социальными, производственными и различными бизнес-системами.

Сущность информационной энтропии можно представить в виде структуры, отражающей информационные потери в процессе обмена данными. Этот процесс характеризует причинно-следственные отношения в системе (Петров, 2019).

А.С. Птускин, Е.В. Левнер (Птускин, Левнер, 2016) подчеркивают, что исследования в различных областях знаний стремятся к упрощению представления различных сложных систем. При этом измерение шен-

ноновской энтропии является одним из перспективных направлений анализа сложности производственных систем.

Согласно определению, функция энтропии (H) может быть найдена по следующей формуле:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i * \log p_i \quad (1)$$

Данная формула справедлива для группы событий  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ , априорная вероятность возникновения которых составляет  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ . При этом  $p_i \geq 0$ , а  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ .

Основная идея шенноновской энтропии состоит в следующем: уменьшение степени неопределенности для рассматриваемой системы свидетельствует о том, что представление или предсказание события возможно с использованием меньшего числа дополнительных данных. При этом уменьшение энтропии свидетельствует, что объем известных знаний об анализируемой системе увеличился.

Таким образом, оценка информативности сложных систем с использованием энтропии Шеннона позволяет производить оценку знаний о состояниях системы.

А.С. Птускин, Е.В. Левнер (Птускин, Левнер, 2016) используют энтропию в качестве инструмента для анализа графовых моделей предприятия с точки зрения оценки риска на микроуровне.

Важнейшим свойством функции энтропии является аддитивность, то есть комплексно оценить состояние системы возможно с помощью суммарной взвешенной оценки неопределенности подсистем, входящих в ее состав.

И.В. Прангишвили (Прангишвили, 2003) указывает, что для каждого конкретного j-го состояния пространства или его части суммарная величина количества информации ( $I_j$ ) и степени неопределенности ( $\mathcal{E}_j$ ) является постоянной величиной:

$$\sum_{j=1}^{\infty} I_j + \sum_{j=1}^{\infty} \mathcal{E}_j = \text{const} \quad (2)$$

<sup>1</sup> Соколова И.С. (2013). Энтропийно-вероятностное моделирование сложных стохастических систем: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. Челябинск. 134 с.

Подобное утверждение позволяет сделать вывод о возможности анализа единого информационного пространства по отношению к объекту анализа в различных состояниях.

С помощью энтропийного подхода к оценке цифровых процессов, проходящих на мезоуровне, можно сопоставлять число состояний системы с предельным числом оценочных категорий, которые являются параметрами, характеризующими цифровое развитие.

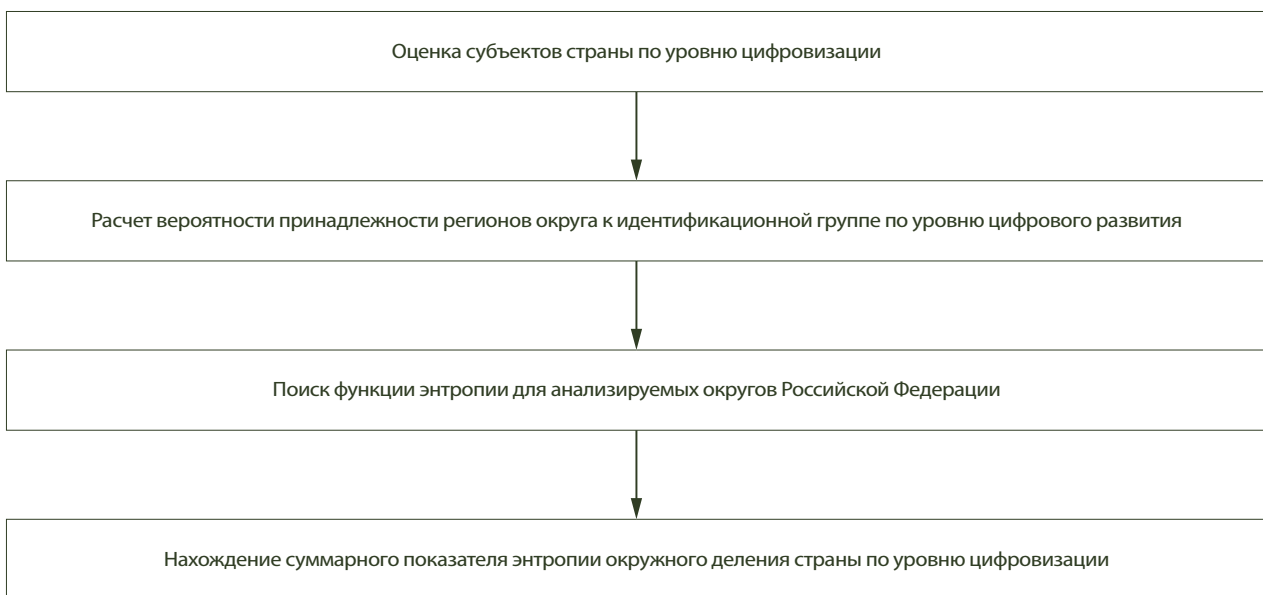
В работе С.А. Дятлова (Дятлов, 2012) отмечено, что экономические системы можно классифицировать путем использования синергично-энтропийного подхода. Понятие «информационная синергия», по мнению автора, является ключевым в рамках реализации энтропийного подхода, поскольку характеризует меру упорядоченности анализируемых систем. Таким образом, С.А. Дятлов делит социально-экономические системы на два типа: синергично-инновационный и энтропийный. Принадлежность систем к первому типу позволяет сделать вывод о снижении меры определенности с усложнением и развитием таких систем, для энтропийных объектов характерна обратная ситуация. При этом информационный подход к синергично-энтропийному анализу является

базисом анализа закономерностей развития системы по шкале «упорядоченность – хаос».

Универсальность функции энтропии позволяет использовать ее для оценки мезоразвития. Общая схема оценки неопределенности цифрового развития округов Российской Федерации представлена на *рис. 1*.

В отличие от количественного подхода к оценке цифровой трансформации энтропийные параметры можно охарактеризовать не как инструмент градации по выбранному направлению цифрового развития на «цифровизированные» и «нецифровизированные» регионы, а как статистический показатель деления субъектов страны по степени цифровизации с учетом их упорядоченности по выбранным критериям оценки.

Таким образом, чем больше мера сходства анализируемых регионов в области развития цифровых процессов, тем меньшая степень неопределенности характеризует аналитическую группу, что отражает меньшее значение коэффициента энтропии. Справедливо и обратное утверждение: разнородные мезосистемы подвержены большому влиянию внешней среды, что находит отражение в существенной величине энтропии исследуемой системы.



**Рис. 1. Схема энтропийной оценки цифрового развития субъектов Российской Федерации**

Источник: разработано авторами.

### Результаты исследования

Оцениваемым параметром цифрового развития социально-экономических систем выступил индекс цифровизации бизнеса.

Данный параметр, рассчитанный НИУ ВШЭ, характеризует темпы адаптации к цифровой трансформации организаций предпринимательского сектора в Российской Федерации. Поскольку именно предпринимательская деятельность максимально учитывает территориальные особенности и является важнейшей составляющей социально-экономического развития территорий, расчет энтропийных показателей цифрового развития систем по данному параметру представляется целесообразным. Если бизнес субъектов максимально адаптирован к цифровым преобразованиям, можно предположить, что и сам субъект, функционирующий в условиях тех же обособленных свойств территорий, готов к трансформации в условиях цифровизации. Разумеется, предпринимательская деятельность – не единственная сфера цифровых преобразований, однако, если существуют условия для цифровой адаптации предпринимательской деятельности, предполагаем, что и другие сферы жизни общества могут воспользоваться существующей цифровой инфраструктурой. Таким образом, использование в рамках работы индекса цифровизации бизнеса как интегрирующего показателя цифровых процессов в субъектах позволяет проанализировать цифровую разнородность с учетом территориальных особенностей социально-экономических систем, характеризующих состояние конкретных субъектов Российской Федерации.

Нами были проанализированы данные за 2019 год, опубликованные в статистическом издании НИУ ВШЭ «Индикаторы цифровой экономики». Согласно им, индекс цифровизации бизнеса описывается пятью закрытыми интервалами, характеризующи-

ми интенсивность применения цифровых технологий организациями в различных субъектах. Соответственно, чем выше значение данного параметра, тем больше организации конкретных субъектов готовы к цифровым преобразованиям.

В соответствии с числом приведенных НИУ ВШЭ интервалов количество возможных состояний равно 5. Качественное описание интервалов представлено в *табл. 1*.

Для того чтобы избежать двойного учета субъектов, включенные в состав Архангельской и Тюменской областей округа (Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий) отдельно не анализировались. Таким образом, было исследовано 82 субъекта страны.

Результаты анализа состава округов Российской Федерации по уровню цифровизации организаций отражены в *табл. 2*.

В ЦФО свыше 55% регионов являются высокоцифровизированными. В Брянской, Ивановской, Смоленской и Рязанской областях уровень цифровизации выше среднего. Единственный субъект ЦФО, в котором интенсивность применения организациями цифровых технологий ниже средней по стране, – Костромская область.

В СЗФО и ПФО отсутствуют регионы с уровнем цифровизации ниже среднего. Наиболее значительная доля регионов ЮФО и СФО цифровизирована выше среднего значения по стране.

В ДФО нет субъектов с максимальным и минимальным уровнем цифровизации.

Наиболее высокая доля низкоцифровизированных регионов приходится на СКФО (свыше 42% от общего числа субъектов округа).

Большинство субъектов УФО – регионы с максимальным уровнем цифровизации (75%). Курганская область является единственным регионом округа, в котором уровень цифровизации ниже среднего по стране.

**Таблица 1. Интервальная шкала деления регионов по уровню цифровизации организаций**

Значение индекса цифровизации бизнеса	30–35	28–29	26–27	24–25	16–23
Уровень цифровизации организаций	Высокий	Выше среднего	Средний	Ниже среднего	Низкий
Составлено по: Индикаторы цифровой экономики – 2021: стат. сб.					

Таблица 2. Уровень цифровизации субъектов различных федеральных округов

Название округа	Число регионов с высоким уровнем цифровизации	Число регионов с уровнем цифровизации выше среднего	Число регионов со средним уровнем цифровизации	Число регионов с уровнем цифровизации ниже среднего	Число регионов с низким уровнем цифровизации
Центральный федеральный округ (ЦФО)	10	4	3	1	0
Северо-Западный федеральный округ (СЗФО)	5	4	1	0	0
Южный федеральный округ (ЮФО)	1	4	2	1	0
Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО)	2	1	1	0	3
Приволжский федеральный округ (ПФО)	5	7	2	0	0
Уральский федеральный округ (УФО)	3	0	0	1	0
Сибирский федеральный округ (СФО)	1	5	3	0	1
Дальневосточный федеральный округ (ДФО)	0	5	5	1	0

Составлено по: Индикаторы цифровой экономики – 2021: стат. сб.

На основании данных об интенсивности использования цифровых технологий по формуле Шеннона (Еськов и др., 2017) была рассчитана энтропия как мера неопределенности:

$$H(W) = - \sum_{c \in C} p(W_c) * \log_2 p(W_c), \quad (3)$$

где:

$p(W_c)$  – вероятность принадлежности точки к идентификационной группе по уровню цифровизации  $C$  в округе  $W$ ;

$c$  – классификация в массиве, отражающем число вариаций параметров по уровню цифровизации регионов.

При этом вероятность принадлежности точки к идентификационной группе по уровню цифровизации  $n(W_c)$  можно вычислить по формуле:

$$p(W_c) = \frac{n(W_c)}{n(W)}, \quad (4)$$

где:

$n(W_c)$  – число регионов, классифицированных по уровню цифровизации организаций в округе  $W$ ;

$n(W)$  – общее число субъектов округа  $W$ .

В графическом виде частоты принадлежности субъектов округов к различным группам по интенсивности применения цифровых технологий отражены на *рис. 2*.

Результаты расчета энтропии для восьми округов по пяти критериям, отражающим деление субъектов страны по уровню цифрового развития организаций, представлены в *табл. 3*.

Интерпретация полученных результатов осуществлялась с помощью шкалы, отражающей граничные параметры анализируемого интервала по уровню неопределенности.

Поскольку значение логарифма по основанию 2 для дробей, принадлежащих интервалу от 0 до 1, является отрицательным, К. Шенноном был введен знак «-» перед выражением, описывающим функцию неопределенности. Необходимость такого допущения обусловлена тем, что вероятность  $p$  возникновения  $i$ -го состояния системы  $p_i \in [0; 1]$ .

Проблема соизмеримости параметра неопределенности является отдельным аспектом, требующим особого внимания в рамках предложенного исследования.

Минимальное значение меры неопределенности фиксируется, когда все значения событий, включенных в наблюдения, могут быть охарактеризованы единым состоянием

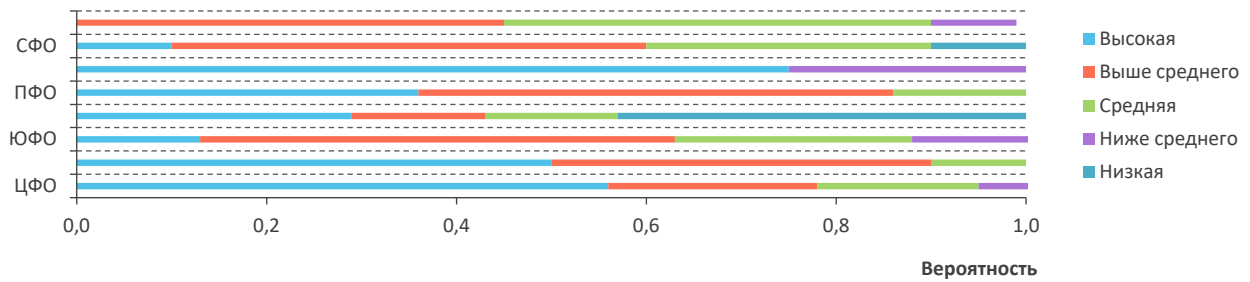


Рис. 2. Вероятностное описание структуры округов страны по значению индекса цифровизации  
Источник: расчеты авторов.

Таблица 3. Расчет показателей энтропии по округам страны

Анализируемый кластер	Расчетный параметр	Варианты градации регионов по уровню интенсивности применения цифровых технологий организациями (с)					Суммарное значение
		высокий	выше среднего	средний	ниже среднего	низкий	
ЦФО	$n(W_c)$	10	4	3	1	0	18
	$p(W_c)$	0,56	0,22	0,17	0,06	0,00	1,00
	$H(W_1)$	0,47	0,48	0,43	0,23	–	1,62
СЗФО	$n(W_c)$	5	4	1	0	0	10
	$p(W_c)$	0,50	0,40	0,10	0,00	0,00	1,00
	$H(W_2)$	0,50	0,53	0,33	–	–	1,36
ЮФО	$n(W_c)$	1	4	2	1	0	8
	$p(W_c)$	0,13	0,50	0,25	0,13	0,00	1,00
	$H(W_3)$	0,38	0,50	0,50	0,38	–	1,75
СКФО	$n(W_c)$	2	1	1	0	3	7
	$p(W_c)$	0,29	0,14	0,14	0,00	0,43	1,00
	$H(W_4)$	0,52	0,40	0,40	–	0,52	1,84
ПФО	$n(W_c)$	5	7	2	0	0	14
	$p(W_c)$	0,36	0,50	0,14	0,00	0,00	1,00
	$H(W_5)$	0,53	0,50	0,40	–	–	1,43
УФО	$n(W_c)$	3	0	0	1	0	4
	$p(W_c)$	0,75	0,00	0,00	0,25	0,00	1,00
	$H(W_6)$	0,31	–	–	0,50	–	0,81
СФО	$n(W_c)$	1	5	3	0	1	10
	$p(W_c)$	0,10	0,50	0,30	0,00	0,10	1,00
	$H(W_7)$	0,33	0,50	0,52	–	0,33	1,69
ДФО	$n(W_c)$	0	5	5	1	0	11
	$p(W_c)$	0,00	0,45	0,45	0,09	0,00	1,00
	$H(W_8)$	–	0,52	0,52	0,31	–	1,35

Источник: расчеты авторов.

системы, т. е. среди всех регионов округа наблюдается только один вариант градации по уровню интенсивности применения цифровых технологий организациями.

Стоит отметить, что энтропия является единственной термодинамической функци-

ей, у которой минимальное значение конкретно определено и численно равно нулю. Такое состояние среди анализируемой совокупности отсутствует, поскольку в каждом из округов страны есть регионы с различным уровнем цифровизации.





сокий коэффициент энтропии, поскольку в его составе присутствуют наиболее разнообразные по уровню цифровизации регионы.

Прогнозирование на основе цифрового развития с помощью традиционных методов может быть максимально эффективно в УФО, поскольку там параметр неопределенности является наименьшим среди всех округов страны.

Применение энтропийно-информационного подхода позволяет оценить субъекты с точки зрения упорядоченности параметров цифровизации внутри округов (Птускин, 2018). Таким образом, исследование меры неопределенности служит механизмом оценки возможности дальнейшего прогнозирования с учетом степени неоднородности рассматриваемых округов. Совокупную энтропию окружного деления страны по уровню интенсивности применения цифровых технологий можно найти как сумму энтропийных характеристик всех субъектов, входящих в состав Российской Федерации.

Суммарная энтропия (Осипов, Уваров, 2004) деления социально-экономических систем по признаку цифровизации была вычислена по формуле 6:

$$H(\Omega) = \sum_{W \in \Omega} H(W) * \frac{n(W)}{N}, \quad (6)$$

где:

$H(\Omega)$  – общий показатель энтропии окружного деления страны по уровню интенсивности использования цифровых технологий организациями;

$\Omega - \{W_1; W_8\}$  – совокупность округов страны;

$H(W)$  – коэффициент энтропии округа  $W$ ;

$n(W)$  – общее число анализируемых субъектов округа  $W$ ;

$N$  – общее число анализируемых субъектов страны.

Таким образом, найденные значения параметра неопределенности цифровой структуры округов с учетом их количественного состава позволяют рассчитать общий показатель энтропии деления страны по округам относительно интенсивности применения организациями цифровых технологий.

Значение данного параметра составляет 1,52, что ближе к максимальному значению функции энтропии. Расчеты подтверждают отсутствие общих для всех округов тенденций в области цифрового развития.

### Выводы

Использование инструментов энтропийного подхода позволяет проанализировать сведения о неопределенности цифрового развития Российской Федерации. Данные расчеты могут быть использованы для оценки возможностей прогнозирования цифровых процессов на мезоуровне.

Следует отметить, что энтропийный анализ является направлением исследования функционирования системы, которая в рамках нашей работы была представлена в виде совокупности округов страны в условиях активного обмена информацией с внешней средой.

Только количественный анализ показателей деятельности экономических субъектов не позволяет сделать вывод о внутренней организованности системы, а также о влиянии неопределенности на возможность прогнозирования развития в условиях информационного взаимодействия систем друг с другом и внешней средой.

Анализ упорядоченности является важнейшим аспектом оценки управляемости анализируемой системы. При этом эффективность управленческих решений в области цифровизации может зависеть от разнородности элементов системы, которая содержит в себе составляющие более низкого уровня.

Энтропийный подход к оценке цифровизации на мезоуровне способен существенно дополнить имеющиеся сведения о количественных параметрах развития округов страны с точки зрения упорядоченности входящих в их состав субъектов. Таким образом, анализ энтропии в современных условиях может использоваться не только как самостоятельное, но и как прикладное направление анализа.

Оценка устойчивости системы на основе энтропийно-информационного подхода позволила выявить меру неопределенности,

характерную для цифровых процессов в рамках окружного деления страны. Суммарный показатель энтропии ближе к максимальной границе энтропийной величины, рассчитанной для всех состояний системы в контексте цифровизации организаций.

Расчеты говорят об отсутствии единых тенденций в области цифровизации для различных округов страны. Все это подтверждает тот факт, что процессы цифровизации в стране протекают крайне неоднородно и

сопряжены с необходимостью тщательного анализа аспектов их внедрения для достижения максимальной результативности.

Дальнейшее направление работы видится в исследовании особенностей цифрового развития территорий в рамках административно-территориального деления страны и прогнозировании основных направлений социально-экономического развития с учетом рассчитанной степени неопределенности.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бархатов В.И. (2018). Модернизация российской экономики в условиях турбулентности // Вестник Челябинского гос. ун-та. № 7 (417). Вып. 61. С. 7–12. DOI: 10.24411/1994-2796-2018-10701
- Головенчик Г.Г. (2018). Цифровая глобализация как новый этап развития мировой экономики // Цифровая трансформация. № 1 (2). С. 26–36.
- Гречко М.В. (2015). Адаптация как основа эволюции экономических систем // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. № 17 (302). С. 13–24.
- Гречко М.В., Курочкин В.Н. (2015). Самоорганизация социально-экономических систем: концептуальные основы, аксиоматика // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. № 32. С. 36–45.
- Груздева М.А. (2020). Включенность населения в цифровое пространство: глобальные тренды и неравенство российских регионов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 13. № 5. С. 90–104. DOI: 10.15838/esc.2020.5.71.5
- Громенко В.М., Фаттахов Ф.Т., Трунова И.В. [и др.] (2017). Опыт применения энтропийного коэффициента Шеннона к анализу физической подготовленности двух групп учеников четвертых классов // Ученые записки Крымского фед. ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. № 4. Т. 3. С. 55–70.
- Дятлов С.А. (2012). Энтропийная экономика: методологические аспекты анализа мирового экономического кризиса // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). № 4. С. 4–9. URL: <https://readera.org/jentropijnajajekonomika-metodologicheskie-aspekty-analiza-mirovogo-14031442> (дата обращения 10.01.2022).
- Еськов В.М., Еськов В.В., Вохмина Ю.В. [и др.] (2017). Энтропия Шеннона в изучении стационарных режимов и эволюции complexity // Вестник Московского ун-та. Сер. 3: Физика. Астрономия. № 3. С. 90–98.
- Киртон Дж., Уоррен Б. (2021). От разрозненности к синергии: роль «Группы двадцати» в управлении ЦУР, изменением климата и цифровизацией // Вестник международных организаций. Т. 16. № 2. С. 20–54. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-02-03
- Кокин А.В., Кокин А.А., Микрюкова М.Ю. (2019). Социально-экономические системы в условиях возрастания энтропии и сложности систем управления // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. № 1. С. 49–56. DOI: 10.22394/2079-1690-2019-1-1-49-56
- Краснов А.А., Краснов Г.А. (2010). Термодинамический подход к анализу затрат в концепции разработки стратегии развития экономических систем // Экономический анализ: теория и практика. № 4 (169). С. 68–74.
- Кузнецова А.И., Медведева Г.А. (2020). Второй закон термодинамики – важнейший закон природы // Международный научно-исследовательский журнал. № 1 (91). С. 30–33. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.006>
- Курочкин В.Н. (2002). Устойчивость функционирования, надежность и энтропия систем // Научные труды АЧГАА: сб. Зерноград: АЧГАА. С. 112–115.

- Осипов А.И., Уваров А.В. (2004). Энтропия и ее роль в науке // Соросовский образовательный журнал. Т. 8. № 1. С. 70–79.
- Петров А.И. (2019). К вопросу о важности энтропийного анализа в оценке качества управления безопасностью дорожного движения на федеральном уровне // Интеллект. Инновации. Инвестиции. № 8. С. 116–126. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-116
- Прангишвили И.В. (2003). Энтропийные и другие системные закономерности: вопросы управления сложными системами. М.: Наука. 428 с.
- Птускин А.С. (2018). Энтропийный метод анализа данных для процедуры определения наилучших доступных технологий // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. Т. 11. № 3. С. 203–212. DOI: 10.18721/Е.11318
- Птускин А.С., Левнер Е.В. (2014). О выборе направлений модернизации предприятий на основе информационно-энтропийной модели хозяйственного риска // Экономика и математические методы. № 2 (50). С. 111–126.
- Птускин А.С., Левнер Е., Жукова Ю.М. (2016). Многокритериальная модель определения наилучшей доступной технологии при нечетких исходных данных // Вестник Московского гос. технического ун-та им. Н.Э. Баумана. Сер.: Машиностроение. № 6 (111). С. 105–127.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей Александрович Грачев – кандидат экономических наук, доцент, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (Российская Федерация, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87; e-mail: grachev-sa@yandex.ru)

Маргарита Леонидовна Быкова – ассистент кафедры, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (Российская Федерация, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87; e-mail: margarita93@bk.ru)

**Grachev S.A., Bykova M.L.**

## ENTROPIC APPROACH TO ASSESSING THE LEVEL OF DIGITALIZATION IN THE RUSSIAN FEDERATION

*Digitalization is an essential tool for active integration, both internationally and at the mesolevel. Moreover, digitalization is now affecting all spheres of human life. Geographical, ethnic, cultural, political and other features inherent in the constituent entities of the Russian Federation determine the heterogeneity of digital transformations occurring on the territory of the country. It is worth noting that on a regional scale, digitalization processes lead to the need for active interaction of the constituent entities of the Russian Federation with a set of external environment factors in search of optimal development directions. The regions of the country are open systems to which one can apply the basic laws of thermodynamics, which allows using the entropic approach in the framework of the work. The article considers the entropy function as applied to the study of socio-economic systems to analyze the possibility of predicting digital processes at the mesolevel. We calculate a measure of uncertainty in the intensity of digital technology use by entities in different regions of the country. Using the additive property of entropy, we calculated the total entropy index, which characterizes the degree of heterogeneity in the processes of digitalization in different districts of*

*the Russian Federation. We plotted an axis for the indicator of the entropy of digital processes in all federal districts. Such an approach makes it possible to evaluate the possibility of forecasting in the context of uncertainty, which is a necessary feature of open systems. Significant advantages of the proposed methodology are its universality and the possibility for the authorities to use the results of the analysis in order to choose the optimal strategy for the digital development of the country's districts, taking into account the degree of uncertainty characteristic of particular regions of the Russian Federation.*

*Entropy, uncertainty, digitalization, socio-economic development.*

## REFERENCES

- Barkhatov V.I. (2018). Modernization of the Russian economy in conditions of turbulence. *Vestnik Chelyabinskogo gos. un-ta=Bulletin of Chelyabinsk State University*, 7(417), 61, 7–12. DOI: 10.24411/1994-2796-2018-10701 (in Russian).
- Dyatlov S.A. (2012). Entropy economy: Methodological aspects of the analysis of world financial and economic crisis. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie (Terra Humana)=Society. Environment. Development (Terra Humana)*, 4, 4–9. Available at: <https://readera.org/jentropijnaja-jekonomika-metodologicheskie-aspekty-analiza-mirovogo-14031442> (accessed: January 10, 2022; in Russian).
- Es'kov V.M., Es'kov V.V., Vokhmina Yu.V. et al. (2017). Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity. *Vestnik Moskovskogo un-ta. Ser. 3: Fizika. Astronomiya=Moscow University Physics Bulletin*, 3, 90–98 (in Russian).
- Goloventchik G.G. (2018). Digital economy as a new stage of globalization. *Tsifrovaya transformatsiya=Digital Transformation*, 1(2), 26–36 (in Russian).
- Grechko M.V. (2015). Adaptation as the cornerstone of the evolution of economic systems. *Natsional'nye interesy priority i bezopasnost'=National Interests: Priorities and Security*, 17(302), 13–24 (in Russian).
- Grechko M.V., Kurochkin V.N. (2015). Self-organization in social and economic systems: Conceptual framework and axiomatics. *Natsional'nye interesy priority i bezopasnost'=National Interests: Priorities and Security*, 32, 36–45 (in Russian).
- Gromenko V.M., Fattakhov F.T., Trunova I.V. et al. (2017). Experience of applying the Shannon entropy coefficient to an analysis of the physical fitness of two groups of fourth-grade students. *Uchenye zapiski Krymskogo fed. un-ta im. V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya=Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, 4(3), 55–70 (in Russian).
- Gruzdeva M.A. (2020). Inclusion of population in digital space: Global trends and inequality of Russian regions. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz=Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 13, 5, 90–104. DOI: 10.15838/esc.2020.5.71.5 (in Russian).
- Kirton J. Warren B. (2021). From silos to synergies: G20 governance of the SDGs, climate change & digitalization. *Vestnik mezhdunarodnykh organizatsii=International Organisations Research Journal*, 16(2), 20–54. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-02-03 (in Russian).
- Kokin A.V., Kokin A.A., Mikryukova M.Yu. (2019). Socio-economic systems in the conditions of entropy growth and difficulty of management systems. *Gosudarstvennoe i munitsipal'noe upravlenie: uchenye zapiski=State and Municipal Management: Scholar Notes*, 1, 49–56. DOI: 10.22394/2079-1690-2019-1-1-49-56 (in Russian).
- Krasnov A.A., Krasnov G.A. (2010). Thermodynamics' approach to the analysis of costs in conception of working out economic systems' development strategy. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika=Economic Analysis: Theory and Practice*, 4(169), 68–74 (in Russian).
- Kurochkin V.N. (2002). Stability of functioning, reliability and entropy of systems. In: *Nauchnye trudy AChGAA: sb. [Scientific Proceedings of Don SAU: Collection of Works]*. Zernograd: Don SAU.

- Kuznetsova A.I., Medvedeva G.A. (2020). Second law of thermodynamics – the most important law of nature. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal=International Research Journal*, 1(91), 30–33. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.91.1.006> (in Russian).
- Osipov A.I., Uvarov A.V. (2004). Entropy and its role in science. *Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal=Soros Educational Journal*, 8(1), 70–79 (in Russian).
- Petrov A.I. (2019). On the importance of entropy analysis in assessing the quality of road safety management at the federal level. *Intelligence. Innovation. Investment=Intellect. Innovations. Investments*, 8, 116–126. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-116 (in Russian).
- Prangishvili I.V. (2003). *Entropiinye i drugie sistemnye zakonomernosti: voprosy upravleniya slozhnymi sistemami* [Entropic and Other System Laws: Issues in the Management of Complex Systems]. Moscow: Nauka.
- Ptuskin A.S. (2018). The entropy method of data analysis for the procedure of determining the best available technologies. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki=St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 11(3), 203–212. DOI: 10.18721/JE.11318 (in Russian).
- Ptuskin A.S., Levner E., Zhukova Yu.M. (2016). A multi-criteria model of determining the best available technology under fuzzy input data. *Vestnik Moskovskogo gos. tekhnicheskogo un-ta im. N.E. Baumana. Ser.: Mashinostroenie=Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*, 6(111), 105–127 (in Russian).
- Ptuskin A.S., Levner E.V. (2014) On a selection of directions of enterprise modernization based on an information entropy model of economic risk. *Ekonomika i matematicheskie metody=Economics and Mathematical Methods*, 2(50), 111–126 (in Russian).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergei A. Grachev – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (87, Gorky Street, Vladimir, 600000, Russian Federation; e-mail: [grachev-sa@yandex.ru](mailto:grachev-sa@yandex.ru))

Margarita L. Bykova – Assistant of Department, Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs (87, Gorky Street, Vladimir, 600000, Russian Federation; e-mail: [margarita93@bk.ru](mailto:margarita93@bk.ru))