

УДК 001.5:519.21

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.194474

Исследование самоорганизации научных коммуникаций: от статистических закономерностей к закону

Л. И. Костенко, Т. В. Симоненко

Розглянуто статистичні закономірності наукових комунікацій, що описують явища і процеси самоорганізації в бібліотечній справі, наукознавстві та лінгвістиці. Методологічною основою роботи обрано синергетику.

Метою дослідження визначено розробку синергетичної концепції виникнення статистичних закономірностей інформаційних процесів і явищ у наукових комунікаціях для їх узагальнення та подання у вигляді одного закону.

Розвинено уявлення щодо синергетики наукових комунікацій як вияву об'єктивно існуючих, але теоретично не обґрунтованих кількісних відношень між суб'єктами й об'єктами цих комунікацій (вченими, публікаціями, термінами). Відзначено необхідність використання для опису масштабно інваріантних явищ і процесів стійких законів розподілу теорії ймовірностей. У математичному сенсі стійкість закону розподілу – властивість зберігати його тип для будь-якої суми випадкових величин, що мають цей розподіл. Математична абстракція «випадкова величина» в наукових комунікаціях набуває чіткої конкретики. Для закономірності Бредфорда випадковою величиною є кількість статей з певної теми в журналі, для закономірності Лотки – число публікацій вченого, для закономірності Ципфа – частота використання слова в тексті.

Встановлено характеристичний показник стійкого закону розподілу процесів і явищ у наукових комунікаціях, що дорівнює константі золотого перетину.

Сформульовано синергетичну концепцію наукових комунікацій: масштабно-інваріантні процеси і явища самоорганізації – вияв стійкого закону розподілу теорії ймовірностей з характеристичним показником, рівним константі золотого перетину

Ключові слова: бібліотечна справа, статистичні закономірності, масштабна інваріантність, стійкий розподіл

1. Введение

В системе научных коммуникаций существует ряд статистических закономерностей, описывающих явления и процессы самоорганизации в библиотечном деле, науковедении и лингвистике [1–3]. Закономерности были установлены в первой половине XX ст., носят имена первооткрывателей и обычно именуются законами. Однако, учитывая эмпирический характер их выявления, более корректным представляется использование по отношению к ним термина закономерность, поскольку закон – это часть обоснованной научной теории. Указанные статистические закономерности аппроксимируются степенными или гиперболическими зависимостями. В настоящее время не существует общепринятой точки зрения на механизм формирования упомянутых статистических за-

кономерностей, их обобщения и представления в форме единого закона. Решение такой задачи, которая является актуальной не только для научных коммуникаций, требует разработки математической модели рассматриваемых закономерностей и идентификации ее параметров.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Результаты исследований распределения ученых по публикационной активности впервые были представлены в работе [1]. Установленная статистическая закономерность была сформулирована следующим образом: число авторов, опубликовавших n статей, составляет около $1/n^2$ тех, кто опубликовал одну статью; доля всех авторов, которые опубликовали одну статью, составляет около 60 %. Более поздние исследования показали, что отношение $1/n^2$ требует уточнения [4]. В работе [5] приведены результаты исследований указанной закономерности путем анализа статей по экологии в базе данных Scopus за период 2013-2017 годов. Отмечается приближенный характер закономерности и необходимость ее аппроксимации.

Лингвостатистическая закономерность Дж. Ципфа приближенно описывает распределение частоты использования слов любого языка [2]. Закономерность имеет такую формулировку: если все слова достаточно длинного текста упорядочить по уменьшению частоты их употребления, то частота использования конкретного слова в таком списке будет обратно пропорциональна его порядковому номеру. Например, второе по применяемости слово встречается примерно в два раза реже, чем первое, третье – в три раза реже и так далее. Закономерность Ципфа подтверждена для всех языков, научных и художественных текстов, ресурсов сети Интернет и т. п. [6].

Следует уточнить, что эта закономерность обнаружена в 1908 в процессе разработки рациональной системы стенографии. В ней должна быть корреляция между частотой использования слова и соответствующим ему стенографическим знаком. Этот знак должен быть тем проще, чем более употребительным является слово, которое представляет. С точки зрения современной теории информации, это была попытка решить задачу оптимального кодирования с учетом пропускной способности телекоммуникационного канала передачи данных. Закономерность Ципфа неоднократно уточнялась. В частности, в работе [7] закономерность рассматривалась в аспекте учета соавторства.

Закономерность Брэдфорда характеризует распределение статей по определенной тематике в массиве периодических изданий [3]. Ее первичная формулировка заключается в следующем. Если журналы разместить в порядке убывания в них количества статей по выбранной теме и полученный список разделить на три зоны с одинаковой численностью статей по этой теме, то количество журналов в каждой группе будет пропорционально $1 : n : n^2$. Сегодня закономерность Брэдфорда рассматривается в аспекте оценивания количественного роста литературы [8], при выявлении новых подходов к определению импакт-факторов журналов [9], а также при уточнении параметров концентрации и рассеивания литературы [10]. В [11] показано, что закономерность концентрации и рассеивания информации следует рассматривать как социальное явление и возможность использования

его для решения многих практических задач. Одной из них является определение предпочтительного объема журналов при комплектовании фондов библиотек [12]. Подходы к изучению рассматриваемых закономерностей в цифровых ресурсах изложены в [13], где предполагается выявление латентных закономерностей на веб-страницах, в частности на вики-сайтах.

Рассмотренные закономерности проявляются в различных сферах научных коммуникаций (библиотечном деле, лингвистике, наукометрии, инфометрии и т. д.). Во второй половине XX в. было констатировано, что эти закономерности отличаются только сферами использований и следует ставить вопрос о едином типе таких закономерностей. Выявлению этого типа уделили значительное внимание ряд ученых [10–13, 14]. Разнообразие работ свидетельствует, с одной стороны, о наличии феномена самоорганизации научно-коммуникационных явлений и процессов, а с другой – об отсутствии их общепринятой математической модели. Так, в [14] для описания этих процессов введено понятие инвариантов и кратных отношений частей документальных информационных потоков, в [6] – «оптимальное кодирование», в [15] – «принцип дисимметрии». Однако вышеупомянутые нечеткие понятия и термины не объясняли возникновения закономерностей самоорганизации коммуникаций и не способствовали развитию методологии их изучения. Общим подходом к исследованию этих закономерностей в [16] предложено считать методологию прикладной информатики, которая базируется на «степенных распределениях, описываемых законами Лотки, Ципфа или Брэдфорда».

Отдельно следует отметить работу [17], в которой анализировались модели самоподобия и фрактальности информационного пространства. Использование синергетической концепции самоорганизации этого пространства представляется наиболее перспективным направлением для проведения аналитических исследований научно-коммуникационных процессов и явлений.

Количество опубликованных материалов по проблематике рассматриваемых статистических закономерностей достигает нескольких десятков тысяч. Например, система Google Scholar на запрос «Law Bradford» выдает ссылки на более чем 640 тыс. документов, а на запросы «Law Zipf» и «Law Lotka» – соответственно 40 и 30 тыс. документов. Поэтому можно констатировать наличие достаточной источниковой базы для исследования упомянутых закономерностей. Каждая последующая публикация уточняла описание закономерностей, которые носят имена их первооткрывателей.

В [18] проведено эмпирические исследования закономерности А. Лотки для информатики и библиотечного дела. Авторы представляют эту закономерность дискретной функцией распределения вероятностей, которая описывает публикационную активность авторов в данной области следующим образом:

$$f(x) = \frac{C}{x^\alpha}, \quad (1)$$

$f(x)$ – количество авторов, имеющих x публикаций, α и C являются параметрами, которые определяется из эмпирических данных.

В [1] исследовано продуктивность ученых в области физических наук, где значение α оказалось близким к 2. В статье [18], появившейся через 90 лет после публикации [1], показатель α (для информатики и библиотечного дела), определенный с использованием метода наименьших квадратов, равен 2,3758. Авторы констатируют необходимость проведения аналогичных исследований и в других науках. Представляется более целесообразным нахождение единой аналитической зависимости распределения авторов по публикационной активности для всех сфер знаний.

Наиболее существенное развитие идеи Ципфа осуществлено в работе [6], где было переосмыслено и исправлено ее выражение, используя методы теории информации и теории вероятностей для изучения распределения частоты слов. Слова рассматривались как разделенные пробелами буквенные последовательности, которые демонстрировали определенный порядок сравнения письменного языка и кодов с использованием аналогового или цифрового формата выражения. В [6] утверждалось, что все символы имеют определенное значение и могут обеспечить приоритетную возможность для словаря определять минимальное общее среднее значение, в то время как количество информации остается неизменным. Одна из форм закономерности в интерпретации [6] имеет следующий вид:

$$f(p) = \frac{A}{p^\alpha}, \quad p = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где $f(p)$ – функция относительной частоты появления компонентов (разных слов) в упорядоченном по частоте их использования списке), p – относительная частота появления слова, A и α – константы.

Первичная формулировка закономерности Брэдфорда предполагала разделение совокупности журналов, упорядоченных по количеству статей определенной тематики, на три зоны. В [14] это распределение именуется закономерностью концентрации и рассеивания информации. В дальнейшем авторы работ [19–21] доказали, что совокупность журналов можно разделить на большее число зон со степенным распределением количества статей в них. Существенный вклад в развитие концепции Брэдфорда внесено в [22], где обосновано возможность применения этой концепции для распределения различных компонентов: статьи – журналы, авторы – статьи, публикации – запросы, лексические единицы – тексты. На представленном рис. 1 показано распределение количества украинских ученых по значениям их индексов Хирша в системе Scopus (учитывались значения этого индекса в пределах от 1 до 20). Рис. 1 сгенерирован информационно-аналитической системой «Библиометрика украинской науки» [23], созданной с участием авторов статьи.

В проведенном обзоре семейства статистических распределений рассматривается широкий спектр явлений в информационных науках и основные формы, которые принимают эти закономерности. При этом неоднократно высказывалось предположение, что, несмотря на различия в их внешнем виде, эти рас-

пределения являются вариантами одного распределения. Тот факт, что единое распределение должно описывать широкий спектр явлений, часто вне информационной сферы, вызывает удивление. В работе [24] говорится о том, что этому феномену следует искать объяснение исходя не из моделей конкретной предметной области, а основываясь на свойствах единого статистического распределения. В [25] отмечена необходимость определения набора свойств, которыми должны обладать предметные области для выявления единого статистического распределения, которое в этом случае может быть названо законом.

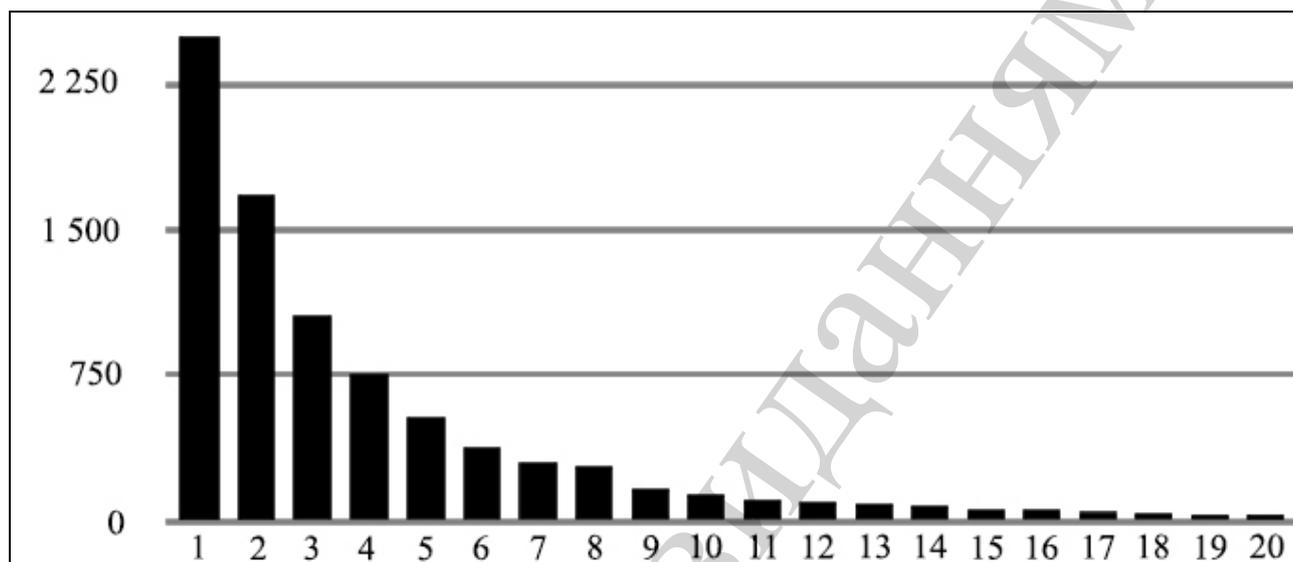


Рис. 1. Распределение украинских ученых по индексу Хирша в системе Scopus: по горизонтали – значения индексов Хирша от 1 до 20, по вертикали – количество ученых, имеющих соответствующий индекс

Дальнейшим развитием указанных концептуальных положений можно считать публикации авторов данной статьи, где в качестве такого свойства рассматривается феномен масштабной инвариантности информационных явлений и процессов в системе научных коммуникаций [26, 27]. В этих публикациях предпринята первая попытка обосновать необходимость и достаточность этого свойства для описания единой аналитической зависимостью всех рассмотренных распределений в системе научных коммуникаций.

Методологической основой исследования является синергетика – междисциплинарное направление, задачей которого является изучение явлений и процессов различной природы на основе принципов самоорганизации. Основы синергетики положены в работе [28].

История синергетики связана с именами многих выдающихся ученых XX в., которые заложили основы нелинейной динамики и качественной теории дифференциальных уравнений. Истоками синергетики следует считать также теоретико-вероятностные методы статистической физики, а именно, методы усреднения и получения конечных уравнений для макрохарактеристик в системах с большим числом частиц. Нелинейные статистические методы и компьютерное моделирование стали основой математических методов синергетики.

В 60-70 годах XX в. в связи с созданием новых поколений мощных компьютеров, развиваются фрактальная геометрия и геометрия самоподобных объектов.

Границы применения синергетики является предметом дискуссии, в том числе, и философской, но только сама практика ее использования сможет эти границы надежно установить. В то же время представляется, что в ближайшие годы синергетика станет не только основой для решения широкого круга междисциплинарных проблем, но и поставщиком новых высоких гуманитарных и интеллектуальных технологий будущего [29].

Предпосылками самоорганизации являются открытость системы и поступление в нее из внешней среды энергии, материи или информации (согласно классической термодинамике энтропия замкнутой среды необратимо возрастает и наступает ее «тепловая смерть»). Из указанных предпосылок следует, что синергетическая концепция системы научных коммуникаций предполагает поступление в нее новой информации и готовность к обусловленным этой информацией трансформационным процессам.

Однако механизм возникновения таких трансформационных процессов в вышеуказанных работах не был определен. Представляется, что причина этого – исследования статистических закономерностей в отдельности для каждой предметной области. Все это позволяет утверждать, что целесообразным является определение единого механизма возникновения семейства закономерностей и математического аппарата для его представления в виде единого закона.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка единой концепции возникновения статистических закономерностей информационных процессов и явлений в среде научных коммуникаций.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- обосновать основополагающий концепт построения единой математической модели научно-коммуникационных явлений и процессов;
- определить математический аппарат для обобщения семейства эмпирических закономерностей научных коммуникаций и их представления в виде одного закона.

4. Синергетическая концепция возникновения закономерностей информационных явлений и процессов в среде научных коммуникаций

Идея, положенная в основу исследования, заключается в следующем. Статистические закономерности Брэдфорда, Лотки, Ципфа является проявлением объективно существующих, но теоретически не обоснованных количественных отношений между субъектами и объектами научных коммуникаций. В качестве последних выступают ученые, публикации, термины и т. д. Как один из примеров проявления такого латентного отношения приведем полученное распределение украинских ученых, цитируемых системой Scopus, по городам [23]. Распределение представлено на рис. 2, который сгенерирован уже упомянутой системой «Библиометрика украинской науки».

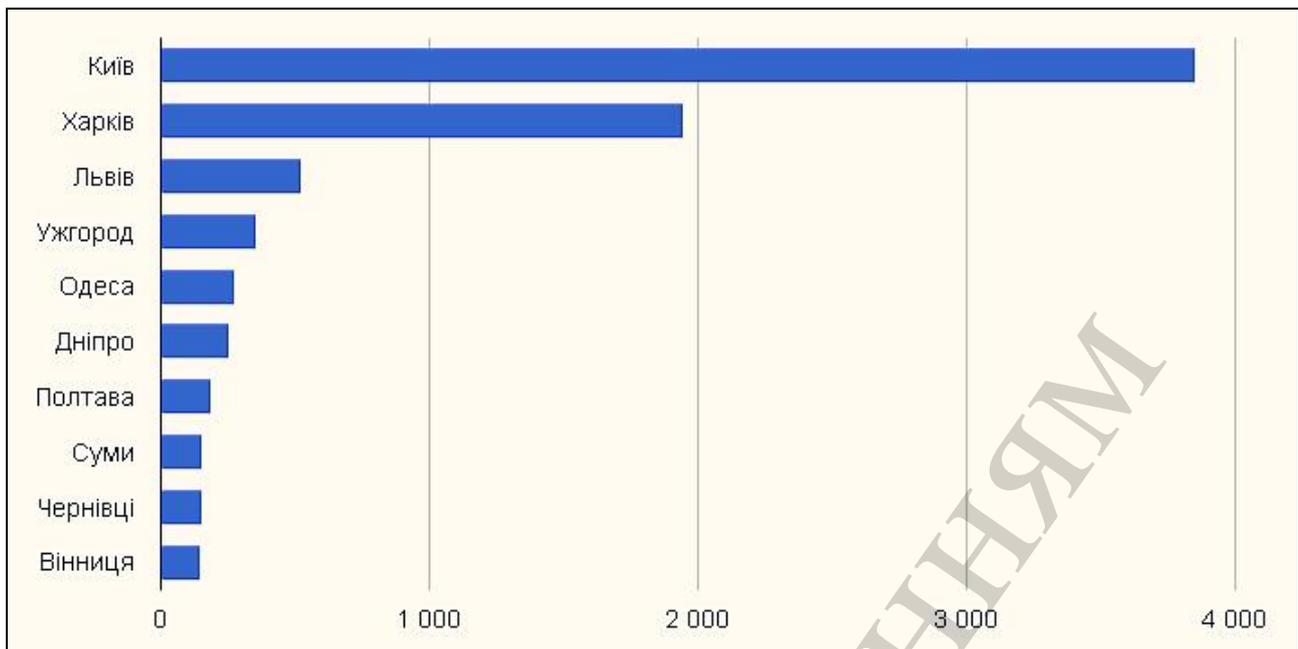


Рис. 2. Распределение по городам украинских ученых, публикации которых цитируются в системе Scopus: по горизонтали – количество ученых, по вертикали – города

Дальнейшее развитие теоретической базы научных коммуникаций требует применения математического аппарата для точного описания семейства упомянутых статистических закономерностей. При определении этого аппарата будем исходить из того, что рассматриваемым закономерностям присуща масштабная инвариантность (самоподобие) информационных процессов и явлений, то есть свойство сохранять форму уравнений при произвольных изменениях масштабов (временных, пространственных и т. д.). Первоначально концепция масштабной инвариантности разрабатывалась в рамках физических теорий и подразумевала свойство неизменности уравнений, описывающих некоторую теорию или процесс, при изменении всех расстояний и промежутков времени в одинаковое число раз. Такие изменения образуют группу масштабных преобразований (называемых также преобразованиями подобия), определяемую следующим законом изменения координат пространства и времени:

$$x \rightarrow \rho x, \quad y \rightarrow \rho y, \quad z \rightarrow \rho z, \quad t \rightarrow \rho t, \quad (3)$$

где $\rho > 0$ – числовой параметр преобразования, который при $\rho > 1$ соответствует однородному растяжению, а при $\rho < 1$ – однородному сжатию пространства-времени в ρ раз [30].

Большую значимость приобрел геометрический аспект масштабной инвариантности – фрактальная геометрия. Применительно к сфере научных коммуникаций вопросы масштабной инвариантности изложены в [31], где констатировано, что самоподобие информационных потоков и процессов проявляется при любых их количественных изменениях. Закономерность Ципфа соблюдается и

для «тонких», и для «толстых» книг, закономерность Бредфорда имеет место для произвольного множества анализируемых периодических изданий. Распределение ученых по публикационной активности (закономерность Лотки) не зависит от объемов их выборки сфер деятельности и географического места работы.

Математическое описание масштабно инвариантных закономерностей требует применения устойчивых законов распределения теории вероятностей. В математическом смысле устойчивость закона распределения – свойство сохранять его тип для любой суммы случайных величин, имеющих это распределение [32]. Математическая абстракция «случайная величина» в научных коммуникациях приобретает четкую конкретику. Для закономерности Бредфорда случайной величиной является количество статей по определенной теме в журнале, для закономерности Лотки – число публикаций конкретного ученого, для закономерности Ципфа – частота использования слова в достаточно длинном тексте. Из такой трактовки случайных величин следует, что закономерности Бредфорда, Лотки и Ципфа, которыми приближенно описываются информационные явления и процессы в различных сферах научных коммуникаций, следует рассматривать как проявление устойчивого закона распределения вероятностей.

5. Обобщение семейства эмпирических закономерностей научных коммуникаций в виде одного закона.

Функция распределения $F(x)$ называется устойчивой, если для любых действительных чисел $a_1 > 0$, $a_2 > 0$, b_1 , b_2 найдутся $a > 0$ и b такие, что имеет место равенство:

$$F(a_1x + b_1) * F(a_2x + b_2) = F(ax + b), \quad (4)$$

где * – операция свертки [32].

Исследование устойчивых законов распределения осуществляется с использованием их характеристических функций, которые представляют один из способов задания распределения. Характеристическая функция устойчивого распределения описывается уравнением:

$$\varphi(t) = \exp \left\{ idt + c|t|^\alpha \left[1 + i\beta \frac{t}{|t|} \omega(t, \alpha) \right] \right\}, \quad (5)$$

где $0 < \alpha \leq 2$, $-1 \leq \beta \leq 1$, $c \geq 0$, d – любое действительное число, и

$$\omega(t, \alpha) = \begin{cases} \operatorname{tg} \frac{\pi\alpha}{2}, & \text{если } \alpha \neq 1, \\ \frac{2}{\pi} \ln|t|, & \text{если } \alpha = 1. \end{cases}$$

Ключевой параметр устойчивых законов распределения α называется параметром устойчивости или характеристическим показателем.

Рассматриваемые распределения в сфере научных коммуникаций исследуются с применением методов математической статистики и средств компьютерной техники. Приведем два вычислительных эксперимента по выявлению вышеуказанного ключевого параметра.

Один из подходов к определению его количественного значения для рассматриваемых закономерностей приведен в [33] на примере анализа закономерности Ципфа. Авторами указанной работы был проведен вычислительный эксперимент с целью выявления вероятности появления в тексте определенных лексических единиц. Установлено, что эта вероятность равна некоторому основанию в степени k , где k – целое число, свое для каждой словарной единицы. Наилучшая аппроксимация распределения компонентов текста (словарных и буквенных единиц) в зависимости от их ранга k достигается при основании, равном константе золотого деления – $0.618\dots$. Значения вероятностей, которые равны этой константе в степени k , образуют базис, в котором определяются вероятности остальных словарных единиц.

Аналогичный результат получен и в [14], где приведены результаты анализа документальных информационных потоков и сформулирован принцип кратных отношений, суть которого заключается в постоянстве отношений частей информационного пространства.

Из теории вероятностей известно, что устойчивые законы распределения в общем случае не описываются элементарными функциями. Исключения составляют нормальный закон распределения (его характеристический показатель равен 2), распределения Коши (характеристический показатель составляет 1) и распределение с характеристическим показателем, равным 0,5 [32]. Поэтому многочисленные попытки получить точную модель исследуемых статистических закономерностей на основе степенных или гиперболических функций не могли иметь успеха.

Таким образом, предложенная синергетическая концепция возникновения статистических закономерностей масштабно инвариантных информационных потоков и процессов в среде научных коммуникаций позволила обобщить эти закономерности как проявление устойчивого закона распределения.

5. Обсуждение результатов исследования самоорганизации научных коммуникаций.

Результат исследования достигнут благодаря методологически обоснованному подходу к исследованию научных коммуникаций – синергетике, которая изучает проблематику самоорганизации моделей и структур в открытых системах, далеких от термодинамического равновесия. Этот подход обеспечил представление объективно существующих, но теоретически не обоснованных соотношений между субъектами и объектами научных коммуникаций в виде устойчивого закона распределения вероятностей.

Предпосылками самоорганизации в научных коммуникациях является масштабная инвариантность имеющихся в них явлений и процессов, то есть отсут-

ствие выделенного характерного и пространственного масштаба. Процессы самоорганизации развиваются вследствие открытости, притока информации извне и нелинейности внутренних процессов. Самоорганизация научных коммуникаций – локальное проявление более общего закона, который распространяется на широкий круг явлений естественно-научного и социального характера.

Существующие альтернативные решения изначально имели аппроксимационный характер и были направлены на поиск решения в одной из сфер научных коммуникаций (наукометрии, лингвистике, библиотечном деле). Отсутствие интегрирующего начала не позволяло получить положительный результат. Преимуществом предложенного подхода является его нацеленность на выявление единого механизма возникновения самоорганизации научных коммуникаций и математического аппарата для его представления. Таким образом, в работе предложен теоретический базис для перехода от аппроксимационных к аналитическим методам исследования самоорганизации научных коммуникаций на основе устойчивых законов распределения случайных величин.

Теоретико-вероятностная модель масштабно инвариантных явлений и процессов в общем случае не может быть представлена элементарными функциями. Многочисленные попытки использования для описания этих процессов вместо концепции масштабной инвариантности нечетких понятий и терминов «предельно гиперболические функции», «ценозы», «принцип дисимметрии» не привели к успеху. По-видимому, этим обусловлено большое количество публикаций по закономерностям Брэдфорда, Лотки и Ципфа, которые носят описательный характер.

Проявление масштабной инвариантности в научных коммуникациях не является уникальным феноменом. Инвариантность присутствует в биологии (распределение биоразнообразия организмов на определенной территории), географии (распределение населенных пунктов по числу жителей), экономике (распределение материальных благ в обществе), архитектуре (геометрические пропорции сооружений) и др. Масштабная инвариантность рассматривается одной из симметрий, которые формируют Вселенную и влияют на ее развитие. Поэтому самоорганизация научных коммуникаций – это локальное проявление более общего закона, который распространяется на широкий круг явлений естественно-научного и социального характера.

Дальнейшее развитие данного исследования целесообразно направить на поиск оптимальной аппроксимации вышеупомянутого устойчивого закона распределения вероятностей. В прикладном аспекте следует обеспечить практическое использование обобщенной математической модели закономерностей научных коммуникаций путем создания специализированной компьютерной программы или табличных форм отражения этих закономерностей.

6. Выводы

1. В качестве основополагающего концепта построения обобщенной математической модели научно-коммуникационных явлений и процессов в различных сферах научных коммуникаций предложено использовать масштабную инвариантность. В математике понятие масштабной инвариантности относится к

инвариантности отдельных функций, в частности распределений вероятностей случайных величин и процессов, по отношению к преобразованию подобия. В научных коммуникациях математическая абстракция «случайная величина» является атрибутом субъектов и объектов этих коммуникаций (учеными, публикациями, терминами).

2. Математическим аппаратом для обобщения семейства эмпирических закономерностей научных коммуникаций и их представления в виде одного закона являются устойчивые законы распределения случайных величин. В общем виде устойчивые законы не описываются элементарными функциями и требуют для оперирования с ними использования характеристических функций.

Ее аналитическое исследование требуют от исследователей высокого уровня математической подготовки, в частности, умения оперировать с характеристическими функциями случайных величин.

Литература

1. Lotka, A. (1926). The frequency distribution of scientific productivity. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 16 (12), 317–323.
2. Zipf, G. (1949). *Human Behavior and the Principle of Least Effort*. Cambridge, Massachusetts: Addison-Wesley, 573.
3. Bradford, S. (1934). Sources of Information on Specific Subjects. *Engineering: An Illustrated Weekly Journal* (London), 85–86.
4. Batcha, S., Sivaraman, P. (2018). Testing of Lotka's law and its suitability to research productivity of Annamalai University, a higher education institution, South India. *Library Philosophy and Practice*, 2197.
5. Sivasamy, K., Vivekanandha, S. (2018). Applicability of Lotka's Law to Pollution Control Research Publications During 2013-2017 Using Scopus Database. *Research Review International Journal of Multidisciplinary*, 3 (11), 154–161.
6. Мандельброт, Б. (1973). Теория информации и психолингвистическая теория частот слов. *Математические методы в социальных науках*. М.: Прогресс, 316–337.
7. Ausloos, M. (2014). Zipf–Mandelbrot–Pareto model for co-authorship popularity. *Scientometrics*, 101 (3), 1565–1586. doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-014-1302-y>
8. Alvarado, R. U. (2016). Growth of Literature on Bradford's Law. *Investigación Bibliotecológica: Archivonomía, Bibliotecología e Información*, 30 (68), 51–72. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ibbai.2016.06.003>
9. Campanario, J. M. (2015). Providing impact: The distribution of JCR journals according to references they contribute to the 2-year and 5-year journal impact factors. *Journal of Informetrics*, 9 (2), 398–407. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2015.01.005>
10. Hugar, J. G., Bachlapur, M. M., Anandhalli, G. (2019). Research contribution of bibliometric studies as reflected in web of science from 2013 to 2017. *Library Philosophy and Practice*, 2319.

11. Bigdeli, Z., Gazni, A. (2012). Authors' sources of information: a new dimension in information scattering. *Scientometrics*, 92 (3), 505–521. doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0609-1>
12. Arsenova, I. (2013). New Application of Bibliometrics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 73, 678–682. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.02.105>
13. Lin, S.-C. (2011). Application of Bradford's law and Lotka's law to web metrics study on the Wiki website. *Journal of Educational Media & Library Sciences*, 48 (3), 325–346.
14. Горькова, В. И. (1988). Информетрия (количественные методы в научно-технической информации). *Итоги науки и техники. Сер. Информатика*. Т. 10. М.: ВИНТИ, 328.
15. Шрейдер, Ю. А. (1996). Ранговые распределения как системное свойство. Математическое описание ценозов и закономерности техники. *Философия и становление техники. Ценологические исследования*, 1-2, 33–42.
16. Schaer, P. (2013). Applied informetrics for digital libraries: An overview of foundations, problems and current approaches. *Historical Social Research*, 38 (3), 267–281.
17. Большакова, Е. И., Клышинский, Э. С., Ландэ, Д. В. и др. (2011). Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика. М.: МИЭМ, 272.
18. Maz-Machado, A., Madrid, M.-J., Jimenez-Fanjul, N., Leon-Mantero, C. (2017). Empirical Examination of Lotka's Law for Information Science and Library Science. *Pakistan Journal of Information Management & Libraries*, 19, 37–51.
19. Vickery, B. C. (1948). Bradford's Law of Scattering. *Journal of Documentation*, 4 (3), 198–203. doi: <https://doi.org/10.1108/eb026133>
20. Egghe, L., Rousseau, R. (2019). Measures of linear type lead to a characterization of Zipf functions. *Scientometrics*, 121 (3), 1707–1715. doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03257-y>
21. Rousseau, R., Zhang, X. (2019). Reflections on Tools and Methods for Differentiated Assessments of Individual Scientists, Groups of Scientists and Scientific Journals. *Journal of Data and Information Science*, 4 (3), 1–5. doi: <https://doi.org/10.2478/jdis-2019-0011>
22. Leimkuhler, F. F. (1967). The Bradford Distribution. *Journal of Documentation*, 23 (3), 197–207. doi: <https://doi.org/10.1108/eb026430>
23. Бібліометрика української науки. URL: <http://www.nbuviap.gov.ua/bpnu/>
24. Bookstein, A. (1990). Informetric distributions, part I: Unified overview. *Journal of the American Society for Information Science*, 41 (5), 368–375. doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4571\(199007\)41:5<368::aid-asi8>3.0.co;2-c](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4571(199007)41:5<368::aid-asi8>3.0.co;2-c)
25. Bookstein, A. (1990). Informetric distributions, part II: Resilience to ambiguity. *Journal of the American Society for Information Science*, 41 (5), 376–386. doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-4571\(199007\)41:5<376::aid-asi9>3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-4571(199007)41:5<376::aid-asi9>3.0.co;2-e)
26. Костенко, Л. (2017). Закономірності соціальних комунікацій. *Вісник Книжкової палати*, 11, 12–15.

27. Симоненко, Т. В. (2017). Библиометрия в развитии коммуникаций международной ассоциации академий наук. Библиотеки национальных академий наук: проблемы функционирования, тенденции развития, 14, 27–33.
28. Хакен, Г. (1980). Синергетика. М.: Мир, 406.
29. Буданов, В. Г. (2009). Методология синергетики в постнеклассической науке и в образовании. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 240.
30. Прохоров, А. М. и др. (Ред.) (1992). Физическая энциклопедия. Т. 3. Магнитоплазменный – Пойнтинга теорема. Москва, 672.
31. Ландэ, Д. В., Фурашев, В. Н., Брайчевский, С. М., Григорьев, А. Н. (2006). Основы моделирования и оценки электронных информационных потоков. К.: Инжиниринг, 176.
32. Королюк, В. С., Портенко, Н. И., Скороход, В. А., Турбин, А. Ф. (1985). Справочник по теории вероятностей и математической статистике. М.: Наука, 640.
33. Ломакин, Д. В., Панкратова, А. З., Суркова, А. С. (2011). Золотая пропорция как инвариант структуры текста. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского, 4 (1), 196–199.