

DOI 10.54596/2958-0048-2025-1-215-224

УДК 004.5

МРНТИ 34.35.25

НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФОЦЕНОЗА В СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: ПРИМЕНЕНИЕ РАНГОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Вагина О.А.¹, Куликов В.П.¹, Куликова В.П.^{1*}

¹*НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева»,
Петропавловск, Казахстан*

**Автор для корреспонденции: valentina@ku.edu.kz*

Аннотация

Статья представляет результаты первичного исследования применения ценологического подхода к анализу социотехнических систем, с акцентом на их устойчивость, динамику и оптимизацию взаимодействий между компонентами. В работе рассматривается использование моделей ранговых распределений для исследования информационных систем, их адаптивности в условиях изменений и воздействия внешних факторов. Результаты данного исследования открывают новые перспективы для дальнейшего углубленного изучения социотехнических систем, а также разработки оптимизационных моделей и методов в управлении информационными системами.

Ключевые слова: социотехнические системы, ценологический подход, информационные системы, ранговые распределения, адаптивность систем, оптимизация, устойчивость.

ӘЛЕУМЕТТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ ИНФОЦЕНОЗДЫ ЗЕРТТЕУДІҢ БАСТАПҚЫ КЕЗЕҢДЕРІ: РАНГТЫҚ ТАРАЛУЛАРДЫ ҚОЛДАНУ

Вагина О.А.¹, Куликов В.П.¹, Куликова В.П.^{1*}

¹*«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ,
Петропавл, Қазақстан*

**Хат-хабар үшін автор: valentina@ku.edu.kz*

Аннотация

Мақалада компоненттердің өзара әрекеттесуін тұрақтылық, динамика және оңтайландыруға назар аударып, социотехникалық жүйелерді талдауда ценологиялық тәсілді қолданудың бастапқы зерттеу нәтижелері ұсынылады. Зерттеуде акпараттық жүйелерді, олардың өзгермелі жағдайларға бейімділігін және сыртқы факторлардың әсерін зерттеу үшін ранговое бөлу модельдерін қолдану қарастырылады. Бұл зерттеудің нәтижелері социотехникалық жүйелерді тереңірек зерттеу және акпараттық жүйелерді басқаруда оңтайландыру модельдері мен әдістерін әзірлеу үшін жаңа мүмкіндіктер ашады.

Кілт сөздер: социотехникалық жүйелер, ценологиялық тәсіл, акпараттық жүйелер, ранговое бөлу, жүйенің бейімділігі, оңтайландыру, тұрақтылық.

INITIAL STAGES OF RESEARCH ON INFOCENOSIS IN SOCIOTECHNICAL
SYSTEMS: APPLICATION OF RANK DISTRIBUTIONSVagina O.A.¹, Kulikov V.P.¹, Kulikova V.P.^{1*}^{1*}«Manash Kozybayev North Kazakhstan University» NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*Corresponding author: valentina@ku.edu.kz

Abstract

The article presents the results of a preliminary study on the application of the cenological approach to the analysis of sociotechnical systems, with a focus on their stability, dynamics, and the optimization of interactions between components. The study examines the use of rank distribution models to explore information systems, their adaptability to changing conditions, and the impact of external factors. The results of this research open new perspectives for further in-depth study of sociotechnical systems and the development of optimization models and methods for managing information systems.

Keywords: sociotechnical systems, cenological approach, information systems, rank distributions, system adaptability, optimization, stability.

Введение

В современном мире социальные и технологические аспекты жизни неразрывно связаны, и взаимовлияние между ними обуславливает новые междисциплинарные подходы к исследованию, анализу и управлению современными информационными системами (ИС).

ИС представляют собой социотехнические системы, которые включают:

– элементы техноценоза – совокупность технических компонентов, отвечающих за технологическую основу, обеспечивающую сбор, хранение, обработку и передачу данных;

– элементы социоценоза – совокупность взаимодействий людей и групп, которые используют и управляют системой, определяя цели, задачи и правила ее использования.

Интеграция этих двух аспектов делает ИС уникальной системой, в которой технологии и социальные факторы работают в едином контексте для достижения общих целей.

Цель данной работы – изучить возможность применения ценологической теории (с точки зрения математического аппарата – рангового анализа), применяемой в технике для исследования и оптимизации техноценозов, к анализу социотехнической системы – ИС.

Сущность ценологического подхода заключается в построении ранговых гиперболических распределений (Н-распределений) и их использовании для оптимизации ценоза [9, 10, 14, 19]. Теория техноценологических методов была разработана Б.И. Кудриным, который адаптировал понятие ценоза и законы его развития из биологии в технические системы [3, 4]. Применение гиперболического закона рангового Н-распределения активно проверяет Р.В. Гурина в контексте педагогических образовательных систем [5-7].

Основные понятия технологического подхода таковы:

✓ техноценоз – ограниченная во времени и пространстве взаимосвязанная совокупность технических изделий (особей), связанных слабыми связями;

✓ особь – отдельное техническое изделие, функционирующее в рамках своего жизненного цикла;

✓ вид – структурная единица, которая объединяет изделия с общими характеристиками, выполненные по единой конструкторско-технологической документации.

Эти понятия *техноценоза* естественным образом расширяются в более широкий социальный контекст, образуя *социоценоз* – совокупность социальных элементов (людей, социальных групп и институтов). Реалии современности диктуют необходимость дополнить эту концепцию понятием *инфоценоза*. Инфоценоз (информационный ценоз) можно определить как «систему документов и программных средств, описываемую с помощью рангового или видового распределения, совокупность информационных ресурсов и программ, совместно наполняющих изолированное или ограниченное информационное пространство, например, корпоративные сети и системы, отображая всю диверсификацию (разнообразие) этой совокупности» [18]. Исследования в данной области активно проводятся и уже имеют результаты [11, 12]. Понятие информационного ценоза особенно актуально в исследованиях информационных экосистем, таких как корпоративные сети, системы управления знаниями, большие данные и цифровые платформы, где объекты информации можно рассматривать как особи, а группы данных – как виды, имеющие общие характеристики и роли в системе.

Основная часть

В данной работе использована модель Кудрина гиперболического рангового H -распределения по параметру, где элементы-особи ранжируются по убыванию параметра g :

$$U(r) = B/r^\beta$$

где: $U(r)$ – число одного r -вида особей;

B – коэффициент аппроксимации;

β – ранго-видовой коэффициент.

Согласно универсальности математического языка, схема исследования остается неизменной вне зависимости от типа ценоза [3]:

1. Информационный этап.

- ✓ Выявление ценоза.
- ✓ Определение перечня видов в ценозе.
- ✓ Указание видообразующих параметров.
- ✓ Параметрическое описание ценоза.

2. Реализация.

- ✓ Построение рангового видового распределения:

- *реальное* распределение:

- табулированное;
- графическое (дискретное, непрерывная линия схематична);

- *теоретическое* распределение:

- аналитическое (аппроксимация $U(r) = B/r^\beta$);
- графическое (изображение гиперболы).

✓ Построение ранговых параметрических распределений (по аналогии с видовым).

- ✓ Построение видового распределения.

В рамках данного исследования были проанализированы данные одной из страховых компаний РК по объемам выполненных работ в абсолютном денежном выражении, распределенные по 11 рангам в определенных диапазонах. Для каждого

элемента социотехнической системы было подсчитано количество вхождений данных в эти диапазоны, что позволило получить достаточно информативное представление о распределении значений [8].

Исходные данные разного масштаба и размерности, поэтому в некоторых случаях ранги оказались полностью заполненными, тогда как в других наблюдались пропуски в отдельных диапазонах. Наибольшее количество заполненных значений было зафиксировано для рангов 10 и 11, что указывает на особенности распределения изучаемых величин.

Для корректного анализа и интерпретации данных проведена нормализация значений, т.е. преобразование исходных значений так, чтобы они соответствовали заданным критериям нормализации. Основной принцип – это приведение распределений к единой шкале, что позволяет устранить различия в размерности данных и обеспечить их сопоставимость. В частности, выполнена нормализация частотных характеристик для всех рангов, что способствовало сглаживанию различий в заполненности и исключению крайних значений, которые могли бы исказить общую картину распределения.

Примененная формула нормализации выглядит следующим образом:

$$x_{i\text{норм}} = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i};$$

где: $x_{i\text{норм}}$ – нормализованное значение,

x_i – исходное значение,

$\sum_{i=1}^n x_i$ – сумма всех значений параметра.

Эта нормализация приводит и обеспечивает единичную сумму всех значений параметра, а весь набор значений оказывается в диапазоне [0;1].

Такой подход позволил создать условия для корректного статистического анализа и выявления закономерностей в структуре рангового распределения, а также обеспечить сопоставимость результатов при сравнении различных наборов данных.

Научные исследования в области машинного обучения, в статистике и эконометрике, интерпретируемости данных и исключении выбросов подтверждают, что нормализация данных повышает точность и корректность анализа [1, 13, 20-24]. Приведение значений к единой шкале устраняет различия в размерностях и масштабах параметров, что упрощает их сравнение и делает выводы более обоснованными. Нормализованные данные снижают влияние выбросов и экстремальных значений, позволяя выявить ключевые закономерности и тренды без искажений. Это также улучшает интерпретацию результатов, так как данные становятся более сопоставимыми и наглядными, что облегчает обнаружение взаимосвязей и структур в исследуемых наборах данных. Таким образом, нормализация играет важную роль в обеспечении достоверности и точности выводов.

После нормализации построены графики, иллюстрирующие распределение значений как для отдельных представителей системы, так и для системы в целом (рисунок 1 а)).

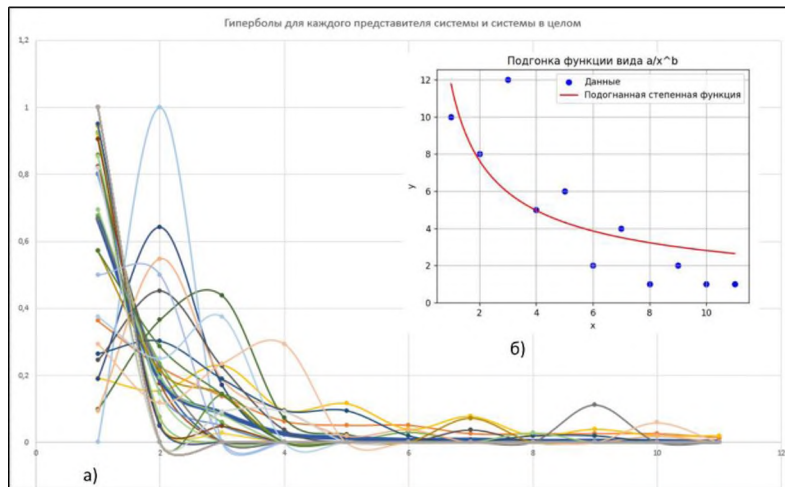


Рисунок 1. Графики распределения значений по рангам

Графическое представление данных «показало» гиперболическую форму распределения, что является типичным для законов, описывающих ранговые распределения, таких как закон Парето или закон Ципфа. Эти законы характеризуются асимметричностью и концентрацией значений в верхней части ранговой шкалы. Гиперболическая форма описана формулой Н-распределения Кудрина $U(r) = B/r^\beta$ (фрагмент на рисунке 1 б)).

Подобные законы часто объясняются ограничениями ресурсов или доступности возможностей в системе, что приводит к концентрации влияния в руках немногих элементов. Для более детального анализа зависимости применили методику линеаризации нелинейной функции и метод наименьших квадратов (МНК) для оценки параметров линейной модели [4, 15-17].

Линеаризация $U(r) = B/r^\beta$ за счет логарифмического преобразования $y_x = \ln U$, $a_0 = \ln B$ и $x = \ln r$, а также заменой переменной $a_1 = -\beta$ свела задачу параметризации гиперболы $U(r) = B/r^\beta$ к нахождению параметров функции $y_x = a_0 + a_1 x$.

Критерий МНК наилучших значений $\mathbf{a} = (a_0, \dots, a_k)$ – сумма квадратов отклонений минимальна: $F(\mathbf{a}) = \sum_{i=0}^n (y_i - y_x(x_i, \mathbf{a}))^2 = \min$. Согласно аппарату математического анализа, частные производные функции $F(\mathbf{a})$ по варьируемым параметрам $\mathbf{a} = (a_0, \dots, a_k)$ таковы:

$$\frac{\partial F}{\partial a_i} = -2 \sum_{i=0}^n (y_i - y_x(x_i, \mathbf{a})) \cdot \frac{\partial y_x(x_i, \mathbf{a})}{\partial a_i}, \quad i = \overline{0; k}$$

В силу необходимого условия экстремума функции нескольких переменных получим следующую систему *нормальных уравнений*:

$$\sum_{i=0}^n (y_i - y_x(x_i, \mathbf{a})) \cdot \frac{\partial y_x(x_i, \mathbf{a})}{\partial a_i} = 0, \quad i = \overline{0; k},$$

решение которой относительно $\mathbf{a} = (a_0, \dots, a_k)$ дает искомые наилучшие значения числовых параметров.

В нашем случае процедура «наилучшей» аппроксимации набора наблюдений $(x_i; y_i)$ линейной функцией $y_x = a_0 + a_1 x$ в смысле минимизации функционала следующая:

$$F = \sum_{i=0}^n e_i^2 = \sum_{i=0}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 \quad \text{откуда}$$

$$\frac{\partial F}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=0}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)$$

$$\frac{\partial F}{\partial a_1} = -2 \sum_{i=0}^n x_i (y_i - a_0 - a_1 x_i)$$

необходимое условие минимума $\begin{cases} \sum_{i=0}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i) = 0 \\ \sum_{i=0}^n x_i (y_i - a_0 - a_1 x_i) = 0 \end{cases}$

имеем решение (суммирование производится по всем уровням ряда значений $i = \overline{0; n}$):

$$a_1 = \frac{\sum x_i y_i - [(\sum x_i)(\sum y_i)]/n}{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2/n} \quad \text{и} \quad a_0 = \frac{\sum y_i}{n} - a_1 \cdot \frac{\sum x_i}{n}$$

В данном исследовании расчеты были выполнены в среде Python с использованием специализированных библиотек, обеспечивающих необходимый функционал для линеаризации и аппроксимации функций.

Для минимизации влияния нулевых значений исходных данных принято решение объединить их с близкими по значению данными, что обеспечило максимальную согласованность коэффициентов с общими характеристиками социотехнической системы.

Один из методов анализа рангового распределения заключается в переборе различных параметров данных, чтобы определить условия, при которых график распределения приобретает гиперболическую форму. На этом этапе необработанные данные могут демонстрировать случайные или хаотичные структуры, которые на графике выглядят как ломаные линии или искажения, не напоминающие гиперболу. Это может свидетельствовать о том, что система еще не установилась и данные пока не демонстрируют устойчивых закономерностей.

В процессе анализа был проведен перебор возможных комбинаций, что позволило выявить параметры, при которых данные начинают проявлять признаки организованной системы. Подбор комбинаций осуществлялся с учетом последнего внесенного изменения, что обеспечивало адаптивную корректировку параметров распределения. Для каждого нового элемента вычислялась соответствующая суммарная величина, которая использовалась для обновления общей структуры данных. Таким образом, после включения нового элемента производился пересчет параметров распределения, что позволяло учитывать динамическое влияние нового элемента на систему. Это создало условия для последовательного подбора параметров, где каждый шаг анализа опирался на результаты предыдущего с учетом обновленных характеристик системы. Такой

итеративный подход способствовал формированию более точной модели рангового распределения и выявлению устойчивых закономерностей.

В ходе исследования были выявлены случаи, когда отдельные элементы системы объединялись в небольшие группы (2-3 элемента), коэффициенты которых близки к характеристикам всей системы. Также были обнаружены две крупные группы, содержащие значительно большее количество элементов. Это свидетельствует о неоднородной структуре данных, где основная часть информации сосредоточена в этих крупных группах.

Основная цель анализа – выявление параметров β , при которых распределение данных начинает демонстрировать гиперболическую форму вида $U(r) = B/r^\beta$. Этот момент можно считать индикатором того, что «данные перешли» в системное состояние и начали проявлять закономерности. Согласно [4], техноценоз устойчив при $0,5 \leq \beta \leq 1,5$. При этом идеальный, несуществующий ценоз с $\beta=1$ выполняет роль эталонного индикатора для оптимизации ценозов. Отметим, что пределы параметра β могут отличаться для разных организаций с учетом специфики функционирования. Для страховых компаний РК это вопрос еще дискуссионен и находится в стадии исследования.

Итак, МНК-оценки обеспечивают построение прямых $y_x = a_0 + a_1x$ (Н-распределений Кудрина $U(r) = B/r^\beta$ в логарифмическом пространстве [15-17]), что упрощает анализ данных и выявление скрытых зависимостей. Переход от нелинейного представления к линейному является оправданным, поскольку линейные графики нагляднее демонстрируют взаимосвязи между переменными и позволяют легче интерпретировать результаты.

На рисунке 2 визуализирована кластеризация данных, при которой они приближаются к системному поведению, обозначенному пунктирной линией. После построения линейных моделей были обнаружены линии, отклоняющиеся от общего тренда. Для повышения точности и уменьшения разброса данные, соответствующие этим линиям, были объединены, что способствовало формированию кластеров и более точному отражению структуры данных. Изначально данные состояли из 27 элементов с разбросом значений от 3 до 15. После оптимизации коэффициентов и анализа комбинаций количество групп удалось сократить до 14, что лучше отражает структуру данных (см. рисунок 2 а)-в)).

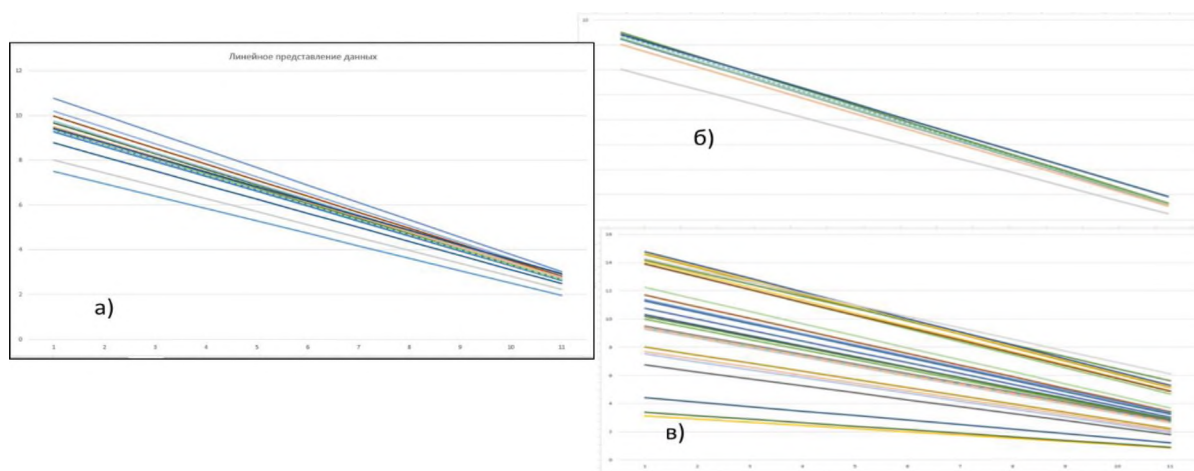


Рисунок 2. Линейное представление данных.

На рисунке 2 а) видно, что данные отдельных элементов системы приближаются к пунктирной линии, соответствующей распределению всей системы. На данном этапе график хорошо описывает поведение системы: разброс значений значительно сократился и составляет диапазон от 7,5 до 10,7.

В ходе анализа были выявлены отдельные элементы, которые естественным образом вписываются в систему, без необходимости формирования комбинаций. В то же время, в некоторых случаях требовалось создание комбинаций с подбором оптимальных коэффициентов B и β , что позволило достичь более точного соответствия характеристикам системы.

В ряде случаев удалось сгруппировать данные в пять групп с разбросом значений от 8,7 до 9,4. При этом были выявлены отдельные элементы, чьи коэффициенты совпадают с коэффициентами всей системы, что подчеркивает их интегративную роль и значимость в общей структуре распределения.

Также были выделены три группы, значительно напоминающие поведение системы в целом, что указывает на наличие устойчивых закономерностей в данных. Образование таких групп может свидетельствовать о структурной организации системы, где определенные элементы обладают схожими характеристиками и вносят аналогичный вклад в общую динамику.

Таким образом, несмотря на изначально широкий разброс значений, данные демонстрируют скрытые связи и закономерности, позволяющие выделить устойчивые подгруппы. Эти подгруппы могут быть использованы для дальнейшего анализа и моделирования динамики взаимодействий в системе.

Выводы

Исследование рангового распределения в современном контексте, где социальные и технологические аспекты жизни становятся все более взаимосвязанными, подтверждает свою актуальность и многогранность. Ранговое распределение представляет собой мощный инструмент для анализа значимости и количественных характеристик элементов в различных системах, позволяя выявлять сложные взаимосвязи и динамику взаимодействий. Наличие групп, схожих с общей системой, указывает на устойчивость определенных характеристик и их значимость в динамике всей системы. Это открывает возможности для дальнейшего исследования влияния отдельных элементов на общие показатели и поведение системы.

Исследование рангового распределения в контексте социотехнических систем (социоценоз, инфоценоз) подтверждает существование скрытых закономерностей и структур, подчеркивая важность комплексного подхода к анализу данных. В условиях быстроменяющегося мира способность выявлять и понимать эти закономерности становится ключевым фактором для успешного управления и прогнозирования в различных областях – от экономики до социальной динамики.

Таким образом, исследование подтвердило, что использование гиперболических распределений и нормализация данных играют важную роль в анализе социотехнических систем. Эти методы не только повышают точность анализа, но и позволяют выявить основные закономерности, определяющие поведение системы.

Литература:

1. Акулин В.М. Машинное обучение: Методы и алгоритмы. - СПб.: Питер, 2018.

2. Буховец А.Г. Системный подход и ранговые распределения в задачах классификации. [Электронный ресурс]. URL: [15](#) (дата обращения: 07.11.2024).
3. Гнатюк В.И. Ранговый анализ техноценозов. // Электрика. - 2001. - №8. - С. 14-22.
4. Гнатюк В.И. Технология рангового анализа техноценозов. [Электронный ресурс]. URL: http://elib.spbstu.ru/dl/func/lex_5.htm (дата обращения: 07.11.2024).
5. Гурина Р.В. Ценологические методы в образовательных системах // Ползуновский вестник. - 2004. - №3. - С. 133-138.
6. Гурина Р.В. Ранговый анализ педагогических систем (ценологический подход): Методические рекомендации для работников образования. Вып. 32. «Ценологические исследования». - М.: Технетика, 2006. - 40 с.
7. Гурина Р.В. Ценологические исследования педагогических образовательных систем. [Электронный ресурс]. URL: <http://kudrinbi.ru> (дата обращения: 07.11.2024).
8. Дорофеев В.А., Асынова Н.К. К вопросу о применимости параметрического рангового распределения в изучении малых групп в организации. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-primenimosti-parametricheskogo-rangovogo-raspredeleniya-v-izuchenii-malyh-grupp-v-organizatsii> (дата обращения: 07.11.2024).
9. Кудрин Б.И. Введение в технетику. 2-е изд., перераб. и доп. - Томск: Изд. Томск. гос. ун-та, 1993. - 552 с.
10. Кудрин Б.И., Жилин Б.В., Лагуткин О.Е., Ошурков М.Г. Ценологическое определение параметров электропотребления многономенклатурных производств. - Тула: Приок. кн. изд-во, 1994. - 161 с.
11. Куликов В.П., Куликова В.П. Устойчивость процесса/результата обучения как концептуальное ядро его оформления и документирования // Современные тенденции естественно-математического образования: школа – вуз. Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции, 8–9 апреля 2022 г. - Соликамск: СГПИ; ООО «Типограф», 2022. - 103 с.
12. Леонов В.П. Современные проблемы информатики. Введение в семиотику информационных технологий: учебное пособие. - Томск: Изд-во НТЛ, 2011. - 248 с.
13. Лукашевич Н.В. Математическая статистика для экономистов. - М.: Юрайт, 2012.
14. Математическое описание ценозов и закономерности технетики. Философия и становление технетики. Вып. 1, вып. 2. «Ценологические исследования». - Абакан: Центр системных исследований, 1996. - 452 с.
15. Метод наименьших квадратов – безошибочно и быстро! [Электронный ресурс]. URL: https://mathprofi.ru/metod_naimenshih_kvadratov_bez_oshibok.html (дата обращения: 07.11.2024).
16. Метод наименьших квадратов: методические указания / сост.: Л.В. Коломиец, Н.Ю. Поникарова. - Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2017. - 32 с.
17. Метод наименьших квадратов: формулы, код и применение. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/409201> (дата обращения: 07.11.2024).
18. Онтология моделирования и проектирования семантических информационных систем и порталов (Справочное пособие) / сост. Ильин И.В., Мордвинов В.А., Петров К.А., Трифонов Н.И., Финагин Л.А. - М.: Институт системного анализа, 2008.
19. Рябко Б.Я., Кудрин Б.И., Завалишин Н.Н., Кудрин А.И. Модель формирования статистической структуры биоценозов. // Известия Сиб. отделения АН СССР. Серия биол. наук. - 1978. - Вып. 1. - С. 17-25.
20. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. Deep Learning. - MIT Press, 2016.
21. Han, J., Pei, J., & Kamber, M. Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann, 2011.
22. Kuhn, M., & Johnson, K. Applied Predictive Modeling. - Springer, 2013.
23. LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. Gradient-based learning applied to document recognition. // Proceedings of the IEEE. - 1998. - Vol. 86. - No. 11. - P. 2278–2324.
24. Wooldridge, J. M. Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data. - MIT Press, 2010.

References:

1. Akulin V.M. Mashinnoe obuchenie: Metody i algoritmy. - SPb.: Piter, 2018.
2. Buhovec A.G. Sistemnyj podhod i rangovye raspredeleniya v zadachah klassifikacii. [Elektronnyj resurs]. URL: [15](#) (data obrashcheniya: 07.11.2024).
3. Gnatyuk V.I. Rangovyj analiz tekhnocenzov. // Elektriika. - 2001. - №8. - S. 14-22.
4. Gnatyuk V.I. Tekhnologiya rangovogo analiza tekhnocenzov. [Elektronnyj resurs]. URL: http://elib.spbstu.ru/dl/func/lex_5.htm (data obrashcheniya: 07.11.2024).

5. Gurina R.V. Cenologicheskie metody v obrazovatel'nyh sistemah // Polzunovskij vestnik. - 2004. - №3. - S. 133-138.
6. Gurina R.V. Rangovyy analiz pedagogicheskikh sistem (cenologicheskij podhod): Metodicheskie rekomendacii dlya rabotnikov obrazovaniya. Vyp. 32. «Cenologicheskie issledovaniya». - M.: Tekhnika, 2006. - 40 s.
7. Gurina R.V. Cenologicheskie issledovaniya pedagogicheskikh obrazovatel'nyh sistem. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://kudrinbi.ru> (data obrashcheniya: 07.11.2024).
8. Dorofeev V.A., As'yanova N.K. K voprosu o primenimosti parametricheskogo rangovogo raspredeleniya v izuchenii malyh grupp v organizacii. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-primenimosti-parametricheskogo-rangovogo-raspredeleniya-v-izuchenii-malyh-grupp-v-organizatsii> (data obrashcheniya: 07.11.2024).
9. Kudrin B.I. Vvedenie v tekhniku. 2-e izd., pererab. i dop. - Tomsk: Izd. Tomsk. gos. un-ta, 1993. - 552 s.
10. Kudrin B.I., Zhilin B.V., Lagutkin O.E., Oshurkov M.G. Cenologicheskoe opredelenie parametrov elektropotrebleniya mnogonomenklaturnykh proizvodstv. - Tula: Priok. kn. izd-vo, 1994. - 161 s.
11. Kulikov V.P., Kulikova V.P. Ustoichivost' processa/rezul'tata obucheniya kak konceptual'noe yadro ego oformleniya i dokumentirovaniya // Sovremennye tendencii estestvenno-matematicheskogo obrazovaniya: shkola – vuz. Materialy XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 8–9 aprelya 2022 g. - Solikamsk: SGPI; ООО «Tipograf», 2022. - 103 s.
12. Leonov V.P. Sovremennye problemy informatiki. Vvedenie v semiotiku informacionnyh tekhnologij: uchebnoe posobie. - Tomsk: Izd-vo NTL, 2011. - 248 s.
13. Lukashevich N.V. Matematicheskaya statistika dlya ekonomistov. - M.: Yurajt, 2012.
14. Matematicheskoe opisanie cenzov i zakonomernosti tekhniki. Filosofiya i stanovlenie tekhniki. Vyp. 1, vyp. 2. «Cenologicheskie issledovaniya». - Abakan: Centr sistemnyh issledovaniy, 1996. - 452 s.
15. Metod naimen'shih kvadratov – bezoshibchno i bystro! [Elektronnyj resurs]. URL: https://mathprofi.ru/metod_naimenshih_kvadratov_bez_oshibok.html (data obrashcheniya: 07.11.2024).
16. Metod naimen'shih kvadratov: metodicheskie ukazaniya / sost.: L.V. Kolomic, N.Yu. Ponikarova. - Samara: Izd-vo Samarskogo un-ta, 2017. - 32 s.
17. Metod naimen'shih kvadratov: formuly, kod i primenenie. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://habr.com/ru/post/409201> (data obrashcheniya: 07.11.2024).
18. Ontologiya modelirovaniya i proektirovaniya semanticheskikh informacionnyh sistem i portalov (Spravochnoe posobie) / sost. Il'in I.V., Mordvinov V.A., Petrov K.A., Trifonov N.I., Finagin L.A. - M.: Institut sistemnogo analiza, 2008.
19. Ryabko B.Ya., Kudrin B.I., Zavalishin N.N., Kudrin A.I. Model' formirovaniya statisticheskoy struktury biocenozov. // Izvestiya Sib. otdeleniya AN SSSR. Seriya biol. nauk. - 1978. - Vyp. 1. - S. 17-25.
20. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. Deep Learning. - MIT Press, 2016.
21. Han, J., Pei, J., & Kamber, M. Data Mining: Concepts and Techniques. - Morgan Kaufmann, 2011.
22. Kuhn, M., & Johnson, K. Applied Predictive Modeling. - Springer, 2013.
23. LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. Gradient-based learning applied to document recognition. // Proceedings of the IEEE. - 1998. - Vol. 86. - No. 11. - P. 2278–2324.
24. Wooldridge, J. M. Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data. - MIT Press, 2010.

Information about the authors:

Vagina O.A. – Master's student in Information Systems, Kozybayev University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: is3404@ku.edu.kz;

Kulikov V.P. – Professor, "Information and Communication Technologies" chair, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, Kozybayev University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: qwertyrant@ku.edu.kz;

Kulikova V.P. – corresponding author, Professor "Information and Communication Technologies", candidate of technical sciences, associate professor, Kozybayev University, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: v4lentina@mail.ru.