

УДК 51-7

UDC 51-7

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы экономики (экономические науки)

5.2.2. Mathematical, Statistical and Instrumental Methods of Economics (Economic Sciences)

ПОСТРОЕНИЕ КОРНЕЙ И ДЕРЕВЬЕВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ ФУНКЦИИ, НАЙДЕННОЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕРВАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ¹

DECISIONS' ROOTS AND TREES DESIGN FOR GRAPHICAL REPRESENTATION OF A DISCRETE FUNCTION FOUND BASED ON INTERVAL CODING OF STATISTICAL INDICATORS

Алексеев Александр Олегович
канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры «Экономика и финансы» ПНИПУ, доцент кафедры «Информационные технологии в бизнесе» НИУ ВШЭ – Пермь, директор ПЦППР
РИНЦ SPIN-код: 3350-9048
Scopus ID: 55972134400
Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермский филиал Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Пермский центр поддержки принятия решений, Пермь, Россия

Alekseev Aleksandr Olegovich
Candidate of economical sciences, Ass. professor, Ass. Professor of the Department «Economics and Finance» at the PNRPU, Ass. Professor of the Department “Informational Technologies in Business” at the Perm branch of the HSE University, CEO at the PDMSC
RSCI SPIN - code: 3350-9048
Scopus ID: 55972134400
Perm National Research Polytechnical University, Perm branch of the Higher School of Economics, Perm Decision Making Support Center, Perm, Russia

Кожемякин Леонид Валерьевич
канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Экономика и финансы» ПНИПУ, начальник отдела разработки и сопровождения программного обеспечения ПЦППР
РИНЦ SPIN-код: 8332-3418
Scopus ID: 57227055600
Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермский центр поддержки принятия решений, Пермь, Россия

Kozhemyakin Leonid Valer'evich
Candidate of technical sciences, Senior Lecturer of the Department «Economics and Finance» at the PNRPU, Head of the Software Development and Support Department at the PDMSC
RSCI SPIN - code: 8332-3418
Scopus ID: 57227055600
Perm National Research Polytechnical University, Perm Decision Making Support Center, Perm, Russia

Федосеев Сергей Анатольевич
д-р. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Вычислительная математика, механика и биомеханика»
РИНЦ SPIN-код: 7469-2673
Scopus ID: 25221039100
Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Fedoseev Sergey Anatol'evich
Doctor of technical sciences, Associate professor, Professor of the Department «Computation Mathematics, Mechanics and Biomechanics »
RSCI SPIN - code: 7469-2673
Scopus ID: 25221039100
Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russia

Данилова Ирина Сергеевна
студент (бакалавр) кафедры «Экономика и финансы»
Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Danilova Irina Sergeevna
Student (bachelor) of the Department «Economics and Finance»
Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russia

Груздева Юлия Константиновна

Gruzdeva Julia Konstantinovna

¹ Статья подготовлена при поддержке Благотворительного фонда Владимира Потанина

студент (бакалавр) кафедры «Экономика и финансы»
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

Student (bachelor) of the Department «Economics and Finance»
Perm National Research Polytechnical University,
Perm, Russia

Бурдина Лидия Александровна
Студент (магистр) кафедры «Экономика и финансы»
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

Burdina Lidija Aleksandrovna
Student (master) of the Department «Economics and Finance»
Perm National Research Polytechnical University,
Perm, Russia

Мошев Евгений Рудольфович
д-р. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Оборудование и автоматизация химических производств»
РИНЦ SPIN-код: 4183-0602
Scopus ID: 56011277300
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

Moshev Evgenii Rudol'fovich
Doctor of technical sciences, Ass. professor, Head of the Department «Equipment and automation of chemical production»
RSCI SPIN - code: 4183-0602
Scopus ID: 56011277300
Perm National Research Polytechnical University,
Perm, Russia

Русаков Сергей Владимирович
д-р. физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика»
РИНЦ SPIN-код: 1153-3254
Scopus ID: 56085029200
Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Россия

Rusakov Sergei Vladimirovich
Doctor of physics and mathematics sciences, Professor, Head of the Department «Applied mathematics and informatics»
RSCI SPIN - code: 1153-3254
Scopus ID: 56085029200
Perm State University,
Perm, Russia

В работе представлены результаты синтеза методов дискретной математики и иерархических матричных механизмов комплексного оценивания, которые последнее время принято называть корнями принятия решений, для отличия их от деревьев решений, которые в графическом представлении также имеют иерархическую структуру. Методология настоящего исследования включает: интервальное кодирование исходных данных для перехода к категориальным переменным (в настоящем исследовании область наблюдения объясняющих и объясняемой переменных будем делить на два интервала, чтобы получить таблицу истинности или ее фрагмент, содержащую булевы переменные); затем осуществляется поиск дискретной функции многих переменных в аналитическом виде и ее минимизация путем равносильных преобразований, используя законы булевой алгебры; интерпретация полученных результатов на естественном языке; в завершении по найденной дискретной функции строятся корни и деревья принятия решения

The article presents the results of the synthesis of discrete mathematics methods and hierarchical matrix mechanisms of integrated assessment, which have recently been called decisions' roots, to distinguish them from decision trees, which also have a hierarchical structure in graphical representation. The methodology of this study includes: interval coding of the initial data for the transition to categorical variables (in this study, the observation area of the explanatory and explained variables will be divided into two intervals to obtain a truth table or its fragment containing Boolean variables); then a discrete function of many variables is searched for in analytical form and minimized by equivalent transformations using the laws of Boolean algebra; interpretation of the obtained results in natural language; finally, decisions' roots and decisions' trees are constructed based on the discrete function found

Ключевые слова: ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ;

Keywords: ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING, DATA MINING, DISCRETE MATHEMATICS, INTEGRATED RATING

ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА, МЕХАНИЗМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ, КОРНИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ДЕРЕВЬЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, DATA TO DECISIONS, D2D.PLATFROM, ВАЛОВЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОДУКТ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ

MECHANISMS, DECISIONS' ROOTS, DECISIONS' TREES, DATA TO DECISIONS, D2D.PLATFROM, GROSS REGIONAL PRODUCT, DIGITALIZATION

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-204-061>

Введение

В настоящей работе исследуется гипотеза, что количественную связь между экономическими показателями можно показать с помощью методов дискретной математики и методов теории управления организационными системами, в частности, с помощью механизмов комплексного оценивания, которые последнее время принято называть корнями принятия решений [1]. Ключевым преимуществом корней принятия решений является их наглядность и компактность графического представления. Термин «корень принятия решений», видимо, был предложен [1] для отличия данного математического объекта от деревьев принятия решений, которые в графическом представлении также имеют иерархическую структуру. Именно по этой причине в результатах настоящей статьи приводится как корень принятия решений, так и дерево принятия решений для дискретной функции, найденной по интервально закодированным экономическим показателям.

В качестве примера рассмотрим ряд статистических и экономических показателей, характеризующих цифровизацию региона и его социально-экономическое благосостояние. В качестве последнего выберем валовый региональный продукт (ВРП), который будет выступать в роли объясняемой переменной. Выбор ВРП в качестве объясняемой переменной, обусловлен тем, что одним из общепринятых и часто используемых экономических показателей, характеризующих развитие регионов.

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/61.pdf>

Существует множество показателей, которые могут являться маркерами, позволяющих оценить влияние цифровизации на развитие регионов. Связь цифровизации и ВРП подтверждается в [2], где корреляционно-регрессионный анализ показывает высокую тесноту взаимосвязи различных индексов цифровизации и ВРП. В работе [3] с помощью методов корреляционного анализа показана важность цифровых процессов для регионального инновационного развития. В другой работе приведены результаты, что за счет внедрения информационно-коммуникационных технологий наблюдается рост ВРП [4].

Материалы и данные

Исходя из критического анализа факторов, способных каким-либо образом оказывать влияние на ВРП, а также исходя из содержательного смысла статистических данных, в данной работе предлагается рассмотреть следующие показатели [5–10], которые отражают уровень развития цифровизации в регионе: для демонстрации предлагаемого подхода стали следующие статистические показатели: INTERNET – наличие доступа к сети Интернет в домашних хозяйствах (показатель измеряется в %); РК – удельный вес организаций, использовавших ПК, %; MONEY – затраты на внедрение и использование информационных и коммуникационных технологий, млн руб. на 1000 чел.; WEB – доля организаций, имевших веб-сайт в сети Интернет, %; ECONOM – уровень социально-экономической развитости регионов, баллы в рейтинге информационного агентства «РИА Новости»; GRP – валовой региональный продукт, приведенный к населению региона, млрд руб. Фрагмент исходных данных представлен ниже (Таблица 1). В полной таблице² собраны данные за 2019 год по 83

² Исходные данные [Электронный ресурс] – URL: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1DS1cW-laR0N80pT6vePAQ358VkukSOPfwC_4-10d5Eg/edit?usp=sharing (Дата обращения 19.10.2022).

регионам РФ. В анализ не вошли г. Москва и Ненецкий автономный округ, так как в данных регионах наблюдается экстремальные значения показателей, выходящие за доверительные интервалы.

Таблица 1. Фрагмент исходных данных

код региона согласно ОКАТО*	INTERNET	PK	MONEY	WEB	ECONOM	GRP
14	70,9	93,0	3,1	58,7	57,1	600,4
15	69,0	95,5	5,5	50,2	37,5	332,4
17	74,1	96,7	3,5	55,5	42,7	394,6
20	77,1	96,5	2,5	54,7	55,4	431,0
...						
44	91,0	97,4	9,9	54,9	25,7	1 518,1
64	77,0	93,9	13,9	53,7	57,1	2 400,9
99	75,3	96,1	1,4	42,9	12,7	355,6
77	93,4	95,9	15,7	45,4	17,4	1 898,6

Примечание: ОКАТО – общероссийский классификатор административно-территориальных образований

Методы исследования

Существуют различные методы, которые позволяют установить количественную связь между объясняющими и объясняемыми переменными, такие как методы регрессионного анализа [11], автоматизированного системно-когнитивного анализа [12] и другие.

Методология настоящего исследования подразумевает применение методов дискретной математики, которую можно разбить на 4 этапа:

1. Интервальное кодирование исходных данных (см. Таблица 1) для перехода к дискретным переменным. В настоящем исследовании область наблюдения объясняющих и объясняемой переменных будем делить на два интервала, чтобы получить таблицу истинности или ее фрагмент, содержащую булевы переменные.

2. Поиск дискретной функции многих переменных в аналитическом виде и ее минимизация путем равносильных преобразований, используя законы булевой алгебры [13].

3. Интерпретация полученных результатов на естественном языке. Это возможно благодаря критериальному кодированию переменных и известной интерпретации базовых логических функций И, ИЛИ, НЕ, в базе которых может быть реализована любая булева функция [13].

4. Графическое представление найденной дискретной функции или эквивалентной ей функции в виде корня принятия решения [14] и дерева принятия решения.

Стоит отметить, что следующим этапом могло бы быть построение и обучение нейронной сети на основе найденных корней принятия решений (Decisions' Root-Based Neural Networks – DRB NN) [14, 15], однако данный этап выходит за рамки настоящей работы.

Как отмечено выше, в настоящем исследовании область наблюдения объясняющих и объясняемой переменных будет делиться на два интервала. Для наглядности используем средние по регионам значения для каждого показателя {INTENET; PK; MONEY; WEB; ECONOM}, выбранного в качестве объясняющего.

Если значение переменной конкретного региона больше, чем среднее значение по данной переменной, то данный показатель кодируется единицей ($x_{ri} = 1$, где r – код региона, i – порядковый номер переменной), в противном случае – нулем ($x_{ri} = 0$). Для GRP поступаем аналогично. Закодированный GRP далее будем обозначать как u .

Стоит отметить, что в общем случае границы интервалов для дискретного кодирования могут быть определены не только по средним значениям, а например с помощью медианных значений, или некоторых нормативных критериев.

Таким способом можно получить таблицу с закодированными данными всех выбранных факторов для анализа. Ниже приведен фрагмент закодированных данных (Таблица 2).

Таблица 2. Фрагмент закодированных данных

Код региона согласно ОКАТО	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y
14	0	0	0	1	1	1
15	0	1	1	0	0	0
17	0	1	0	1	1	0
20	1	1	0	1	1	0
...						
44	1	1	1	1	0	1
64	1	1	1	1	1	1
99	0	1	0	0	0	0
77	1	1	1	0	0	1

Если полученная в результате кодирования таблица не содержит противоречивые примеры, то удалив дубликаты, либо объединив записи с одинаковыми значениями переменных в строки, мы получим табличную форму представления дискретной функции многих переменных. Если будут существовать наборы закодированных переменных, для которых не известна результирующая переменная, то получим частично определенную функцию. Последнее означает, что существует несколько дискретных функций, которые будут способны аппроксимировать табличные данные.

Стоит признать, что после группировки (или удаления дубликатов) могут остаться противоречивые примеры, т.е. встретиться регионы с одинаковыми наборами объясняющих показателей и с различными значениями объясняемой переменной в закодированном виде. Это свидетельствует, что на результирующую величину оказали влияние еще какие-то неучтенные факторы, что говорит о необходимости добавления переменных для поиска функции. Другим выходом из такой ситуации является исключение из противоречивых примеров тех, которые встречаются реже или противоречат здравому смыслу при содержательной интерпретации.

Из итоговой таблицы можно выразить конstituанты единицы или конstituанты нуля в зависимости от того, каких значений в таблице будет больше в столбце с объясняемой переменной.

Напомним, конstituанты единицы представляют собой конъюнкцию переменных в явной форме (если переменная принимает значение 1) и инверсной форме (в обратном случае). Конstituанты нуля представляют собой дизъюнкцию переменных в явной форме (если переменная принимает значение 0) и инверсной форме (в обратном случае).

Объединив конstituанты единицы с помощью дизъюнкций, получим совершенную дизъюнктивную нормальную форму (СДНФ). В случае с конstituантами нуля следует использовать конъюнкцию, в результате чего будет получена совершенная конъюнктивная нормальная форма (СКНФ).

Используя законы склеивания или иные законы равносильных преобразований булевой алгебры, можно упростить СДНФ или СКНФ и попытаться получить минимальную функцию – функцию, в которой каждая переменная встречается всего один раз.

Если функцию удастся минимизировать, то ее можно будет весьма наглядно представить в виде корня принятия решения [14, 15] и дерева принятия решений.

Если же минимизировать функцию с помощью аналитических методов дискретной математики не удастся, то можно воспользоваться эвристическим алгоритмом идентификации механизмов комплексного оценивания (МКО) [16].

С математической точки зрения, МКО (корень принятия решений), является неповторной переключательной дискретной k -арной функцией n переменных, представленной в виде суперпозиции $n-1$ функций двух переменных.

Результаты и обсуждение.

Используя многоуровневую сортировку закодированных данных, регионы, имеющие одинаковые наборы объясняющих переменных $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$, были сгруппированы. В результате кодирования и объединения регионов в соответствующие группы без дубликатов была получена итоговая таблица (Таблица 3) закодированных данных представлена ниже.

Таблица 3. Закодированные исходные данные и группировка регионов без дубликатов

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y	Коды регионов согласно ОКАТО
0	0	0	0	0	0	54, 58, 85, 90, 73, 37
0	0	0	0	1	0	05
0	0	1	0	0	0	69
0	0	1	0	1	0	63
0	1	0	0	0	0	61, 88, 89, 33, 95, 76, 10, 99
0	1	0	0	1	0	42
0	1	0	1	0	0	24, 68, 49, 97, 56, 84
0	1	0	1	1	0	17, 29, 78, 07, 94, 32
0	1	1	0	0	0	15, 34
0	1	1	0	1	0	57, 04
0	1	1	1	0	0	28
0	1	1	1	1	0	19, 22, 65
1	0	0	0	0	0	82, 91, 93, 81
1	0	0	0	1	0	38, 27, 35, 18, 36, 52
1	0	0	1	0	0	79, 67, 96
1	1	0	0	0	0	86, 11*, 01
1	1	0	0	1	0	03
1	1	0	1	0	0	67, 12, 26, 83
1	1	0	1	1	0	20, 60, 53, 75
0	0	0	1	1	1	14, 41, 71*, 25
1	0	0	1	1	1	70, 47
1	0	1	0	1	1	719
1	0	1	1	1	1	46, 50
1	1	1	0	0	1	77
1	1	1	0	1	1	87, 718, 98
1	1	1	1	0	1	30, 08, 44
1	1	1	1	1	1	40, 92, 64

Примечание: 11*, 71* в анализе данных использовались сведения Архангельской и Тюменской области без автономных округов

Стоит отметить, что в итоговой таблице (см. таблица 3) нет строки, соответствующей Республике Башкортостан, поскольку для этого региона все объясняющие переменные принимают значение единицы ($x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 1, x_4 = 1, x_5 = 1$), т.е. региональные показатели выше среднероссийских, а объясняемая переменная при этом принимает значение нуля ($y = 0$), т.е. ВРП ниже среднероссийского ВРП. С одной стороны, это противоречит здравому смыслу, с другой стороны, есть группа регионов, состоящая из г. Санкт-Петербург (код ОКАТО – 40), Республики Татарстан (код ОКАТО – 92), Сахалинской области (код ОКАТО – 64), у которых объясняемая переменная принимает значение единицы. Основываясь на сказанном выше, строка с закодированными значениями показателей республики Башкортостан была исключена из итоговой таблицы.

Для поиска логической формулы были использованы конститутанты единиц, так как их меньше – всего 8 штук (Таблица 4).

Таблица 4. Таблица с наборами переменных, соответствующими конститутантам единиц

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y	Коды регионов согласно ОКАТО
0	0	0	1	1	1	14, 41, 71*, 25
1	0	0	1	1	1	70, 47
1	0	1	0	1	1	719
1	0	1	1	1	1	46, 50
1	1	1	0	0	1	77
1	1	1	0	1	1	87, 718, 98
1	1	1	1	0	1	30, 08, 44
1	1	1	1	1	1	40, 92, 64

Для Белгородской (код ОКАТО – 14), Ленинградской (код ОКАТО – 41), Тюменской (код ОКАТО – 71) и Иркутской (код ОКАТО – 25) областей конститутанта единицы получилась следующая:

$$\overline{x_1} \wedge \overline{x_2} \wedge \overline{x_3} \wedge x_4 \wedge x_5. \tag{1}$$

Для Тульской (код ОКАТО – 70) и Мурманской (код ОКАТО – 47) областей конституанта единицы получилась следующая:

$$x_1 \wedge \bar{x}_2 \wedge \bar{x}_3 \wedge x_4 \wedge x_5. \tag{2}$$

Можно заметить, что общим для конституант (1) и (2) является инверсия переменной x_2 и явная запись переменных x_4 и x_5 . Аналогично могут быть выписаны конституанты единицы для остальных регионов и выделены общие переменные для групп регионов. Таким способом найдена формула (3):

$$y = (x_1 \wedge x_3) \vee (\bar{x}_2 \wedge x_4 \wedge x_5), \tag{3}$$

где y – закодированное значение GRP, x_1 – закодированное значение INTERNET, x_2 – закодированное значение РК, x_3 – закодированное значение MONEY, x_4 – закодированное значение WEB, x_5 – закодированное значение ECONOM.

Выполним проверку найденного логического выражения (3), построив таблицу истинности (Таблица 5)

Таблица 5. Проверка логического выражения (3)

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y	$x_1 \wedge x_3$	$\bar{x}_2 \wedge x_4 \wedge x_5$	$(x_1 \wedge x_3) \vee (\bar{x}_2 \wedge x_4 \wedge x_5)$
1	1	0	1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	1	0	1	1
1	0	1	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	1	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	0	1

Как видно из таблицы выше (см. таблица 5), найденная формула полностью воспроизводит итоговый набор закодированных данных.

Преимущество логических формул заключается в возможности их интерпретации на естественном языке. Так, логическое выражение (3)

может быть интерпретировано следующим образом. ВРП региона может быть выше среднероссийского показателя ($y=1$) в двух случаях:

1. если доступность к сети Интернет в домашних хозяйствах в регионах выше среднероссийского показателя ($x_1 = 1$) и при этом, затраты на внедрение и использование информационных и коммуникационных технологий в регионе также превышают среднероссийское значение ($x_3=1$);
2. если выполняется одновременно следующие три условия: уровень социально-экономической развитости регионов выше среднероссийского значения ($x_5=1$), доля организаций, имевших веб-сайт в сети Интернет, в регионе выше среднероссийского показателя ($x_4=1$) и удельный веса организаций, использовавших ПК, меньше среднероссийского значения ($x_2=0$).

Последняя часть второго условия, на первый взгляд, противоречит здравому смыслу. Однако, используя основные законы равносильных преобразований логических функций, логическую формулу (3) можно преобразовать к следующему виду (4):

$$y = (x_5 \rightarrow (x_4 \rightarrow x_2)) \rightarrow (x_1 \wedge x_3) \quad (4)$$

Формула (4) также может быть проинтерпретирована на естественном языке – уровень социально-экономической развитости регионов (x_5) является причинной другой причинно-следственной связи ($x_4 \rightarrow x_2$), в которой доля организаций, имевших веб-сайт в сети Интернет, (x_4) сама является причиной для удельного веса организаций, использовавших ПК (x_2). Все вышесказанное, в свою очередь, является причиной для одновременного обеспечения доступа к сети Интернет в домашних хозяйствах (x_1) и осуществления затрат на внедрение и использование информационных и коммуникационных технологий в

регионе (x_3). Данная интерпретация не противоречит здравому смыслу и имеет экономическое толкование.

Найденные выше формулы можно представить в виде корня принятия решений, который имеет представление в виде суперпозиции дискретных функций двух переменных [37]. При этом каждая дискретная функция двух переменных может быть представлена в матричной форме. Сочетание бинарного дерева критериев, определяющего последовательность операций над парами переменных, и матриц свертки, расположенных в узлах данного дерева, дает графо-матричное представление такой функции.

На рисунке 3 представлен корень принятия решения для найденной формулы (3). На рисунке 4 – для формулы (4).

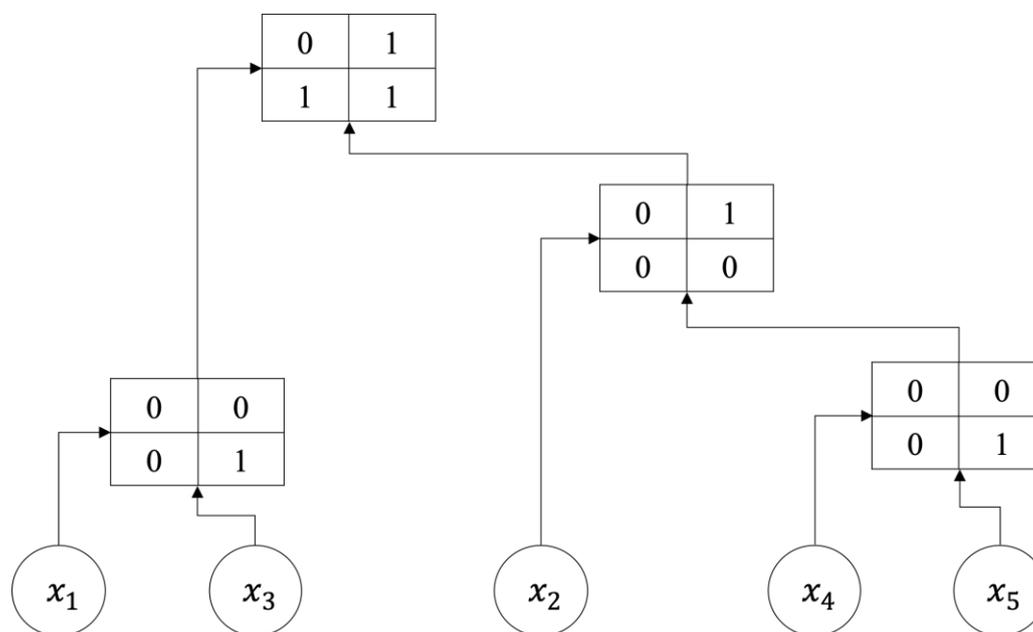


Рисунок 3. Корень принятия решения для формулы (3)

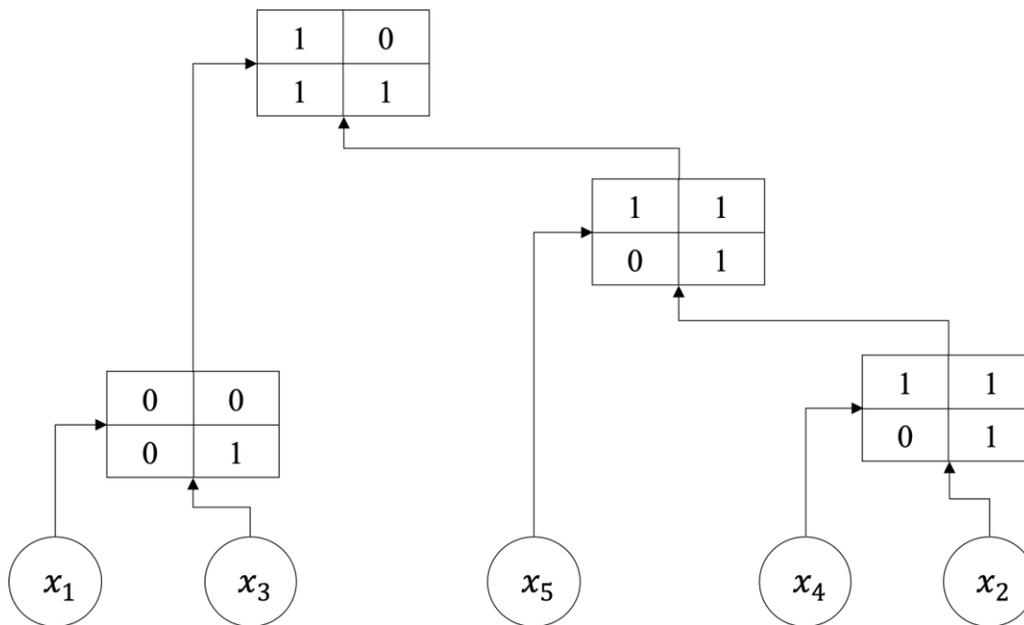


Рисунок 4. Корень принятия решения для формулы (4)

Еще одним графическим способом представления формулы является дерево принятия решения – рисунок 5.

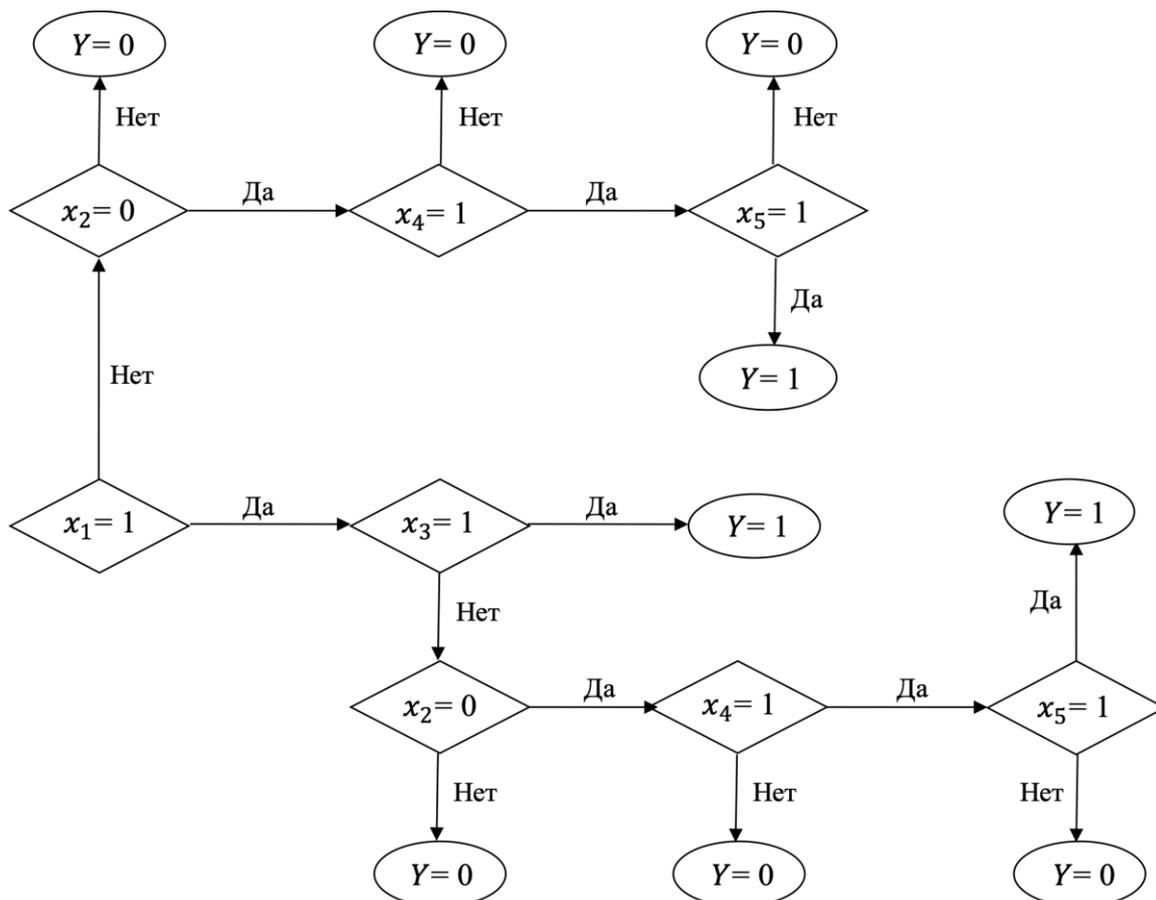


Рисунок 5. Дерево принятия решения для формулы (3)

Как отмечалось в разделе «Методы исследования» преимуществом графического представления дискретных функций нескольких переменных является то, что корень принятия решений или дерево принятия решений могут использоваться лицами без специальных знаний дискретной математики и математической логики. При этом графическое представление занимает примерно половину страницы формата А4, в чем легко убедиться (см. рисунок 3, рисунок 4, рисунок 5), т.е. на полную страницу формата А4 могут поместиться краткая инструкция по использованию корня принятия решений или дерева принятия решения, а также критерии кодирования показателей, выбранных в качестве объясняющих:

$x_1=1$, если доступ к сети Интернет в домашних хозяйствах больше 75,91%, в противном случае $x_1=0$.

$x_2=1$, если удельный вес организаций, использовавших ПК, больше 93,08%, в противном случае $x_2=0$;

$x_3=1$, если региональные затраты на внедрение и использование информационных и коммуникационных технологий больше 5,05 млн. руб. на 1000 чел., в противном случае $x_3=0$;

$x_4=1$, если доля организаций, имевших веб-сайт в сети Интернет, больше 51,15 %, в противном случае $x_4=0$;

$x_5=1$, если в рейтинге информационного агентства «РИА Новости» уровень социально-экономической развитости исследуемого региона больше 42,2 баллов, в противном случае $x_5=0$.

Как видно из приведенных выше материалов получился довольно компактный и удобный методический инструментарий для оценки влияния цифровой трансформации на ВРП региона.

Таким образом, были определены факторы, которые являются маркерами, позволяющими оценить влияние цифровизации на развитие

регионов. С помощью методов дискретной математики была найдена связь между этими факторами и ВРП – как одного из ключевого показателя уровня развитости региона. Используя основные законы булевой алгебры, получено две эквивалентных друг другу логических функции. Найденные логическая функции описывают 82 региона, что составляет 98 % от исходного набора регионов и 96% от всех регионов, входящих в состав Российской Федерации по состоянию на 2019 год. Другим результатом исследования явился корень принятия решения, имеющий графоматричное представление и определяющий последовательность операций над переменными.

Заключение

Все описанные в настоящей работе этапы обработки статистических данных автоматизированы в многопользовательской виртуальной среде интеллектуального анализа данных «Data to Decisions» (D2D.Platform)³. В результате последовательного выполнения предусмотренных инструкцией действий, не написав ни строчки кода, пользователь D2D.Platform получает функционирующее приложение, которое можно использовать для сценарного моделирования исследуемых процессов и явлений (рисунок 6), а также для поиска решений, обеспечивающих требуемый уровень результирующей переменной. Как отмечалось в разделе «Методы исследования» на основе найденных корней принятия решений может быть определена структура неполносвязной нейронной сети класса DRB NN. Покажем лишь ее структуру (рисунок 7) без объяснения принципов её функционирования.

³ <https://d2d-platform.tech/> – режим доступа: авторизованный

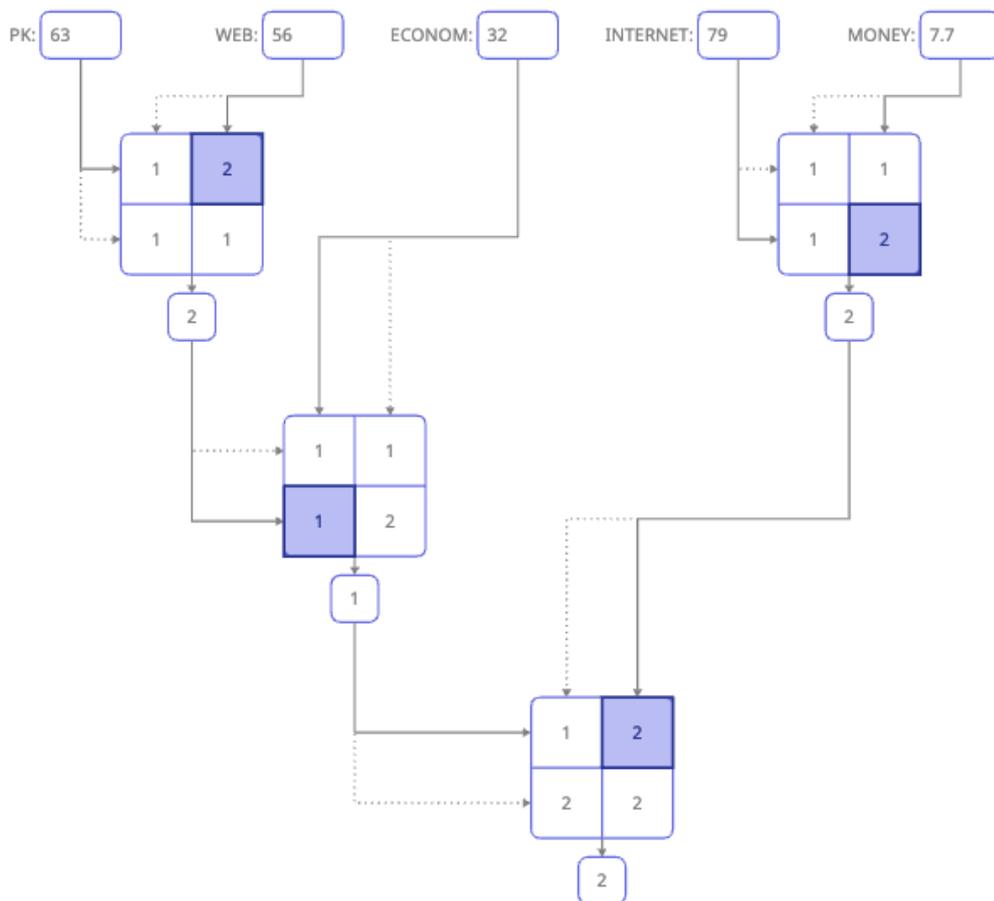


Рисунок 6. Корень принятия решений, найденный в D2D.Platform

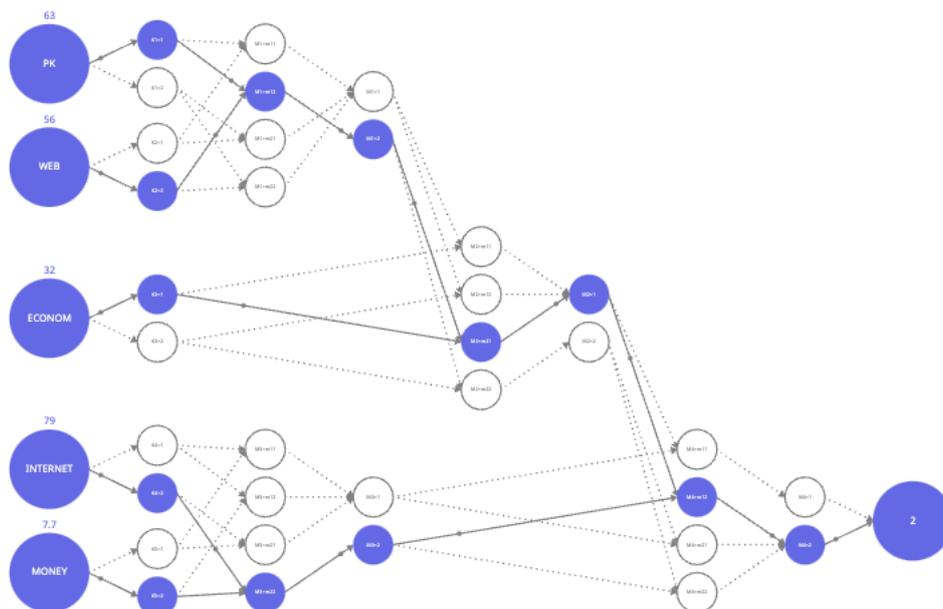


Рисунок 7. Искусственная нейронная сеть, построенная в D2D.Platform на основе корня принятия решений

Согласно концепции многопользовательской виртуальной среды интеллектуального анализа данных «Data to Decisions» [17], ООО «Пермский центр поддержки принятия решений», являющийся правообладателем исключительных прав на программное обеспечение D2D.Platform, придерживается следующей пользовательской политики:

1. Пользователь D2D.Platform, вне зависимости от типа лицензии (коммерческая или академическая), обладает авторскими правами на найденную в D2D.Platform математическую модель корня принятия решений и найденную им в D2D.Platform математическую модель искусственной нейронной сети класса Decisions Root-based Neural Networks (далее – Модели) и исключительными правами на созданное в Среде D2D.Platform пользовательское приложение, реализующую последовательность обработки данных в соответствии с Моделями (далее – Пользовательское приложение).

2. Действия Пользователя в процессе интеллектуального анализа данных в D2D.Platform воспринимаются как авторский вклад в создание Моделей и Пользовательского приложения.

3. Пользовательское приложение является результатом интеллектуальной деятельности Пользователя и может быть зарегистрировано как программа для ЭВМ. Найденный пользователем корень принятия решений (структура дерева критериев, матрицы свертки) и структуру нейронной сети (число слоев, число нейронов на каждом слое, связи между нейронами), а также совокупность синаптических коэффициентов нейронной сети, может быть зарегистрирована Пользователем в качестве базы данных.

4. Исключительные права на созданную Пользователем в среде D2D.Platform программу для ЭВМ и базу данных принадлежат Пользователю.

Список литературы

1. Коргин Н.А, Сергеев В.А. Корни принятия решений – еще один метод анализа данных? [Электронный ресурс] / Лаборатория № 57 «Активных систем» ИПУ РАН. – URL: <https://youtu.be/b4dF7znmVuo> (дата обращения: 19.10.2022).

2. Черных В. В., Суворова А. П., Баженов Р. И. Цифровая трансформация экономических систем – фактор стратегического развития территорий // Вестник НГИЭИ. 2019. № 12 (103). С. 105–120.

3. Руйга, И. Р. Оценка влияния процессов цифровизации на инновационное развитие региона / И. Р. Руйга, З. А. Васильева // Цифровая экономика, умные инновации и технологии : сб. тр., Санкт-Петербург, 18–20 апреля 2021 года. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – С. 223-225. – DOI 10.18720/IEP/2021.1/68.

4. Николаев М.А., Махотаева М.Ю., Гусарова В.Н. Анализ влияния процессов цифровизации на экономическое развитие регионов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. Т. 13, № 4. С. 46–56. DOI: 10.18721/JE.13404.

5. Информационное общество в Российской Федерации. 2020: статистический сборник [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2020. – 269 с.

6. Удельный вес организаций, использовавших персональные компьютеры, по субъектам Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ikt.xlsx> (Дата обращения 19.10.2022).

7. Затраты на внедрение и использование информационных и коммуникационных технологий на 1000 чел. [Электронный ресурс] – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ikt_org.xlsx (Дата обращения 19.10.2022).

8. Доля организаций, имевших веб-сайт в сети Интернет в 2019г. [Электронный ресурс]. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/pok_103.xlsx (Дата обращения 19.10.2022).

9. Уровень социально-экономической развитости регионов [Электронный ресурс]. – URL: <https://ria.ru/20220516/ekonomika-1788413061.html> (Дата обращения 19.10.2022).

10. Валовой региональный продукт по субъектам Российской Федерации в 2016-2020гг. [Электронный ресурс] – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/VRP_.xlsx (Дата обращения 19.10.2022).

11. Радченко С. Г. Методология регрессионного анализа. — К.: «Корнийчук», 2011. – 376 с.

12. Луценко, Е. В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами : (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем) / Е. В. Луценко. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2002. – 605 с. – ISBN 5-94672-020-1. – EDN OCZFHС.

13. Дискретная математика и математическая логика: учебник / Ю.А. Аляев, С.Ф. Тюрин. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 368 с.

14. Data Preprocessing and Neural Network Architecture Selection Algorithms in Cases of Limited Training Sets – On an Example of Diagnosing Alzheimer’s Disease / A.

Alekseev, L. Kozhemyakin, V. Nikitin, Ju. Bolshakova // Algorithms. – 2023. – Vol. 16, No. 5. – P. 219. – DOI 10.3390/a16050219.

15. Алексеев, А. О. Проектирование нейронных сетей на основе дискретных механизмов комплексного оценивания / А. О. Алексеев, Л. В. Кожемякин // Математические методы в технологиях и технике. – 2023. – № 9. – С. 55-58. – DOI 10.52348/2712-8873_ММТТ_2023_9_55.

16. Alekseev, A. Identification of integrated rating mechanisms based on training set. In Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). Lipetsk, Russia, 11-13 November 2020. – DOI 10.1109/SUMMA50634.2020.9280751.

17. Алексеев, А.О. Концепция многопользовательской виртуальной среды интеллектуального анализа данных / А. О. Алексеев, Л. В. Кожемякин // Управление большими системами : сб. тр., Воронеж, 05–08 сентября 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2023. – С. 442-448.

References

1. Korgin N.A, Sergeev V.A. Korni prinyatiya reshenij – eshhe odin metod analiza danny`x? [E`lektronny`j resurs] / Laboratoriya № 57 «Aktivny`x sistem» IPU RAN. – URL: <https://youtu.be/b4dF7znmVyo> (data obrashheniya: 19.10.2022).

2. Cherny`x V. V., Suvorova A. P., Bazhenov R. I. Cifrovaya transformaciya e`konomicheskix sistem – faktor strategicheskogo razvitiya territorij // Vestnik NGIE`I. 2019. № 12 (103). S. 105–120.

3. Rujga, I. R. Ocenka vliyaniya processov cifrovizacii na innovacionnoe razvitie regiona / I. R. Rujga, Z. A. Vasil`eva // Cifrovaya e`konomika, umny`e innovacii i tehnologii : sb. tr., Sankt-Peterburg, 18–20 aprelya 2021 goda. – Sankt-Peterburg: POLITEX-PRESS, 2021. – S. 223-225. – DOI 10.18720/IEP/2021.1/68.

4. Nikolaev M.A., Maxotaeva M.Yu., Gusarova V.N. Analiz vliyaniya processov cifrovizacii na e`konomicheskoe razvitie regionov // Nauchno-texnicheskie vedomosti SPbGPU. E`konomicheskije nauki. 2020. T. 13, № 4. S. 46–56. DOI: 10.18721/JE.13404.

5. Informacionnoe obshhestvo v Rossijskoj Federacii. 2020: statisticheskij sbornik [E`lektronny`j resurs] / Federal`naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki; Nacz. issled. un-t «Vy`sshaya shkola e`konomiki». – M.: NIU VShE`, 2020. – 269 s.

6. Udel`ny`j ves organizacij, ispol`zovavshix personal`ny`e komp`yutery`, po sub`ektam Rossijskoj Federacii [E`lektronny`j resurs]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ikt.xlsx> (Data obrashheniya 19.10.2022).

7. Zatraty` na vnedrenie i ispol`zovanie informacionny`x i kommunikacionny`x tehnologij na 1000 chel. [E`lektronny`j resurs] – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ikt_org.xlsx (Data obrashheniya 19.10.2022).

8. Dolya organizacij, imevshix veb-sajt v seti Internet v 2019g. [E`lektronny`j resurs]. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/pok_103.xlsx (Data obrashheniya 19.10.2022).

9. Uroven` social`no-e`konomicheskij razvitosti regionov [E`lektronny`j resurs]. – URL: <https://ria.ru/20220516/ekonomika-1788413061.html> (Data obrashheniya 19.10.2022).

10. Valovoj regional`ny`j produkt po sub`ektam Rossijskoj Federacii v 2016-2020gg. [E`lektronny`j resurs] – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/VRP_.xlsx (Data obrashheniya 19.10.2022).

11. Radchenko S. G. Metodologiya regressionnogo analiza. — K.: «Kornijchuk», 2011. – 376 s.

12. Lucenko, E. V. Avtomatizirovanny`j sistemno-kognitivny`j analiz v upravlenii aktivny`mi ob`ektami : (sistemnaya teoriya informacii i ee primenenie v issledovanii e`konomicheskix, social`no-psixologicheskix, tehnologicheskix i organizacionno-

texnicheskix sistem) / E. V. Lucenko. – Krasnodar : Kubanskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet imeni I.T. Trubilina, 2002. – 605 s. – ISBN 5-94672-020-1. – EDN OCZFHG.

13. Diskretnaya matematika i matematicheskaya logika: uchebnik / Yu.A. Alyaev, S.F. Tyurin. – M.: Finansy` i statistika, 2006. – 368 s.

14. Data Preprocessing and Neural Network Architecture Selection Algorithms in Cases of Limited Training Sets – On an Example of Diagnosing Alzheimer’s Disease / A. Alekseev, L. Kozhemyakin, V. Nikitin, Ju. Bolshakova // Algorithms. – 2023. – Vol. 16, No. 5. – P. 219. – DOI 10.3390/a16050219.

15. Alekseev, A. O. Proektirovanie nejronny`x setej na osnove diskretny`x mexanizmov kompleksnogo ocenivaniya / A. O. Alekseev, L. V. Kozhemyakin // Matematicheskie metody` v texnologiyax i texnike. – 2023. – № 9. – S. 55-58. – DOI 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_9_55.

16. Alekseev, A. Identification of integrated rating mechanisms based on training set. In Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). Lipetsk, Russia, 11-13 November 2020. – DOI 10.1109/SUMMA50634.2020.9280751.

17. Alekseev, A.O. Koncepciya mnogopol`zovatel`skoj virtual`noj sredy` intellektual`nogo analiza danny`x / A. O. Alekseev, L. V. Kozhemyakin // Upravlenie bol`shimi sistemami : sb. tr., Voronezh, 05–08 sentyabrya 2023 goda. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet, 2023. – S. 442-448.