

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

MATHEMATICS EDUCATION

Вестник Сыктывкарского университета.

Серия 1: Математика. Механика. Информатика. 2024.

Выпуск 3 (52)

Bulletin of Syktuykar University.

Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics. 2024; 3 (52)

Научная статья

УДК 398.016, 510.6

https://doi.org/10.34130/1992-2752_2024_3_20

ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА ДЛЯ ИНФОРМАТИКОВ: ТРЕХЗНАЧНАЯ ЛОГИКА

Надежда Николаевна Бабикина

Сыктывкарский государственный университет
имени Питирима Сорокина, valmasha@mail.ru

Аннотация. Применение трехзначных логик при разработке информационных систем связано прежде всего с проблемой неполноты и неопределенности данных. Все коммерческие системы баз данных, использующие язык структурированных запросов SQL, предлагают решение по обработке неполной информации, основанное на трехзначной логике. В статье представлены результаты исследования методических вопросов, связанных с включением раздела «Элементы трехзначной логики» в программу курса «Дискретная математика» для студентов направления подготовки «Прикладная информатика» Сыктывкарского государственного университета имени Питирима Сорокина: для изучения выбрана логика Клини, определены результаты обучения и содержание раздела.

Ключевые слова: трехзначная логика, логика Клини, дискретная математика, результаты обучения

Для цитирования: Бабикина Н. Н. Дискретная математика для информатиков: трехзначная логика // *Вестник Сыктывкарского*

университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика. 2024. Вып. 3 (52). С. 20–35. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2024_3_20

Article

Discrete mathematics for computer scientists: three-valued logic

Nadezhda N. Babikova

Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, valmasha@mail.ru

Abstract. The use of three-valued logics in the development of information systems is primarily associated with the problem of incompleteness and uncertainty in data. All commercial database systems using the structured query language SQL offer a solution for processing incomplete information based on three-valued logic. The article presents the results of a study of methodological issues related to the inclusion of the section "Elements of Three-Valued Logic" in the program of the course "Discrete Mathematics" for students majoring in "Applied Informatics" at Pitirim Sorokin Syktyvkar State University: Kleene's logic was selected for study, the learning outcomes and content of the section were determined.

Keywords: three-valued logic, Kleene's logic, discrete mathematics, learning outcomes

For citation: Babikova N. N. Discrete mathematics for computer scientists: three-valued logic. *Vestnik Syktyvskarskogo universiteta. Seriya 1: Matematika. Mekhanika. Informatika* [Bulletin of Syktyvkar University, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics], 2024, no 3 (52), pp. 20–35. (In Russ.) https://doi.org/10.34130/1992-2752_2024_3_20

1. Введение

Математическая логика в курсе дискретной математики для информатиков обычно представлена логикой высказываний и логикой предикатов классической двузначной логики. Однако современные информационные системы (ИС) разрабатываются с использованием и других логик, в том числе трехзначных.

Система трехзначной пропозициональной логики впервые была разработана Я. Лукасевичем в 1920 году. Лукасевич анализировал проблему истинностного статуса будущих случайных событий и пришел к выводу, что принцип двузначности не является универсальным. Поэтому в дополнение к имеющимся истинностным значениям — «истина» (1)

и «ложь» (0) — ввел в логику третье значение — $1/2$. Так как Лукасевич рассматривал будущие события, то третье значение можно трактовать как «возможно», «еще не определено» или просто «не определено», «неизвестно» [1; 2].

В трехзначной логике Лукасевича в качестве основных логических связок выбраны отрицание и импликация, их значения задаются при помощи таблиц истинности (табл. 1). Введенное таким образом отрицание называют зеркальным, или отрицанием Лукасевича.

Конъюнкция, дизъюнкция и эквиваленция определяются формулами: $p \vee q \stackrel{\text{def}}{=} (p \rightarrow q) \rightarrow q$, $p \& q \stackrel{\text{def}}{=} \sim (\sim p \vee \sim q)$, $p \leftrightarrow q \stackrel{\text{def}}{=} (p \rightarrow q) \& (q \rightarrow p)$. Конъюнкцию можно трактовать как минимум значений аргументов, а дизъюнкцию — как максимум. Результаты всех операций совпадают с классическими на значениях аргументов $\{0; 1\}$.

Таблица 1

**Таблица истинности логических связок
трехзначных логик Лукасевича и Клини**

x	y	$\sim x$	$x \rightarrow y$		$x \& y$	$x \vee y$	$x \leftrightarrow y$	
			Лукасевич	Клини			Лукасевич	Клини
0	0	1	1		0	0	1	
0	$1/2$	1	1		0	$1/2$	$1/2$	
0	1	1	1		0	1	0	
$1/2$	0	$1/2$	$1/2$		0	$1/2$	$1/2$	
$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	$1/2$
$1/2$	1	$1/2$	1		$1/2$	1	$1/2$	
1	0	0	0		0	1	0	
1	$1/2$	0	$1/2$		$1/2$	1	$1/2$	
1	1	0	1		1	1	1	

Различные трехзначные логики развивались и развиваются как в рамках формальной, так и в рамках математической логики. Третье истинностное значение вводилось в логику по разным причинам: возможной зависимости истинности высказывания от контекста; неопределенности истинности высказываний о будущих событиях; нечеткости понятий, относительно которых делается высказывание; неполноты информации, которая требуется для однозначной оценки высказывания [3]. Именно с проблемой неполноты и неопределенности данных

прежде всего связано применение трехзначных логик при разработке информационных систем и в анализе данных.

В современной научно-технической литературе можно найти разнообразные примеры применения аппарата трехзначной логики: в системах медицинской диагностики [4], для оценки параметров моделей криминогенной ситуации [5]; в системах поддержки принятия решений в условиях неполноты и/или недостоверности информации [6–8]; в скоринговых системах [9]. Автоматизированная система диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена разрабатывалась с использованием трехзначной логики во всех операциях контроля действий оператора и анализа состояния оборудования. Например, для корректной обработки сигналов датчиков их состояние характеризуется трехзначными переменными «напряжение < 220 В», «напряжение ≥ 220 В» и «связь с датчиком отсутствует». Разработчик системы считает, что использование аппарата трехзначной логики позволило значительно упростить запись логических выражений при написании программы [10].

Все коммерческие системы баз данных, говорящие на языке структурированных запросов SQL, предлагают решение по обработке неполной информации, основанное на трехзначной логике. Такой подход был заложен при проектировании SQL и в настоящее время зафиксирован в стандарте языка (ISO/IEC, 2016) [11; 12]. Востребованность трехзначной логики в профессиональной практике ставит вопрос о целесообразности ее изучения студентами информационных специальностей. В статье представлены результаты исследования методических вопросов, связанных с включением раздела «Элементы трехзначной логики» в программу курса «Дискретная математика» для студентов направления подготовки «Прикладная информатика». Целью исследования было: определить результаты обучения, выбрать конкретную трехзначную логику для изучения, определить содержание раздела.

2. Материалы и методы

Анализ научно-технической литературы, посвященной применению трехзначных логик при разработке информационных систем, показал, что аппарат трехзначных логик находит применение во многих предметных областях, примеры представлены во введении.

Но трудно не согласиться с авторами статьи «Перспективы применения многозначных логик в исследованиях искусственного интеллек-

та: вопросы наглядности»: «Однако практическое использование многозначных логик во многом затруднено существованием выраженных междисциплинарных барьеров; язык, на котором написаны труды по многозначным логикам, остается трудно воспринимаемым для значительной части специалистов в области информационных технологий. Положение усугубляется тем, что в этих работах акцент часто ставится на специфических проблемах, связанных с логико-философской проблематикой, а также со значительным разнообразием многозначных логик» [13]. Это подтверждает целесообразность знакомства с трехзначной логикой на доступном уровне в процессе обучения будущих специалистов в области информационных технологий.

В учебной литературе по дискретной математике для информатиков (программистов) разделы, посвященные трехзначным логикам, встречаются крайне редко. В пособии для студентов направления «Информатика и вычислительная техника» (Казанский государственный технический университет) есть глава «Неклассические логики», один параграф в ней содержит краткий обзор пяти трехзначных логик [14].

В учебниках и учебных пособиях для математиков довольно часто есть раздел «Многозначная логика». Прежде всего это классическая книга С. В. Яблонского «Введение в дискретную математику» [15] и задачник Г. П. Гаврилова и А. А. Сапоженко «Задачи и упражнения по дискретной математике» [16]. Как преподавателю мне очень нравятся эти учебники, материал изложен лаконично и ясно. Но, будучи студенткой 1-го курса, я к ним относилась по-другому: «Очень сложно...» Более поздние работы, например [17], освещают многозначные логики приблизительно в том же объеме.

Дисциплина «Дискретная математика» изучается студентами направления «Прикладная информатика» в 3-м семестре в объеме 34 часов лекций и 56 часов практических занятий. Преподавание строится на основе трех известных учебников: «Дискретная математика для программистов» Р. Хаггарти [18], «Дискретная математика и комбинаторика» Д. Андерсона [19], «Discrete Mathematics with Applications» S. Ерр [20]. Все три учебника содержат большое количество примеров и упражнений, в том числе связанных с приложениями дискретной математики в информатике. В главах, посвященных логике, много внимания уделяется формализации предложений естественного языка. Содержание раздела «Элементы трехзначной логики» разработано в том же стиле. Включение раздела «Элементы трехзначной логики» апро-

бировано в процессе обучения дисциплине «Дискретная математика» студентов направления «Прикладная информатика» Сыктывкарского государственного университета имени Питирима Сорокина. Объем часов: 2 часа лекций, 4 часа практических занятий.

3. Результаты и обсуждение

Планируется, что в результате изучения раздела «Элементы трехзначной логики» студент будет способен:

- дать определение логических операций;
- выполнять логические операции;
- строить таблицы истинности;
- иллюстрировать (графически и на примерах) смысл логических операций и их свойств для трехзначной логики (Клини),
- конвертировать выражения на естественном языке в логические формулы;
- привести примеры использования трехзначной логики в информатике.

Содержание раздела включает:

- исторические сведения: причины возникновения трехзначных логик как обобщения двузначной логики, множественность трехзначных логик, логика Клини (сильная);
- определение логических связей при помощи таблиц истинности, понятие формулы, связки как функции истинности, отсутствие тавтологий в логике Клини;
- построение диаграмм Венна для логических операций;
- выражение логических связей в естественном языке и конвертация выражений на естественном языке в логические формулы;
- свойства логических операций;
- применение трехзначной логики.

Выбор конкретной трехзначной логики для изучения определялся тем, какие логики используются на практике. Самыми распространенными являются логика Лукасевича и сильная логика Клини. Таблицы истинности в этих логиках различаются только для импликации и эквиваленции на наборе истинностных значений $(1/2, 1/2)$ (табл. 1). В языке SQL используется логика Клини как наиболее соответствующая стратегии оценки и оптимизации SQL-запросов [21]. Поэтому для изучения выбрана логика Клини.

Изучение темы «Элементы трехзначной логики» строится приблизительно так же, как и тем «Логика высказываний» и «Логика предикатов».

Для графической интерпретации логических связок можно использовать диаграммы Венна, на которых «неопределенность» отображается кольцом вокруг круга, соответствующего «истине» (рис. 1). Интерпретация зеркального отрицания достаточно наглядна: истина становится ложью и наоборот, а «неопределенность» так и остается «неопределенностью». Высказывания «Галактика Андромеды заселена зелеными человечками» и «Галактика Андромеды не заселена зелеными человечками» для нас одинаково неопределенные.

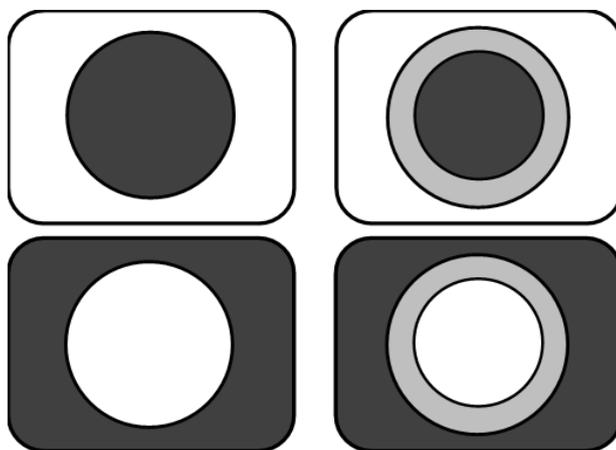


Рис. 1. Диаграмма Венна для двухзначной и трехзначной логики: высказывание и его отрицание

Но с отрицанием в трехзначной логике есть момент, на котором студенты часто спотыкаются. Мы обозначаем высказывания строчными латинскими буквами, при этом x может обозначать как имя конкретного высказывания, так и пропозициональную переменную. Например, пусть x — «Пингвины летают», это «ложь». Тогда $\sim x$ — «Пингвины не летают», это в соответствии с таблицей истинности «истина». Но если x — это переменная, неизвестное нам высказывание, про которое мы знаем, что оно ложное, то $\sim x$ — это не «истина», это «истина» или «неопределенность».

Диаграмма Венна предполагает, что для двух высказываний вся область диаграммы поделена на $2^2 = 4$ участка в случае двухзначной логики. Можно ожидать, что в случае трехзначной логики на диаграмме будет $3^2 = 9$ участков. Но в силу симметрии круга мы получаем

диаграмму, на которой 10 участков, так как 2 участка соответствуют одному и тому же набору значений высказываний $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$. Чтобы количество участков соответствовало количеству истинностных наборов (строк таблицы истинности), можно использовать идею диаграммы Эдвардса (Эдвардса — Венна). Диаграммы Эдвардса предназначены для изображения большого числа множеств, в нашем случае высказываний, но для первых двух множеств используются 2 перекрывающихся прямоугольника. «Неопределенность» для каждого высказывания можно отобразить полосами вдоль двух сторон прямоугольника, тогда диаграмма разделится на нужные 9 участков (рис. 2, 3).

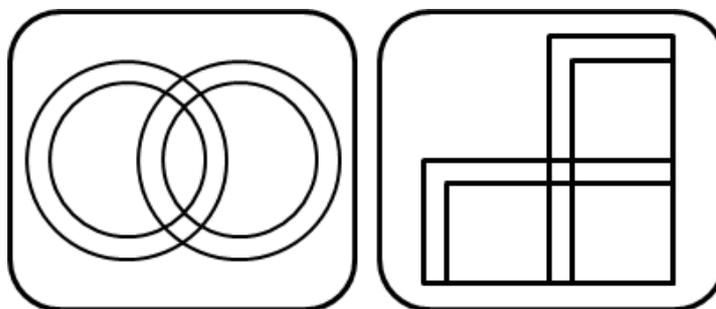


Рис. 2. Диаграммы Венна для двух высказываний в трехзначной логике

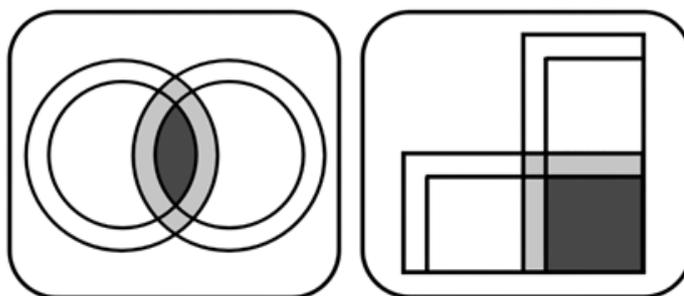


Рис. 3. Диаграммы Венна для конъюнкции двух высказываний в трехзначной логике

В трехзначной логике сохраняются многие свойства операций, которые имели место в двухзначной логике. Обобщенные конъюнкция и дизъюнкция, которые можно выразить как $x_1 \& x_2 = \min(x_1, x_2)$ и $x_1 \vee x_2 = \max(x_1, x_2)$, обладают свойствами коммутативности, ассоциативности и дистрибутивности относительно друг друга. Для отрицания

Лукасевича верно $\sim (\sim x) \equiv x$. Выполняются также аналоги законов де Моргана: $\sim \min(x_1, x_2) \equiv \max(\sim x_1, \sim x_2)$ и $\sim \max(x_1, x_2) \equiv \min(\sim x_1, \sim x_2)$. Тавтологий в логике Клини нет, так как на истинностном наборе $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ все логические связки принимают значение $(\frac{1}{2})$.

Запись предложений на естественном языке в формализованном виде для трехзначной логики Клини аналогична записи в виде формул двухзначной логики. Здесь стоит обратить внимание студентов на следующее: логические связки двухзначной логики и логики Клини являются истинностно-функциональными, а естественный язык содержит и связки, которые не являются истинностно-функциональными. Трехзначная логика не решает проблему представления в виде формул предложений, содержащих такие связки естественного языка, как:

- «... , потому что... »;
- «Необходимо, чтобы... »;
- «... предшествует... »;
- «Вероятно, что... »;
- «... , что значит... »;
- «Все знают, что... » и т. п.

Предложения со связками, которые не являются истинностно-функциональными, могут быть формализованы при помощи других логик, например, модальные логики позволяют выразить необходимость, возможность, темпоральные логики — учитывать временной аспект высказываний.

Дисциплина, в которой студенты обязательно столкнутся с трехзначной логикой — это «Базы данных», но по времени она изучается позже, чем «Дискретная математика». Поэтому продемонстрировать использование трехзначной логики можно на примере СУБД Access. СУБД Access рассматривается студентами направления «Прикладная информатика» на 1-м курсе в рамках дисциплины «Информационные технологии». Некоторые студенты знакомы с Access по школьному курсу информатики.

Пусть есть таблица с данными о крокодилах: длина в дюймах и вес в фунтах (рис. 4). Некоторые записи содержат пустые поля, которые трактуются как NULL. NULL сам по себе не является значением, но используется как маркер или флаг для представления неизвестных или отсутствующих данных. Логические выражения могут иметь три зна-

чения: True, False, Unknown. Любое сравнение с NULL (в том числе проверка на равенство $NULL= NULL$) имеет значение Unknown.

id	крокодайл	длина	вес
1	Крокодайл1	94	130
2	Крокодайл2		
3	Крокодайл3	86	80
4	Крокодайл4	128	254
5	Крокодайл5	147	
6	Крокодайл6		114
7	Крокодайл7	80	73
8	Крокодайл8	75	51

Рис. 4. Таблица с данными о крокодилах

Предположим, мы хотим найти выдающихся по весу и длине крокодилов. Запрос «SELECT * FROM kr WHERE (кг.длина >100) AND (кг.вес >100)» выдаст единственного крокодила, конъюнкция как обычно принимает значение True, только если оба условия истинны.

Запрос «SELECT * FROM kr WHERE (кг.длина >100) Or (кг.вес >100)» найдет крокодилов, для которых хотя бы одно условие принимает значение True, при этом значение второго условия может быть как True или False, так и Unknown (рис. 5).

id	крокодайл	длина	вес
1	Крокодайл1	94	130
4	Крокодайл4	128	254
5	Крокодайл5	147	
6	Крокодайл6		114

Рис. 5. Результат запроса с дизъюнкцией условий

4. Заключение

Создавая приложения для взаимодействия с базами данных, студенты должны будут оперировать как двухзначной, так и трехзначной логикой. Поэтому включение раздела «Элементы трехзначной логики» в состав дисциплины «Дискретная математика» было вызвано прежде всего потребностями практики. Но изучение трехзначной логики позволяет реализовать не только прагматические цели обучения, но и мировоззренческие. Двухзначная логика — не единственный способ форма-

лизации мышления, как геометрия Эвклида — не единственный способ описания физического мира.

Список источников

1. **Томова Н. Е.** Возникновение трехзначных логик: логико-философский анализ // *Вестник Московского университета. Серия 7: Философия*. 2009. № 5. С. 68–74.
2. **Карпенко А. С.** Развитие многозначной логики. М.: Изд-во ЛКИ, 2010. 448 с.
3. **Максимов Д. Ю.** Логика Н. А. Васильева и многозначные логики // *Логические исследования*. 2016. Т. 22. № 1. С. 82–107. DOI: 10.21146/2074-1472-2016-22-1-82-107.
4. **Котов Ю. Б.** Логические инструменты принятия решений в задачах медицинской диагностики // *Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2009) : Материалы третьей международной конференции (секции 4–6), Москва, 05–07 октября 2009 года* / Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. М.: Учреждение Российской академии наук «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова» РАН, 2009. Т. 2. С. 254–256.
5. **Меньших А. В., Меньших Т. В.** Выбор методов моделирования оценок криминогенной ситуации // *Охрана, безопасность, связь*. 2024. № 9–3. С. 133–137.
6. **Меньших А. В., Меньших Т. В.** Использование логико-арифметических методов для моделирования неопределённости // *Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы : сборник материалов Международной научно-практической конференции, Воронеж, 17–18 мая 2023 года*. Воронеж: ФКОУ Воронежский институт ФСИИ России, Строки, 2023. С. 78–80.
7. **Меньших А. В., Меньших Т. В.** Моделирование частичной неопределённости и неполноты данных при принятии управленче-

- ских решений // *Вестник Воронежского института МВД России*. 2023. № 2. С. 132–137.
8. **Bessmertny I., Koroleva J., Sukhikh N., Vedernikov J.** Ternary Logics in Decision Making // *Reliability and Statistics in Transportation and Communication : Selected Papers from the 20th International Conference, Riga, 14–17 october 2020*. Riga: Springer Nature, 2021. P. 411–419. DOI: 10.1007/978-3-030-68476-1_38.
 9. **Гиниятуллин В. М., Габитова Э. А.** Кластеризация данных по кредитным заявкам в троичный вектор // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2018. Т. 14. № 1. С. 49–54.
 10. **Филиппов М. Н.** Метод обработки неполных данных на основе трехзначной логики // *Автоматрия*. 2009. Т. 45. № 5. С. 124–131.
 11. **Libkin L.** SQL’s Three-Valued Logic and Certain Answers // *ACM Transactions on Database Systems*. 2016. Vol. 41. No 1. Article 1. Pp. 1–28. DOI: 10.1145/2877206.
 12. **Кузнецов С. Д.** Типизированные неизвестные значения: шаг к решению проблемы представления отсутствующей информации в реляционных базах данных // *Труды Института системного программирования РАН*. 2023. Т. 35. № 2. С. 73–100. DOI: 10.15514/ISPRAS-2023-35(2)-6.
 13. **Габриелян О. А., Витулева Е. С., Сулейменов И. Э.** Перспективы применения многозначных логик в исследованиях искусственного интеллекта: вопросы наглядности // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Философия. Политология. Культурология*. 2021. Т. 7 (73). № 1. С. 5–25.
 14. **Галиев Ш. И.** Математическая логика и теория алгоритмов. Казань: Изд-во КГТУ им. А. Н. Туполева, 2002. 270 с.
 15. **Яблонский С. В.** Введение в дискретную математику : учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2008. 384 с.
 16. **Гаврилов Г. П., Сапоженко А. А.** Задачи и упражнения по дискретной математике : учеб. пособие. М.: Физматлит, 2005. 416 с.

17. **Таранников Ю. В.** Дискретная математика. Задачник : учеб. пособие для вузов. М.: Юрайт, 2024. 385 с. // *Образовательная платформа «Юрайт»* [сайт]. URL: <https://urait.ru/bcode/536541> (дата обращения: 15.09.2024).
18. **Хаггарти Р.** Дискретная математика для программистов. М.: Техносфера, 2005. 400 с.
19. **Андерсон Д. А.** Дискретная математика и комбинаторика : пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 960 с.
20. **Ерр S.S.** Discrete Mathematics with Applications. Boston: Cengage Learning. 2010. 984 p.
21. **Console M., Guagliardo P., Libkin L.** Do We Need Many-valued Logics for Incomplete Information? // *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence. Macao, China, 10/08/19.* 2019. Pp. 6141–6145. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2019/851>.

References

1. **Томова Н. Е.** The emergence of three-valued logics: a logical and philosophical analysis. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 7: Filosofiya* [Bulletin of Moscow University. Series 7: Philosophy]. 2009. No 5. Pp. 68–74. (In Russ.)
2. **Карпенко А. С.** Razvitie mnogoznachnoj logiki [Development of multivalued logic]. Moscow: Publisher of the LKI, 2010. 448 p. (In Russ.)
3. **Максимов Д. Ю.** N. A. Vasiliev’s logic and multivalued logic. *Logicheskie issledovaniya* [Logical research]. 2016. Vol. 22. No 1. Pp. 82–107. DOI: 10.21146/2074-1472-2016-22-1-82-107. (In Russ.)
4. **Котов Ю. В.** Logical decision-making tools in the tasks of medical diagnostics. *Upravleniye razvitiyem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD’2009) : materialy tret’yey mezhdunarodnoy konferentsii (sektzii 4–6), Moskva, 05–07 oktyabrya 2009 goda. Institut problem upravleniya im. V. A. Trapeznikova RAN* [Management of Large-Scale Systems Development (MLSD’2009) : proceedings of the Third

- International Conference (sections 4–6), Moscow, October 5–7, 2009. V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences]. Moscow: Establishment of the Russian academy institute of management problems named after V. A. Trapesnikova RAS, 2009. Vol 2. Pp. 254–256. (In Russ.)
5. **Men'shix A. V., Men'shix T. V.** The choice of methods for modeling estimates of the criminal situation. *Okhrana, bezopasnost', svyaz'* [Security, safety, communication]. 2024. No 9–3. Pp. 133–137. (In Russ.)
 6. **Men'shix A. V., Men'shix T. V.** Using logical and arithmetic methods to model uncertainty. *Tekhnika i bezopasnost' ob"yektov ugolovno-ispolnitel'noy sistemy : sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Voronezh, 17–18 maya 2023 goda* [Technology and safety of penal facilities : collection of materials from the International scientific and practical conference, Voronezh, May 17–18, 2023]. Voronezh: FCOU Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Lines, 2023. Pp. 78–80. (In Russ.)
 7. **Men'shix A. V., Men'shix T. V.** Modeling of partial uncertainty and incompleteness of data in management decision-making. *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii* [Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia]. 2023. No 2. Pp. 132–137. (In Russ.)
 8. **Bessmertny I., Koroleva J., Sukhikh N., Vedernikov J.** Ternary Logics in Decision Making. *Reliability and Statistics in Transportation and Communication : Selected Papers from the 20th International Conference, Riga, 14–17 october 2020*. Riga: Springer Nature, 2021. Pp. 411–419. DOI: 10.1007/978-3-030-68476-1_38.
 9. **Giniyatullin V. M., Gabitova E. A.** Clustering of loan application data into a ternary vector. *Elektrotekhnicheskiye i informatsionnyye komplekсы i sistemy* [Electrical and information complexes and systems]. 2018. Vol. 14. No 1. Pp. 49–54. (In Russ.)
 10. **Filippov M. N.** A method for processing incomplete data based on three-digit logic. *Avtometriya* [Autometry]. 2009. Vol. 45. No 5. Pp. 124–131. (In Russ.)

11. **Libkin L.** SQL's Three-Valued Logic and Certain Answers. *ACM Transactions on Database Systems*. 2016. Vol. 41. No. 1. Article 1. Pp. 1–28. DOI: 10.1145/2877206
12. **Kuznecov S. D.** Typed unknown values: a step towards solving the problem of representing missing information in relational databases. *Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN* [Proceedings of the Institute of System Programming of the Russian Academy of Sciences]. 2023. Vol. 35. No 2. Pp. 73–100. DOI: 10.15514/ISPRAS-2023-35(2)-6. (In Russ.)
13. **Gabrielyan O. A., Vituleva E. S., Sulejmenov I. E.** The prospects of using multivalued logics in artificial intelligence research : issues of visibility. *Uchenyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Filosofiya. Politologiya. Kul'turologiya* [Scientific notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Philosophy. Political science. Cultural studies]. 2021. Vol. 7 (73). No 1. Pp. 5–25. (In Russ.)
14. **Galiev Sh. I.** *Matematicheskaya logika i teoriya algoritmov* [Mathematical logic and theory of algorithms]. Kazan': A. N. Tupolev KSTU Publishing House, 2002. 270 p. (In Russ.)
15. **Yablonskij S. V.** *Vvedenie v diskretnuyu matematiku : ucheb. posobie dlya vuzov* [Introduction to Discrete Mathematics : a textbook for Universities]. Moscow: Higher education, 2008. 384 p. (In Russ.)
16. **Gavrilov G. P., Capozhenko A. A.** *Zadachi i uprazhneniya po diskretnoy matematike : ucheb. posobiye* [Problems and exercises in discrete mathematics : textbook]. Moscow: Physical education, 2005. 416 p. (In Russ.)
17. **Tarannikov Yu. V.** *Discrete Mathematics. Problem Book : textbook for Universities*. Moscow: Yurayt Publishing House, 2024. 385 p. *Obrazovatel'naya platforma Yurajt [sajt]* [Yurayt educational platform [web-site]]. Available at: <https://urait.ru/bcode/536541> (accessed: 15.09.2024). (In Russ.)
18. **Xaggarti R.** *Diskretnaya matematika dlya programmistov* [Discrete Mathematics for Programmers]. Moscow: Technosphere, 2005. 400 p. (In Russ.)

19. **Anderson D. A.** *Diskretnaya matematika i kombinatorika : per. s angl.* [Discrete Mathematics and Combinatorics : transl. from english]. Moscow: Williams Publishing House, 2004. 960 p. (In Russ.)
20. **Epp S. S.** *Discrete Mathematics with Applications.* Cengage Learning. Boston, 2010. 984 p.
21. **Console M., Guagliardo P., Libkin L.** Do We Need Many-valued Logics for Incomplete Information? *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence. Macao, China, 10/08/19.* 2019. Pp. 6141–6145. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2019/851>.

Сведения об авторе / Information about author

Бабикова Надежда Николаевна / Nadezhda N. Babikova

к.пед.н., доцент, доцент кафедры прикладной информатики / Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Applied Informatics Department

Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина / Pitirim Sorokin Syktyvkar State University

167001, Россия, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., 55 / 55, Oktyabrsky Ave., Syktyvkar, 167001, Russia

Статья поступила в редакцию / The article was submitted 07.10.2024

Одобрено после рецензирования / Approved after reviewing 17.10.2024

Принято к публикации / Accepted for publication 20.10.2024