УДК 004:16

Г. Н. ЗВЕРЕВ

НЕКЛАССИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТИВНЫЕ ЛОГИКИ С ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕМАНТИКОЙ

Информационный подход к логическим категориям и процессам позволяет более полно описать их семантику и включить в строгие формализмы логики общезначимые модели неопределенностей. *Логика; информатика; информационные системы и технологии*

Зверев Геннадий Никифорович

проф. каф. проектирования средств информатики. Дипл. инж.-геофизик (Грозненск. нефтян. ин-т, 1958). Д-р техн. наук по геофизике (защ. в МИНХиГП, 1982). Иссл. в обл. информатики и искусственного интеллекта.

Объективация языка науки предполагает экспликацию научных понятий, однозначно согласованную с источниками и преобразователями информации при условии, что последние являются подконтрольными и удовлетворяют критериям точности и достоверности получаемых новых знаний. Данная статья является развитием работ [1–3] и содержит уточнения семантики логических формализмов.

МАТЕМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ЛОГИКИ

Математические модели классической логики могут иметь многообразные формы: арифметические, алгебраические, геометрические, аксиоматические представления. Для арифметизации логики и ее алгебраизации необходимо ввести константы и переменные логических систем. Константы и их множества различных типов есть однозначно определенные элементы — «индивиды» и их возможное разнообразие, а переменные есть произвольные представители из этих множеств, различающиеся своим типом и значением.

Арифметизация двоичных логических переменных состоит в переводе их качественных, нечисловых значений в количественную числовую шкалу, содержащую всего два числа, соответствующих значениям «да», «истина» и «нет», «ложь», впрочем, соответствия между дуальной, логической и номинативной шкалами могут быть любыми. Наиболее простая, семантически и исторически обоснованная арифметизация логики получается в битовой шкале $\mathrm{Bit} = \{0, 1\}$, семантика которой легко переносится на объективные неклассические логики. Определенная тем или иным способом битовая арифметика порождает соответствующую ей алгебру введением битовых переменных — логических признаков $a, b, x, z, \ldots \in \mathrm{Bit}$ [1]. В битовой алгебре, исходя из унарного минуса и бинарных операций $(+, -, \cdot, /)$, легко выводятся их алгебраические свойства: $a + b = b + a$, $a - b \neq b - a$, деление есть отрицание вычитания и т. п.

Еще один путь объективации и математизации классической логики был предложен в XVIII веке *Л. Эйлером*, способ, формально эквивалентный арифметико-алгебраическому подходу и позволяющий наглядно и убедительно представить свойства логических операций и связок, очевидные ограничения, логические зависимости между свойствами объектов предметики и свойствами связей между объектами и информационными ситуациями. Геометризация логики по Эйлеру состоит в представлении множества объектов или информационных ситуаций решаемой проблемы дискретным геометрическим универсумом, в котором свойства и связи классов объектов изображаются кругами Эйлера.

Алгебраизация и геометризация классической логики послужили твердой основой создания объективной математической логики, моделирующей реальные свойства и связи внешнего мира мыслящего субъекта, если заданные множества объектов и отношения между ними адекватно описывают действительность. Математики XX века пошли в формализации дальше и создали различные аксиоматизации математической логики, отказавшись от некоторых законов логики, от определений и ясной семантики логических операций и связок, заменив их неявными определениями системой аксиом и правил вывода в надежде описать свойства произвольных бесконечных совокупностей математических объектов. Путь аксиоматизации логики прояснил некоторые зависимости между логическими свойствами, аксиомами, но поскольку всякая аксиоматизация неограниченно расширяет область интерпретации формализма и вносит в общем случае неконтролируемые семантические неопределенности и свободные абстракции, в аксиоматических логиках существенную роль стал играть субъективный элемент математического мышления и интуиции авторов аксиоматических систем, а в целом путь повальной аксиоматизации надолго задержал развитие объективных неклассических логик.

Объективная логика с информационной семантикой начинается с формализации источников фактических и априорных знаний, построения моделей наблюдений и средств обработки информации, преобразования знаний в двоичную шкалу различимости {да, нет} или {истина, ложь}, при этом субъективная сторона человеческого мышления и его слабо изученных механизмов исключается и заменяется внешним воспроизведением действий с реальными объектами и их знаковыми представлениями — символами логико-математического языка. Конструктивная модель суждения (высказывания, предиката) представляется в общем случае двумя процессорами объективированного субъекта obsubj: сенсором A и рефором B: $\mathrm{obj} \xrightarrow{A} y \xrightarrow{B} \hat{x}$, это ориентированная цепочка источников и преобразователей знаний, фактов y и логических заключений $\hat{x}$.

Логические понятия обычно считаются более фундаментальными, чем понятия предметных областей математики, естественных и технических наук. Отсюда делается как бы очевидный вывод, что определение логического понятийного базиса, конструирование и исчерпывающее объяснение составляющих его понятий невозможно выполнить, используя понятия более конкретных предметик, не попав при этом в порочный логический круг. Этот традиционный взгляд с развитием теоретической информатики подвергся глубокому критическому анализу и принципиальному уточнению. Прежде, чем подступиться к этой проблеме, необходимо выяснить, что конкретно не устраивает предметников и, прежде всего, специалистов по автоматизации человеческой деятельности и информационным технологиям в формальном аппарате и смысловых конструкциях классической логики. Здесь мы выделим четыре основные позиции, по которым чаще всего возникают критические выпады в адрес современной логики и многочисленные попытки ее усовершенствования, обозначаемые общим термином: **неклассические логики**.

Первое критическое положение можно выразить так: неполная формализация семантики классической логики, в частности, базисного понятия истинности и его разновидностей — аристотелевой (экспериментальной, фактической) и формальной (теоретической, логической) истинности или ложности знаковых конструкций. Специалисты предметных областей обычно выделяют разные виды истинности и лжи, различные типы ошибок, им «тесно» в двоичной шкале истинности, а переходы в математических теориях к многозначным логикам и частично упорядоченным логическим шкалам происходят вообще с потерей первичного смысла истинности [4].

Второе основание быть неудовлетворенным современными логическими исчислениями и их семантикой состоит в предельной идеализации информационного процесса получения и преобразования данных и моделей, гипотетически или постулативно — свободного в математической логике от каких-либо искажений. Между тем информационная практика естественных, технических и гуманитарных наук имеет дело с реальными знаковыми ситуациями, весьма далекими от логико-математического идеала. Неадекватность формализации действительных информационно-логических процессов весьма затрудняет и ограничивает применение в автоматизированных системах логических методов, ведет к замене их эмпирическими, эвристическими приемами, которые хоть как-то учитывают искажения, неполноту, противоречивость и размытия знаний, данных и моделей.

Третий повод для критики классической логики, вытекающий из второго, состоит в том, что в отличие от многих других формализаций, логика не допускает приближенных решений и логических аппроксимаций, которые естественно напрашиваются в процессах с неполными, искаженными и противоречивыми данными. В самом деле, ложь отрицает истину, «да» отрицает «нет» и антипод не может быть приближением, аппроксимирующим точное решение. С этими соображениями увязывается и наш последний критический тезис. Основной проблемой дедукции в рамках формализма классической логики считается комбинаторная сложность алгоритмов, экспоненциальный рост времени и памяти логических процессов при необходимом увеличении размерности задачи и числа альтернатив переборов, а именно в таких ситуациях решающую роль начинают играть приближенные решения и контроль их точности при допустимых искажениях данных и моделей.

В известных работах по неклассическим логикам предложено много способов и путей возможного расширения и усовершенствования классического формализма математической логики, получившие такие названия, как модальная, многозначная, индуктивная, вероятностная, правдоподобная, нечеткая и др. логики. К сожалению, эти попытки не достигли той универсальности, семантической ясности, объективности и определенности, которые присущи классической логике, а самое главное, в них отсутствует аппарат оценки и доказательства истинности, достоверности результатов, не определены условия и границы применимости предлагаемых формальных конструкций.

Выделим четыре существенных свойства информационной реальности, которые должны учитывать объективные неклассические логики, претендующие на общезначимость и строгие обобщения формализмов и семантики классической логики, в которых учитываются основные виды неопределенностей логических ситуаций: 1) ограниченная различимость материально-информационных объектов реальности информационными средствами; 2) неуниверсальность, частичность всех функций, реляций и других средств логики, информатики, живых субъектов, иными словами, необходимо учесть существование в действительности объектов и ситуаций, для которых они не применимы; 3) искаженность, отягощенность ошибками, погрешностями всех результатов наблюдений, теоретических моделей, субъектных представлений, фактических и априорных знаний; 4) наличие пограничных переходных состояний реальности, размытых границ, которые нельзя точно описать в двоичной однозначно определенной или многозначной шкале свойств объектов и их модальностей.

Модели этих четырех свойств информационной реальности позволяют учесть в неклассических логиках различные виды неопределенностей знаковых объектов и процессов. Первое свойство ведет к замене множеств сомножествами в дентовой и контовой логической семантике [2], второе свойство — к разделению внутренней и внешней неопределенности, третье свойство — к построению логических аппроксимаций, невозможных в классической логике, т. к. истина не может приближенно представлять ложь и наоборот. Четвертое свойство ведет к необходимости введения непрерывных числовых шкал оценок истинности с учетом разрешающей способности информационных процессоров и точности исходной информации.

ЧАСТОСТЬ, ЧАСТОТНАЯ ЛОГИКА, ЧАСТОТНЫЕ И ЛОГИЧЕСКИЕ СВЯЗИ

Смысл понятия частости состоит в количественной (числовой) характеристике доли объектов со свойством $x = 1$ в общем объеме универсума объектов U. Этот объем принимаем за единицу измерения частости или за 100 процентов, тогда класс объектов с данным свойством составляет часть этого объема, характеризуемого величиной частости $q_x = N_x/N$, где N_x — число объектов универсума со свойством x из общего числа N. Другие названия частости — частота, относительная численность, обобщенная (детерминированная или случайная) вероятность, шанс, правдоподобие, удельный объем и т. п. Чтобы «нейтрализовать» ложные исторически сложившиеся семантические связи со случайностью, с динамикой знакового процесса и его возможной детерминированной либо случайной неопределенностью принят в качестве основного нейтральный термин «частость» и его оппозиция — «редкость».В отличие от субъективной вероятности частость есть объективная характеристика реальности, если объективны источники информации. В отличие от геометрической вероятности частость есть нормированная мера дискретных систем объектов. В теории вероятностей Мизеса встречается также термин «частота», имеющий по преимуществу физическую семантику динамического характера.

Определим все виды логических и частотных связей между двумя переменными свойствами объектов $x(\mathrm{obj})$ и $y(\mathrm{obj})$. Строгая логическая связь между двумя функциями x и y возникает в случаях, когда хотя бы одно из четырех значений распределения $q(x, y)$ равно нулю: $xy = 0$, $x\overline{y} = 0$, $\overline{x}y = 0$, $\overline{xy} = 0$. Таким образом, во всех возможных четырех логических универсумах между свойствами x и y могут возникнуть четыре вида эквиальных логических связей в виде равенства или уравнения и равносильные им четыре пары — восемь импликативных (акцептуальных) связей типа неравенств $x \leqslant y$. К рассмотренным видам логических связей необходимо добавить всевозможные их сочетания, в которых одновременно выполняются два или три из четырех логических уравнений.

Логические зависимости между x и y разрушаются, если появляется хотя бы один объект, который приводит к отклонению от нуля соответствующих численностей N_{ij} и частостей $q_{ij} = \frac{N_{ij}}{N}$, $0 \leqslant i, j \leqslant 1$, и тогда возникает **логическая (функциональная) независимость**, но остается **сильная** или **слабая, положительная** либо **отрицательная частотная** зависимость между x и y. Понятие частотной (статистической) связи как естественного обобщения логической зависимости и ее количественные меры в разных предметиках имеют много форм, представлений и названий: размытая, неопределенная, нефункциональная, многозначная, нечеткая связь, ковариационная, корреляционная, случайная статистическая зависимость.

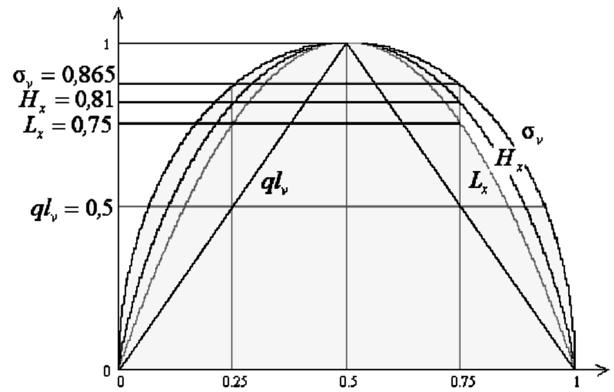
Итак, логическая связь есть предельный случай положительной и отрицательной частотной связи, соответствующий корреляции $|r_{xy}| = 1$, при которой появляется возможность точного предсказания одного признака по известному другому признаку, а известная частотная связь открывает возможности уменьшения неопределенности и погрешности предсказания [1]. Если же $r_{xy} = 0$, то признаки независимы и не несут никакой взаимной информации, $q(x, y) = q(x) \times q(y)$. Логические связки и операции алгебры классической логики точно воспроизводятся формулами частотной логики [1, 2], если истинности логических признаков не отличаются от 0 и 1. Может случиться так, что в универсуме ситуаций вообще отсутствуют логические связи между известными и искомыми признаками, а частотные связи обеспечат оценки неизвестных с весьма высокой частотной точностью.

МЕРЫ ДВОИЧНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Итак, в частотной логике помимо двоичной шкалы {0,1} логических признаков, высказываний, предикатов вводится шкала частотной истинности в замкнутом числовом интервале [0,1], это **меташкала**, выражающая метазнания — знания о знаниях, суждениях, утверждениях. Частотная истинность $\underline{x}$ логического признака $x \in \mathrm{Bit}$ в числовой шкале одновременно несет информацию и о степени неопределенности, изменчивости значения истинности: если $\underline{x}$ равно 0 или 1, то это полная определенность, при других значениях $\underline{x}$ мера неопределенности может быть вычислена в среднеквадратической шкале умножением частости $\underline{x}$ на редкость $1 - \underline{x}$, $\sigma_x^2 = \underline{x(1 - x)}$ — это дисперсия истинности, или среднеквадратическое отклонение σ_x, а также в шкале энтропии H_x либо альтернанта L_x. Предельная неопределенность $\max \sigma_x$ $\max H_x$ $\max L_x$ наступает при $\underline{x} = \frac{1}{2}$ и равна $\sigma_m = \frac{1}{2} = 50$ на 50%, $H_x = 1$ — один бит информации при двоичном основании логарифма формулы энтропии, это объем информации, которая вдвое уменьшает неопределенность, равную числу альтернатив в шкале классической логики $\{0, 1\}$ и достигается полная определенность, $L_x = 4\sigma_x^2 = 1$ — один альт информации, одна «лишняя» альтернатива 0 либо 1 истинности, которую отбрасывают при принятии определенного, однозначного решения: да или нет, истина или ложь. Меру неопределенности истинного значения $\underline{x}$ можно определить и непосредственно в шкале частости-редкости в виде кусочно-линейной функции

$$\mathrm{ql}\,(x) = \begin{cases} \underline{x} & \text{при } \underline{x} \leqslant \frac{1}{2}; \\ 1 - \underline{x} & \text{при } \underline{x} > \frac{1}{2}, \end{cases}$$

которая интерпретируется так: если истинность суждения x квалифицируется как «скорее ложь, чем истина», $\underline{x} \leqslant \frac{1}{2}$, то мера неопределенности равна частости $\underline{x}$, при оценке суждения «скорее истина, чем ложь» $\underline{x} > \frac{1}{2}$, неопределенность равна аффинной редкости $1 - \underline{x}$. Удобно ввести также нормированные относительные меры неопределенности $\sigma_\nu = \frac{\sigma_x}{\sigma_m} = 2\sigma_x$, $\mathrm{ql}_\nu = \frac{\mathrm{ql}}{\mathrm{ql}_m} = 2\mathrm{ql}$, $\sigma_m = \mathrm{ql}_m = \frac{1}{2}$, которые принимают значения из интервала от 0 до 1 или до 100-процентной неопределенности и соответствуют интервалу вариаций энтропии H_x и альтернанта L_x. Сопоставление мер неопределенностей представлено на рисунке. $\mathrm{ql}_\nu \leqslant L_x \leqslant H_x \leqslant \sigma_\nu$, равенства мер неопределенности наступают при полной определенности значений истинности суждений, $\underline{x} = 1$ и 0, и при полной неопределенности, $\underline{x} = 1/2$.



УНИВЕРСУМЫ СИТУАЦИЙ ЧАСТОТНОЙ ЛОГИКИ

В информационной практике использования аппарата частотной логики следует различать: 1) универсум U_s реальных информационных ситуаций, в которых все наличные знания, факты и модели могут быть неполными, искаженными, 2) универсум U_s^+ информационных ситуаций с точно заданными моментами распределений данных, искомых, искажающих факторов, ошибок и помех, 3) универсуме U_s^0 ситуаций, в которых и фактическая и априорная информация известны точно. Идеальный мир частотной логики составляют универсумы U_s^+ и U_s^0, в которых частотная логика имеет одни и те же формулы оценки истинности и они предельно адекватно описывают логические и частотные связи, меры истинности и неопределенности результатов информационно-логических процессов. В реальном мире информационных ситуаций универсума U_S результаты частотной логики подвержены искажениям вследствие неполноты знаний, влиянию помех и погрешностей фактов и априорики, которые ведут к отклонениям реальных данных $\hat{q}(x, \hat{x}, y, \Delta)$ от идеальных моделей $q(x, \hat{x}, y, \Delta)$ универсума U_s^+. Ошибки в оценках частотных истинностей и их связей составляют следующий уровень неопределенностей.

Универсумы информационных ситуаций U_s^0, U_s^+, U_s могут описывать свойства и связи всех объектов предметики или решаемой проблемы либо выделенного условием $c(x)$ класса объектов в составе универсума U_0, для которого строятся условные распределения и меры частотной истинности. Особые случаи составляют условные универсумы, содержащие единственный выделенный из U_0 объект — индивид. Приписать частость или вероятность индивиду означает обратное наследование свойства класса — сомножества каждому его представителю. Из факта принадлежности элемента сомножеству следует априорный перенос свойств сомножества на его элементы с определенной погрешностью, к которой добавляются погрешности знаний об индивиде и классе в целом. В универсуме ситуаций U_s^0 условная частотная логика превращается в классическую, а в универсуме U_s^+ условные распределения точно описывают размытия знания об индивиде, обусловленные неидеальностью источников фактической информации и априорной неопределенностью неизвестных свойств объекта.

При построении строгой теории частотной логики в основу положены идеальные схемы замкнутого мира — универсального множества объектов U_0, идеального наблюдателя, который в состоянии безошибочно исследовать весь универсум объектов и получить точные оценки частости истинности всех свойств a_i и их сочетаний a_{ij}, a_{ijk} и т. д. В идеальном мире U_s^+ мы полагаем, что *obsubj* точно знает эти частости. Реальный субъект отличается от идеального, он работает в открытой системе, в состоянии исследовать лишь ограниченную часть универсума и при этом допускает ошибки, неполноту знаний. Переход от замкнутого к открытому миру выводит результаты исследований за рамки абсолютной строгости и приводит к изменению на противоположные роли частотной и классической логик. В самом деле, в замкнутой системе абсолютно истинные $\underline{a} = 1$ и абсолютно ложные $\underline{b} = 0$ высказывания допустимы и даже являются основной целью логико-математического процесса. В открытой системе любой шаг процесса может быть подвержен внешним искажениям и приобретает частотную оценку истинности, которую лишь условно принимают за абсолютную истину $\underline{a} = 1$, в предположении, что в процессе получения этой оценки не произошло внешнего искажения принятых законов преобразований знаков.

В частотной логике происходит расщепление дентовой и контовой семантики понятий, $f \neq = \underline{f}$, разотождествление дента — объема понятия, представленного функцией множеств $f(x)$ в алгебре Кантора посредством теоретико-множественных операций $(\cup, \cap, /) \quad \approx (+, \cdot, -)$, и конта — составного свойства, выраженного помимо двоичного значения частотной истинностью $\underline{f(x)}$ высказывания или предиката о составном классе объектов $f(x)$. В классической логике эти функции отождествляются абстрагированием, при котором алгебра Кантора и алгебра Буля совпадают: $\cup = \vee = +, \cap = \wedge = \cdot, / = \neg = -$, что предопределяется двоичной шкалой истинности, так как если $\underline{f} = 1$ или 0, то $\underline{f} = f$ в двоичном булевом базисе. В частотной логике точно выполняются все законы классической логики, включая закон исключенного третьего и двойного отрицания.

Частотная истинность $\underline{x}$ элементарного или составного высказывания x несет информацию о средней, ожидаемой истинности x в заданном классе ситуаций, а также полностью определяет меру неопределенности и ожидаемой изменчивости частотной оценки $\underline{x}$, что упрощает анализ достоверности и процесс принятия решений. В шкале частотной истинности выражаются не только недоопределенности в знании истины, но и одновременно выражаются переопределенности или противоречия, так как N_a примеров, образцов говорят о том, что a=1, но $N - N_a$ эталонов утверждают, что $a = 0$.

Частотная шкала, в которой меры истинности или ошибок измеряются в долях единичного объема класса объектов предметики либо в процентах, имеет ясную естественнонаучную семантику, более адекватную реальным процессам, чем гипотезы или постулаты двоичной истинности (ложности) знаний в классической логике. Кроме того, частотную меру истинности легче преобразовать в ценностные критерии. Числовая частотная шкала истинности, точности или погрешности моделей открывает путь к дискретно-логическим приближениям и оптимальным аппроксимациям. Нельзя достичь абсолютной истины, но можно повысить достоверность относительных истин и установить границы, за которыми относительные истины практически не отличаются от абсолютных. Частотно-логическая истинность обладает теми же абстрактными свойствами, что и геометрическая (метрическая и комбинаторная) истинность.

Частотная логика моделирует многие неклассические логики и оценивает границы их достоверности, вводит в дискретно-логические методы идеи и алгоритмы логической аппроксимации при NP-сложности задачи, неполноте и искажениях фактических и априорных данных. Так, если высшие моменты логических признаков неизвестны, то возникают одномоментные и двухмоментные лапласовы приближения корреляционной логики. Частотная логика есть строгое обобщение вероятностной логики, которое строится на основе более полной формализации понятия внутренней неопределенности — индефиниции, отличной от математической вероятности и случайности реальных явлений. Частотный порядок и метрика, порожденные априорикой информационной ситуации, вместе с идеей логической аппроксимации позволяют во многих задачах преодолеть комбинаторный взрыв и NP-сложность логических задач.

Частотная логика заведомо сложнее классической — это машинно-ориентированный инструмент информационных технологий, обладающий объективными средствами контроля знаковых преобразований. Он плохо приспособлен для человеческих рассуждений на естественном языке, но, в отличие от классической частотная логика, точнее описывает реальные, заведомо более сложные информационные связи, а в асимптотике, когда истинности приближаются к предельным значениям 0 или 1, частотная логика точно воспроизводит классическую подобно тому как неевклидовы геометрии (Лобачевского, Римана, Финслера) воспроизводят в пределе простейшую геометрию Евклида. Арифметизация логики, введение, наряду с логическими, частотных связей между двоичными признаками превращает логику из комбинаторной в аналитическую математику с ее мощным вычислительным аппаратом. Переход от численности к частости, к относительным нормированным мерам есть эффективная абстракция от численности классов и категории бесконечности.

Ближайшими широко известными аналогами частотной логики являются вероятностная, непрерывная, правдоподобная, бесконечнозначная логики. Смысловое, семантическое различие частотной и вероятностной логики состоит в выделении абстрактной неопределенности, отличающейся по смыслу от случайности, случайных событий, стохастических процессов, составляющих семантику теории вероятностей. Следует отметить также отличие идей частотной логики от подхода развитого в теории субъективных вероятностей, так как здесь мы рассматриваем объективные частости, которые совпадут с абстрактными вероятностями, если отвлечься от способа выбора объектов — детерминированного или случайного. И, наконец, частотная логика позволяет представить конструктивные формализации модальных и индуктивных логик [1].

ТРИЛОГИКА И ТЕТРАЛОГИКА

Проблема расширения двоичной шкалы классической логики $\{0, 1\}$ введением других допустимых значений логических признаков, высказываний и предикатов состоит в том, чтобы придумать однозначную семантику новых значений, создать арифметику и алгебру в расширенной шкале, которые обладают общезначимостью и позволяют объективно описывать свойства природных и информационных явлений, любых предметик, используя данные наблюдений и обработки информации без ссылок на интуитивную очевидность логических форм и их связей.

В логико-математическом языке, в классической логике понятие неопределенности фигурирует в неявной форме в качестве содержательного признака, разделяющего в мышлении при постановке математической проблемы ее компоненты на данные и искомые, известные и неизвестные математические объекты и если операции, функции, отношения содержат неопределенные аргументы, то они не могут непосредственно быть использованы в процессе решения задачи, они либо отбрасываются, либо преобразуются в формы с известными аргументами. Другие возможности открываются при явном введении в логические и математические формализмы информационных нулей и правил совместного оперирования определенными и неопределенными значениями информационных объектов. Особенно это важно при расширении формализации интеллектуальной деятельности, скажем, при выборе наилучшей постановки проблемы, при поиске и принятии решений в условиях неопределенности.

Логики с информационной семантикой служат простейшими образцами подобных построений. Более точно их можно назвать логиками с информационными нулями, впрочем, неопределенность, как и погрешность (ошибка, ложь), есть негативная форма информации, точности, истинности, адекватности, это родственные взаимозависимые научные категории информационного мира знаков. Данным обстоятельством объясняются настойчивые попытки в течение тысячелетий создания и причины появления «иных» логик, которые стараются описать свойства источников фактических и априорных неопределенностей, формализуемых в виде соответствующих информационных нулей и соответствующих им предельно простых моделей неопределенностей, описанных в предыдущей главе, это **биноль** — базисный информационный ноль внутренней неопределенности в двоичной шкале классической логики $Bit = \{0, 1\}$ и **киноль** — критический информационный ноль внешеней неопределенности вне двоичной шкалы истины-лжи, иначе называемые **круглый** и **квадратный** информационные нули. Биноль и киноль являются общезначимыми межпредметными категориями, они определяют основные неопределенности информационных процессов. Включение их в логическую шкалу ведет к естественным обобщениям классической алгебры логики.

Исходная, **базисная** неопределенность состояния знания субъекта двоичного свойства x проблемного субъекта характеризуется выражением «я знаю, что не знаю значение двоичного признака x». К этой форме сводятся разные виды неопределенностей, порождаемых различными причинами: нет ни одного источника информации, поэтому значение x неизвестно | значение признака известно, но неизвестны источники или свойства источников информации, нет оценки истинности значения $x =$да или нет | есть несколько не вполне надежных источников информации, одни присваивают признаку x значение «да», другие — «нет», т. е. знание субъекта в итоге остается неопределенным.

Обозначим внешнюю неопределенность, выводящую из двоичной шкалы допустимых логических значений, через знак «фатальный» «квадратный» ноль $\square$ и наделим его смыслом синтаксической или семантической ошибки в логическом процессе. Появление в логическом процессе квадратного нуля означает абсурд, бессмыслицу, катастрофическую, фатальную ошибку формализации либо реализации логического процесса. В четвертичной логической шкале

$\mathrm{Log}_4 = \{0, 1, \theta, \square\}$ можно выделить четыре троичных шкалы (подмножества значений) и соответствующие им четыре троичные логики, из них основной интерес представляет **трилогика** — объективированное обобщение классической логики со шкалой $\mathrm{Log}_3 = \{0, 1, \theta\}$ и тремя допустимыми значениями входных и выходных признаков логических операций — единица, ноль, биноль, интерпретируемых в шкалах да-нет, истина-ложь, не знаю. Следующим объективированным обобщением классической логики и трилогики является **тетралогика** с информационной шкалой $\mathrm{Log}_4 = \{\mathrm{Log}_3, \square\}$ с дополнительным значением киноль, знак абсурда. Следует заметить, что в изложенной семантике трилогики мы лишь временно нарушаем принцип «третьего не дано».

Таблица 1

№	ab	$\overline{a}$	$a+b$	$a \cdot b$	$a-b$	$a \to b$	$a \leftrightarrow b$	$a \oplus b$	$a\vert b$	$a \downarrow b$
1	00	1	0	0	0	1	1	0	1	1
2	0–	1	–	0	0	1	–	–	1	–
3	01	1	1	0	0	1	0	1	1	0
4	–0	–	–	0	–	–	–	–	1	–
5	––	–	–	–	–	–	–	–	–	–
6	–1	–	1	–	0	1	–	–	-	0
7	10	0	1	0	1	0	0	1	1	0
8	1–	0	1	–	–	–	–	–	-	0
9	11	0	1	1	0	1	1	0	0	0

Перенос операций классической логики в шкалы трилогики и тетралогики осуществляется по принципам поглощения биноля и воспроизведения киноля: если возможные вариации аргументов не изменяют результат, то неопределенность поглощается, если на входе появляется знак абсурда, то киноль воспроизводится на выходе [3]. В соответствии с принципом поглощения операции трилогики сведены в табл. 1, где биноль обозначен прочерком, полагая θ_a и θ_b независимыми (пятая строка).

Операции эквиваленции $a \leftrightarrow b = (a \to b) \cdot (b \to a)$ и дифференции $a \oplus b = (a - b) + (b - a)$ имеют более богатую реляционную, чем операционную семантику и интерпретируются как логические «равно» $a = b$ или «не равно» $a \neq b$. В трилогике мы пользуемся двоичными отношениями $0 = 0$, $1 = 1$,$0 \neq 1$, $1 \neq 0$ и переносим их на третье — неопределенное значение: $(0 \leftrightarrow \theta) = (\theta \leftrightarrow 0) = (\theta \leftrightarrow 1) = (1 \leftrightarrow \theta) = \theta$. Соотношение $(\theta \leftrightarrow \theta)$ более строго записывается в виде $\theta_a \leftrightarrow \theta_b = \theta$ — равенство неопределенностей есть неопределенность

Операция эквиваленции служит элементарным представлением адекватора D в трилогике. Мера адекватности $\nabla = D(\hat{x}, x) = \hat{x} \leftrightarrow x$ в троичной реализации истинного высказывания $x = C(\mathrm{obj})$ и субъектного высказывания $\hat{x} = AB(\mathrm{obj})$ также принимает троичные значения, $\nabla \in \mathrm{Bit}_\theta$. Изобразим троичный адекватор в виде матрицы и сравним ее с двоичной матрицей классической логики.

$x\,\hat{x}$	0	–	1
0	1	–	0
–	–	–	–
1	0	–	1

Здесь так же как в математической логике сохраняется отождествление двух видов истины и лжи. Случай, когда истина неизвестна, $x = \theta$ — средняя колонка, по традиции обычно отбрасывают и анализируют две оставшиеся ситуации неопределенности состояния наблюдателя, когда да или истина, $x = 1$ и нет или ложь, $x = 0$ принимаются за неопределенность $\hat{x} = \theta$ — средняя строка. В предикатной семантике эти случаи и в самом деле часто можно отождествить, если следствием неопределенного значения результата исследования $\hat{x} = \theta = \theta$ является решение о продолжении изучения неизвестного явления до установления истины $\hat{x} = 1$ или лжи $\hat{x} = 0$, в иных ситуациях подобное отождествление не всегда правомочно, $\theta_0 \neq \theta_1$.

Остается рассмотреть случай $x = \theta$ — второй столбец матрицы, реально соответствующий неопределенному значению цели исследования, скажем, из-за природной изменчивости свойств объекта, попеременно принимающего значения $x = 0$ и $x = 1$. В этом случае, строго говоря, ошибочными (ложными) будут решения $\hat{x} = 0$ и $\hat{x} = 1$, характерные для художественных текстов, идеологических, религиозных и т. п. высказываний, но адекватор их отмечает значениями $\nabla = \theta$, а утверждение $\hat{x} = \theta$, совпадающее по форме с истинным высказыванием $x = \theta$, имеет меру адекватности $\nabla = \theta$, так как неопределенность θ_x нельзя приравнять неопределенности $\theta_{\hat{x}}$, а можно записать лишь $\theta_x \leftrightarrow \theta_{\hat{x}} = \theta$. Последнее положение определяется как **постулат неопределенности трилогики**: совпадение неопределенностей значений идеального и реального информационных объектов порождает не истину, а всего лишь неопределенность.

Таким образом, при конкретизации формальной семантики трилогики мы имеем два вида истины — И_0, И_1, два вида лжи — Л_0, Л_1 и пять вариантов неопределенности Н_i, из которых ситуации ($x = \theta, \hat{x} = 0$) и ($x = \theta, \hat{x} = 1$) можно отнести к ослабленным вариантам лжи и назвать их полуложью ПЛ, когда действительную неопределенность называют, во-первых, истиной, а, во-вторых, ложью. Тогда семантическая матрица адекватора из троичной превращается в девятиричную, порождая многозначные логики от троичной до девятиричной, 9-значной, в которой все значения истинности различимы и можно построить невообразимое число бинарных операций.

$x\ \hat{x}$	0	–	1
0	$И_0$	$ПЛ_0$	$Л_1$
–	$Н_0$	$Н_\theta$	$Н_1$
1	$Л_0$	$ПЛ_1$	$И_1$

Если целью исследования считается поиск и достижение истинных объектов ($\overline{x}$), то элементы $(\hat{x}, x)$ матрицы имеют следующую интерпретацию: $И_1 = (1,1)$ — цель достигнута, $И_0 = (0,0)$ — ложная цель отвергнута, $Л_0 = (0,1)$ — пропуск цели, $Л_1 = (1,0)$ — ложная тревога, $Н_0 = (\theta, 0)$ — ложная надежда, $Н_1(\theta, 1)$ — обоснованный оптимизм, $ПЛ_1 = (1,\theta)$ — необоснованный оптимизм, $ПЛ_0 = (0,\theta)$ — необоснованный пессимизм, $Н_\theta = (\theta,\theta)$ — действительная неопределенность, которая в отличие от постулата неопределенности трилогики может иметь дополнительный смысл истинного, точно определенного знания того, что свойство x изменчиво, невоспроизводимо, неопределимо, поэтому $\theta_{\hat{x}} = \theta_x$ — **истинная** неопределенность.

Теперь рассмотрим информационные ситуации с логическими зависимостями неопределенных аргументов бинарных операций трилогики и, применяя принцип поглощения биноле, получим таблицу, которая определяет результаты логических операций при зависимых аргументах $a = \theta_a$, $b = \theta_b$ (табл. 2).

Таблица 2

Логич. связь	$a+b$	$a\cdot b$	$a-b$	$a\to b$	$a\leftrightarrow b$	$a\oplus b$	$a\vert b$	$a\downarrow b$
$a\to b$	–	–	0	1	–	–	–	–
$b\to a$	–	–	–	–	–	–	–	–
$a\to\bar{b}$	–	0	–	–	–	–	1	–
$\bar{b}\to a$	1	–	–	–	–	–	–	0
$a=b$	–	–	0	1	1	0	–	–
$a=\bar{b}$	1	0	–	–	0	1	0	1

При импликативной связи логических признаков неопределенности поглощаются для двух операций (одна есть отрицание другой) из восьми, представленных в таблице, исключение составляет связь $b \to a$ (вторая строка), в которой все восемь операций имеют неопределенный результат, что объясняется отсутствием в таблице асимметричных операций $b - a$ и $b \to a$, в которых при связи $b \to a$ биноли поглощаются, см. первую строку. Импликация $a \to b$ (обратная теорема) дает неопределенность при истинности связи $b \to a$ (прямой теоремы), это свойство так называемой абдукции — неверный логический вывод в двоичной классической логике «по аналогии», ложный при $a \neq b$. Для эквиальных связей признаков a и b биноли поглощаются четырьмя и шестью (последняя строчка) операциями трилогики в полном соответствии с определением базисного отрицания и законами противоречия и исключенного третьего.

Табл. 1 и 2 можно принять за исходные формальные определения операций трилогики, согласованные с информационной семантикой логических преобразований и отношений, как это принято в классической логике. Из этих определений однозначно следуют все законы классической логики, правила символьных преобразований булевой алгебры, их справедливость в трилогике — в шкале Bit_θ с зависимыми и независимыми неопределенностями: ассоциативность и коммутативность сложения, умножения, эквиваленции, дифференции, законы дистрибутивности, де Моргана, поглощения констант и переменных, эти законы без всяких изменений переносятся в трилогику.

ЧАСТОТНАЯ ЛОГИКА, ТРИЛОГИКА, ТРОИЧНАЯ ЛОГИКА ЛУКАСЕВИЧА

Оценим, в какой степени дискретная частотная логика с тремя значениями истинности {0,1/2,1} моделирует трилогику $\{0, 1, \theta\}$ при задании соответствия между информационным нулем θ и частостью истинности $1/2$. Для этого в множестве исходных высказываний выделим истинные $\underline{a} = 1$ и ложные $\underline{b} = 0$ высказывания, а остальным высказываниям в интервале истинности $0 < \underline{c} < 1$ припишем значение $\underline{c} = 1/2$. Аналогичный результат получается и для двух источников информации с согласованными (1,1) и (0,0) и противоречивыми (1,0) или (0,1) выходными данными. Ограничимся операциями из базиса Буля $(+, \cdot, \neg)$, из которых получаются все остальные операции арности $n \geqslant 2$.

Очевидно, унарная операция отрицания $c = \overline{a}$ имеет одинаковое выражение истинности в трилогике $\{0, 1, \theta\}$ и частотной логике, если приравнять θ=1/2, т. к. $\underline{c} = 1 - \underline{a}$, отсюда $0 = \overline{1}$, $1 = \overline{0}$, $\Theta = \overline{\Theta}$, 1/2 = 1 – 1/2. Бинарная операция умножения $c = a \cdot b$ в частотной логике является внелогической и величина истинности произведения ab должна быть задана априори внелогическими средствами, а в данном случае троичной частотной логики оно принимает одно из трех значений: 0, 1/2, 1. В трилогике произведение вычисляется по значениям a и b: $0 \cdot \theta = 0$, $1 \cdot \theta = \theta, \theta \cdot \theta = \theta$, если биноли логически независимы. В частотной логике этим соотношениям соответствуют априорные ограничения: $0 \leqslant \underline{ab} \leqslant \underline{a}, \underline{b} \leqslant 1, \underline{a} + \underline{b} \leqslant 1 + \underline{ab}$; $\underline{a} + \underline{b} \leqslant 1 + \underline{ab}$. В дискретной шкале значений $\underline{a}, \underline{b} \in \{0, \frac{1}{2}, 1\}$ эти неравенства превращаются в равенства, по ним однозначно восстанавливается значение $\underline{ab}$ в 8 случаев из 9, исключение составляет лишь произведение $\theta = \theta \cdot \theta$.

В самом деле, если $\underline{a}$ или $\underline{b} = 0$, то по первому неравенству $\underline{ab} = 0$, что соответствует в вещественной арифметике умножению на ноль и в результате будет ноль. При $\underline{a} = \underline{b} = 1$ величина $\underline{ab}$ из первого неравенства $\leqslant$1, а из второго $\geqslant$1, значит, $\underline{ab} = 1$, а если одно из этих значений равно 1/2, то получаем из первого неравенства $\underline{ab} \leqslant 1 * 2$, из второго $\underline{ab} \geqslant 1 * 2$, следовательно, $\underline{ab}$, что полностью соответствует случаю $1{\cdot}\theta = \theta$. Остается случай $\underline{a} = \underline{b} = 1/2$, соответствующий умножению независимых неопределенностей $\theta \cdot \theta = \theta$. Из неравенств и диаграммы Эйлера следует неопределенность частости произведения: $0 \leqslant \underline{ab} \leqslant$1/2 и, следовательно, в троичной частотной логике произведения может принимать только два значения $\underline{ab} = 0$ или $\frac{1}{2}$. Нулевому значению соответствует полная определенность составного высказывания — несовместность максимально неопределенных высказываний a и b и строгая импликативная связь между ними: $a \to \overline{b}$ и $b \to \overline{a}$. Второе значение $\underline{ab} = 1/2$, напротив, выражает максимальную неопределенность его истинности $\sigma_a = \frac{1}{2}$, когда ответы «да» и «нет», имеют одинаковую меру истинности, как и ответ «ни да, ни нет», поэтому семантически более обоснованным значением истинности неопределенного произведения $a \cdot b$ из двух возможных будет решение дискретных неравенств значением в виде $\underline{ab} = \frac{1}{2}$. Это значит, что в троичной частотной арифметике $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ — единственный случай из 9, отличающий троичное перемножение 0, $\frac{1}{2}$ и 1 от произведения в вещественной арифметике, т. к. в последней полученное значение $\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}$ не принадлежит троичной шкале и заменяется семантически оправданным значением $\frac{1}{2}$, которое соответствует ситуации логической независимости биноле́й.

Таблица, определяющая умножение будет такой:

$\underline{ab}$	0	$\frac{1}{2}$	1
0	0	0	0
$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
1	0	$\frac{1}{2}$	1

Она совпадает с таблицей трилогики, если переобозначить $\frac{1}{2}$ на θ, и в ней $\theta \cdot \theta = \theta$. Таким образом, при независимости неопределенностей в троичной частотной логике достаточно знать независимые истинности $\underline{a}$ и $\underline{b}$, чтобы вычислить все остальные истинности логических операций в полном соответствии с формулами трилогики.

Скажем, истинность суммы $a + b$ теперь может быть вычислена по формуле частотной логики $\underline{a + b} = \underline{a} + \underline{b} - \underline{ab}$. Легко убедиться, что все 9 возможных соотношений трилогики $\{0, 1, \theta\}$: $0 + \theta = \theta, \theta + \theta = \theta, 1 + \theta = 1$ и т. д. соответствуют сложению в троичной частотной логике, представленного таблицей:

$\underline{a + b}$	0	$\frac{1}{2}$	1
0	0	$\frac{1}{2}$	1
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
1	1	1	1

Для примера вычислим истинность суммы при $\underline{a} = \frac{1}{2}$, $\underline{b} = \frac{1}{2}$, тогда $\underline{ab} = 1/2$, $\underline{a + b} = \underline{a} + \underline{b} - \underline{ab} = \frac{1}{2}$.

Точно также доказывается справедливость остальных бинарных и n-арных операций, например, сумма трех признаков $c = a_1 + a_2 + a_3$, и имеет истинность $\underline{c} = \underline{a}_1 + \underline{a}_2 + \underline{a}_3 - \underline{a}_{12} - \underline{a}_{13} - \underline{a}_{23} + \underline{a}_{123}$, где $\underline{a}_i \in \{0, 1/2, 1\}$. По заданным $\underline{a}_i$ вычисляем $\underline{a}_{ij}$, и затем $\underline{a}_{ijk}$, а далее истинность $\underline{c}$; так, при $\underline{a}_1 = \underline{a}_2 = \underline{a}_3 = 1/2$, $a_{ij} = 1/2$, $a_{ijk} = 1/2$, $\underline{c} = 3 \cdot 1/2 - 3 \cdot 1/2 + 1/2 = 1/2$. Аналогично проверяется полное соответствие импликации $a \to b = \overline{a} + b$ и других функций этих логик.

Таким образом, частотная логика полностью воспроизводит не только двоичную классическую, но и трилогику, если информационному нулю θ и произведению $\theta \cdot \theta$ соотнести частость истинности, равную $\frac{1}{2}$. К соответствию этих логик можно подойти и с практической точки зрения: трилогика — троичная информационная логика является простейшей аппроксимацией частотной логики и расширяет возможности классической логики, учитывая не только истину и ложь, но и предельную неопределенность логического вывода, а программно-аппаратная реализация троичной арифметики гораздо проще и дешевле арифметики вещественной. Дополнительные погрешности в оценках частотной истинности, которые возникают при замене частостей, отличных от 0 и 1, значением $\frac{1}{2}$ можно оценить по формулам частотной логики.

Трилогика является предельным упрощением частотной логики и простейшим обобщением классической логики, которое учитывает внутреннюю неопределенность состояний информационно-логического процесса. Троичная шкала $\{0, \frac{1}{2}, 1\}$ появилась в исторически первой многозначной логике, созданной Я. *Лукасевичем* [5]. Он связывал построение трехзначной логики с «борьбой за освобождение человеческого духа», а его доказательство недостаточности классической логики для описания модальностей и необходимости построения неклассических систем некоторые ученые сравнили с открытием неевклидовой геометрии.

Промежуточное значение $\frac{1}{2}$ в этой шкале имеет неформализованную семантику, Лукасевич использовал термины «нейтральное» или «возможное» значение (чего?, если значение меры истинности и неопределенности, то мы приходим к частотной интерпретации числовых значений троичной шкалы: 0, $\frac{1}{2}$ и 1). Логическая система Лукасевича строится в базисе Фреге ($\lrcorner, \to$), негация определяется числовым вычитанием: $\bar{a} = 1 - a$, импликация выражается числовой функцией $a \to b = \max(1, 1 - a + b)$, остальные логические операции определяются в этом базисе по формулам классической логики, однако в троичной логике Лукасевича, в отличие от трилогики, результат переноса операций зависит от исходных формул. Так, если дизъюнкцию $a + b$ определить выражением $\bar{a} \to b$ или равным ему $\bar{b} \to a$, аналогично конъюнкцию $a \cdot b$ выразить формулой $\lrcorner(a \to \bar{b}) = \lrcorner(\bar{b} \to a)$, то законы противоречия и исключенного третьего будут справедливыми в этом варианте логики Лукасевича, если же взять за исходные формулы $a + b = (a \to b) \to b = (b \to a) \to a$, $a \cdot b = \lrcorner\left((\bar{a} \to \bar{b}) \to \bar{b}\right) = \lrcorner\left((\bar{b} \to \bar{a}) \to \bar{a}\right)$, которые используются в аксиоматизациях логики Лукасевича и других логик в работах А. *Тарского*, М. *Вайсберга*, Я. *Слупецкого* и др., то законы классической логики не выполняются. Причина этого факта состоит в том, что импликация Лукасевича отличается от импликации трилогики в одном значении из девяти: $\frac{1}{2} \to \frac{1}{2} = 1$ — в интерпретации Лукасевича: «Если из возможного логически следует возможное, то эта формула истинна», в нарушении информационного принципа поглощения неопределенностей, в согласии с которым «если из биноля следует логически независимый биноль, то эта формула имеет неопределенное значение биноль». Истина в этом случае будет только при наличии логических связей аргументов: $a \to b$ или $a = b$ — первая и предпоследняя строки табл. 2.

Следует отметить также связь импликации Лукасевича с приведенным выше обоснованием троичной аппроксимации частотной логики при выборе значения произведения $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 0$ или $\frac{1}{2}$. Там было выбрано значение $\frac{1}{2}$, но если конъюнкцию Лукасевича определить по правилу $a \cdot b = \lrcorner(a \to \bar{b})$, то произведение $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = 0$, а логическая сумма $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$, поэтому законы классической логики выполняются в этом неординарном варианте логики Лукасевича. При выборе формулы $a \cdot b = \lrcorner\left((\bar{a} \to \bar{b}) \to \bar{b}\right)$ имеем $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$, $\quad \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ — законы противоречия и исключенного третьего нарушаются, а сам выбор формул и аксиом логических систем не имеет в данной ситуации объективных оснований. По сходным причинам известные троичные логики Брауэра–Гейтинга, Черча, Гудстейна, Шестакова, Бочвара, Клини, Рейхенбаха не удовлетворяют информационным принципам объективных логик, не учитывают частотные и логические связи неопределенных логических признаков. Многочисленные существующие аксиоматизации этих и других логик привносят дополнительные семантические неопределенности и неадекватности информационной семантике логических процессов.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Развитие информационных систем и технологий, формализация информационной семантики и неопределенностей знаковых процессов позволили прояснить некоторые проблемы классической и неклассических логик. Логический подход к созданию новых информационных технологий является в настоящее время, пожалуй, наиболее распространенным при разработке интеллектуальных и экспертных систем в различных предметных областях. В этих исследованиях двоичная классическая логика обычно заменяется какой-либо неклассической логикой, по-видимому, более соответствующей информационной ситуации и поставленной проблеме. Число и разнообразие неклассических логик — модальных, интуиционистских, конструктивистских, монотонных, многозначных, индуктивных, вероятностных, размытых, правдоподобных, нечетких, диффузных, квантовых и т. д — экспоненциально растет со временем, вместе с тем эти логики пока не оказывают заметного влияния на теории и информационный инструментарий предметик.

Накопленный опыт с очевидностью показывает, что с позиций стоящих актуальных задач автоматизации человеческой деятельности основные трудности создания многозначных и других неклассических логик не формального синтаксического, математического или алгоритмического характера, а принципиально семантического свойства, они имеют весьма ограниченный смысл, обусловленный отсутствием строгих конструктивных определений истинности и неопределенности, общезначимых однозначно формализованных семантик неклассических логик, согласованных с традициями предметик и проверенными способами оценок достоверности, изменчивости объектов, погрешности измерений, вычислений, рассуждений и последствий принимаемых решений. В самом деле, реальные мыслительные информационные процессы и знания о материально-информационной реальности не укладываются в жесткую схему двузначности оценок всякого знания, но могут быть сведены (с некоторыми потерями информации и допустимыми приближениями) к наборам взаимосвязанных двузначных шкал, семантика которых может сильно отличаться от оценок истины или ее отрицания — лжи.

В аппарат трилогики и тетралогики явно вводятся общезначимые информационные нули — внутренний и внешний, относительно двоичной шкалы классической логики, биноль и киноль. В формализованной информационной семантике логического процесса биноль появляется в ситуациях: 1) логической признак не задан, $\hat{x} = \theta$, следовательно, истинное значение неизвестно, $x = \theta$, 2) признак $\hat{x}$ задан, но его истинность неизвестна $\nabla = \theta$ или неизвестен источник информации, породивший значение $\hat{x}$, либо неизвестны свойства источника, следовательно, $x = \theta$, 3) источники информации дают противоречивые сведения о значении x, по одним данным $\hat{x} = 0$, по другим $\hat{x} = 1$, следовательно, $x = \theta$, 4) процесс получения оценки значения признака привел к абсурду, $\hat{x} = \Box$, следовательно, $x = \theta$.

В информационно-логическом процессе в формализме тетралогики киноль возникает в следующих ситуациях: 1) при нарушении предусловий на входе и постусловий на выходе логической функции или отношения, операционной продукции, процедур контроля дедуктивной системы, 2) при анализе противоречий между фактическими данными, а также между фактами и априорикой решаемой проблемы, 3) при реализации операций тетралогики. Между информационными нулями θ и $\Box$ различных логических переменных возникают частотные и логические связи. Механизмы образования зависимостей между неопределенными классами объектов универсума различаемых в шкалах трилогики и тетралогики по сути те же, что и в любых других шкалах определенных значений, числовых и нечисловых, например, логическая связь бинолей θ_a и θ_b может быть обусловлена недоступностью измерения свойств a и b определенных классов объектов универсума предметики. Строя распределения численности или частости троичных и четверичных логических переменных по фактическим данным и теоретическим моделям получают естественные обобщения частотной логики и формальный аппарат **частотной трилогики** и **частотной тетралогики**. Следует подчеркнуть, что теоретическая истинность, неопределенность, противоречивость и другие модальности знания неотделимы от универсума информационных ситуаций, в котором оцениваются свойства знаний.

В трилогике и тетралогике, в отличие от частотной логики не происходит расщепления логической функции и выделения ее функции истинности и неопределенности, вычисления ведутся в соответствии с правилами, подобными алгебре классической логики. В трилогике выполняются все законы, эквивалентные и неэквивалентные (импликативные) преобразования классической логики, а функции многих логически независимых вариаций переменных выражаются через бинарные операции, справедлив также линейный нестрочный порядок $0 \leqslant \theta \leqslant 1$, если в двоичные шкалы ввести строгий порядок: нет < да, ложь < истины, $0 < 1$, а при отсутствии информационных нулей трилогика и тетралогика воспроизводят преобразования классической логики, при этом в шкале тетралогики выразимы обратные логические функции. Появление в логическом процессе абсурда и знака киноль ведет к нарушению законов логики и информатики, это важное отличие тетралогики от трилогики, в которой все законы выполняются.

Аппарат трилогики и тетралогики сложнее аппарата формализмов классической логики, но значительно проще частотной логики, что позволяет надеяться на применения информационных нулей в рассуждениях естественного интеллекта в среде естественного языка при описании типовых мыслительных ситуаций и решений. Другие применения неклассических логик с информационной семантикой относятся к созданию систем искусственного интеллекта и интеллектуальных интерфейсов. Частотная логика малопригодна для человеческих рассуждений — это инструмент машинного интеллекта, но в эргатических системах, в процессах общения автомата и человека, в процедурах объяснения машинных решений весьма полезными оказываются трилогика, тетралогика, аппроксимационные вербальные логики [3].

Язык любой логики ограничен и не универсален. Логики с информационной семантикой есть постепенный переход от двоичной классической логики к более сложным математическим и информационным моделям систем и технологий. Из всех мыслимых и фактически созданных логик особое место занимают логики, объективно описывающие состояния информационно-материальной реальности и содержащие собственный инструмент строгой оценки истинности и неопределенности логического вывода в рамках однозначно определенного формализма — прежде всего это классическая логика, отвергающая все недоопределенные и переопределенные значения переменных, оставляя их обработку неформализованной части естественного интеллекта, затем ее обобщения на неопределенные ситуации — трилогика, тетралогика, частотная логика и их комбинации, позволяющие учесть ошибки формализации, нарушения гипотезы двоичности Хризиппа, частичность и многозначность сенсоров и рефоров информационных систем и технологий.

Если частотная логика предполагает при реализации сложные машинные вычисления, то трилогика и тетралогика могут найти применение не только в упрощенных алгоритмах и аппаратных средствах автоматизированных систем, но и в процессах естественного мышления и языка. Дана Скотт сетовал: «Да, да, я слышу возражения, выкрикиваемые со всех сторон. Если мы собираемся использовать неопределенные термы, то почему нельзя использовать и неопределенные истинностные значения? Разве это не более естественно? Может быть и так, но сначала покажите мне пригодную для работы трехзначную логику. Я знаю, что такая логика может быть построена и, по меньшей мере, четыре раза в год кто-нибудь приносит новую идею, но до сих пор она не разработана до такой степени, чтобы с ней было приятно работать. Может быть, такой день настанет, но меня еще нужно убедить. Поэтому мой совет такой: продолжать работать с двузначной логикой, потому что ее легко понимать и использовать в приложениях ...» [6]. Ну а совет, который следует из предшествующего изложения — работать с подходящей объективной логикой и ее формализованной информационной семантикой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зверев, Г. Н.** Логическая семантика и дискретные аппроксимации / Г. Н. Зверев // Основания теоретической информатики. Разд. 5. Уфа : УГАТУ, 1997. 92 с.
2. **Зверев, Г. Н.** Частотная логика — альтернатива классической логике в новых информационных технологиях / Г. Н. Зверев // Информационные технологии. 1998. № 11. С. 2–10.
3. **Зверев, Г. Н.** Объективные многозначные логики в интеллектуальных системах моделирования и обработки информации / Г. Н. Зверев // Вестник УГАТУ. 2003. Т. 4, № 1. С. 20–34.
4. **Bolc, L.** Many-Valued Logics: Theoretical Foundations. / L. Bolc, P. Borowic. Berlin, 1992. Vol. 1
5. **Lukasiewicz, J.** Logica trojwartosciowa / J. Lukasiewicz // Ruch Filozficzny. Lwow, 1920. R. V, nr. 9.
6. Семантика модальных и интенсиональных логик. М. : Прогресс, 1981. 424 с.