

УДК 004.75

*Д.В. Катаев*

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, email: dkataev2024@gmail.com

## ПРИМЕНЕНИЕ ТУМАННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЭКОНОМИКЕ

**Ключевые слова:** туманные вычисления, цифровизация, цифровая трансформация, ресурсоориентированная экономика, облачные вычисления, экономика.

В статье рассматривается современное направление экономических расчётов, основанное на туманных вычислениях. Установлено, что основанные на таких вычислениях технологии позволяют работать с неопределёнными данными в экономических процессах. Дан общий обзор темы, результаты которого позволяют утверждать, что в настоящее время область туманных вычислений представляет собой перспективное направление цифровой экономики и цифровой трансформации бизнеса, особенно в западной литературе. В статье представлены примеры применения туманных вычислений в мире и в России, а также очерчены перспективы их развития. Установлено, что в мире основанные на туманных вычислениях технологии активно внедряются в промышленность, транспорт, энергетику и финансовый сектор. В России туманные вычисления также применяются в умных городах, промышленной автоматизации и экологическом мониторинге, однако примеры их применения единичны. В целом, результаты исследования позволяют утверждать, что туманные вычисления формируют новые подходы к обработке данных и управлению экономическими процессами в условиях ускоряющегося развития цифровой экономики.

*D.V. Kataev*

N.I. Lobachevsky National Research Nizhny Novgorod State University, Nizhny Novgorod, email: dkataev2024@gmail.com

## THE USE OF FOG COMPUTING IN ECONOMICS

**Keywords:** fog computing, digitalization, digital transformation, resource-based economy, cloud computing, economics.

The article examines the modern trend of economic calculations based on vague calculations. It has been established that technologies based on such calculations make it possible to work with uncertain data in economic processes. A general overview of the topic is given, the results of which allow us to assert that currently the field of cloud computing is a promising area of digital economy and digital business transformation, especially in Western literature. The article presents examples of the use of fog computing in the world and in Russia, as well as outlines the prospects for their development. It has been established that technologies based on cloud computing are being actively implemented in industry, transport, energy and the financial sector in the world. In Russia, fog computing is also used in smart cities, industrial automation, and environmental monitoring, but there are few examples of its use. In general, the results of the study suggest that cloud computing is shaping new approaches to data processing and managing economic processes in the context of the accelerating development of the digital economy.

В настоящее время мировая и российская экономика следуют за общим трендом – активным формированием цифровой экономики, т.е. «экономической деятельности, которая возникает в результате объединения людей, предприятий, устройств, данных и операций посредством цифровых технологий» [1], а также цифровой трансформацией средних и крупных субъектов экономической деятельности (бизнеса), которая имеет решающее значение для компаний и становится ключевым стратегическим конкурентным преимуществом в контексте развития цифровой экономики [2].

К наиболее перспективным направлениям цифровизации экономики и цифровой трансформации бизнеса можно отнести применение искусственного интеллекта (далее – ИИ) и машинного обучения, Интернета вещей (далее – IoT), технологии блокчейн, использование нейросетей, облачных вычислений, цифровых двойников и др. Исключением не являются и так называемые туманные вычисления (англ. fog computing, fog networking, fogging), которое связано с использованием методов нечеткой логики (англ. fuzzy logic) для моделирования сложных и неопределенных

экономических процессов. Учитывая геополитическую и геоэкономическую напряжённость современной системы международных отношений [3], а также общую неопределенность мировой экономики [4], исследование туманных вычислений представляет собой как нельзя более перспективное направление научных исследований, однако в российской академической среде этому типу вычислений уделяется мало внимания, тогда как российская экономика находится не в самом стабильном состоянии, а её будущее пока представляется достаточно туманным, в связи с чем туманные вычисления как перспективный метод ИИ [5] могут оказать поддержку в рамках экономического моделирования.

### **Цель исследования**

Цель статьи – обзор современных тенденций в области применения туманных вычислений в мировой и российской экономике.

### **Материал и методы исследования**

Исследование основано на систематизации научной информации, представленной как в трудах автора теории нечётких множеств Л. Заде [10, 11], так и в систематических литературных обзорах, посвящённых прогрессу и перспективам развития туманных вычислений [12-15], а также иных работах, дающих представление о состоянии современной цифровой экономики и цифровой трансформации бизнеса [1-9].

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Цифровизация экономики – это не новое явление, процесс перемещения информации в цифровое пространство начался, по сути, с развитием первых вычислительных машин в 1960-х гг. [6]. Следуя за научно-техническим прогрессом, этот процесс только набирает обороты. В настоящее время, как в научной литературе, так и бизнес-среде принято говорить о четвертой промышленной революции, также известной, как индустрия 4.0, которая характеризуется активным применением цифровых технологий. Более того, в развитых странах, в частности, в Японии, речь уже заходит о формировании индустрии 5.0 [7], что

лишний раз подчёркивает скорость цифровизации всего общественного развития. Между тем, цифровизация означает лишь процесс интеграции информационно-коммуникационных и цифровых технологий и решений, тогда как следующим идущим за ней этапом считается цифровая трансформация. Цифровая трансформация означает не просто переключение субъектов экономики на виртуальные рельсы взаимодействия и использование тех или иных цифровых технологий (которые, хотя и распространены, всё же доступны не каждой организации с точки зрения затрат), а качественное преобразование самой экономической деятельности на организационном уровне, включая «процесс обновления программных решений» [6], в контексте развития цифровой экономики [8], т.е. «системы экономических, социальных и культурных отношений, основанных на использовании цифровых информационно-коммуникационных технологий» [6]. Иными словами, в условиях цифровой трансформации каждый человек становится homo digitalis [9], т.е. в некотором смысле сам становится частью цифровых и кибернетических систем. Однако, активное наращивание новых цифровых решений происходит в условиях не только и без того невероятно убыстряющего темпа жизни и деловой активности, что поддерживает конкуренцию в контексте формирования и развития цифровой экономики, но и в условиях кризисов и негативных факторов внешней среды, что в совокупности усиливает неопределённость: информация становится всё менее достаточной и/или всё более размытой, а прогнозирование практически сходит на «нет». В отличие от традиционных подходов, оперирующих точными данными и строгими математическими зависимостями, работать с присущей большинству экономических систем неопределённостью позволяют туманные вычисления.

### **Туманные вычисления: обзор темы и суть понятия**

Туманные вычисления основаны на теории нечетких множеств (англ. fuzzy set theory), предложенной Лотфи Заде в 1965 г. [10] (оригинальная публи-

кация Заде процитирована более сотни тысяч раз), который и в настоящее время продолжает развивать эту теорию [11]. Туманные вычисления позволяют заменять традиционные четкие множества на туманные, в которых элементы могут принадлежать к множеству с определенной степенью принадлежности. Так, Л. Заде на простом примере объясняет суть нечёткой логики, которая, вопреки заблуждениям, является точной системой рассуждений (табл. 1).

В данном примере дедукция зависит от точного определения «большинства», «вполне вероятного» и «высокого», поскольку в нечеткой логике точное определение значения является необходимым условием для дедукции, а проблема точности занимает центральное место. При этом, в отличие от многих иных логических систем, нечеткая

логика – это гораздо больше, чем просто логическая система. Отправной точкой в нечеткой логике является концепция нечеткого множества. Неформально, нечеткое множество – это класс с нечеткими границами, что подразумевает, что в целом переход от принадлежности к нечеткому множеству к нечеткому не-множеству происходит постепенно, а не резко. Множество – это класс с четкими границами (рис. 1). Основные аспекты нечеткой логики показаны ниже (рис. 2).

Л. Заде отмечает, что как наука о языке моделирования нечеткая логика имеет дело не с реальностью, а с моделями реальности. Чаще всего реальность является нечеткой, поэтому для построения реалистичных моделей реальности требуется использование нечеткой логики, а не бивалентной логики [11, Р. 45].

**Таблица 1**

Примеры использования логики дедуктивного рассуждения

Бивалентная логика Аристотеля	Нечеткая логика
Все люди смертны	Большинство шведов высокого роста
Сократ – человек	Магнус – швед
Следовательно:	
Сократ смертен	Вполне вероятно, что Магнус высокий

Источник: [11, Р. 21].



Рис. 1. Суть теории нечетких множеств в представлении её автора Л. Заде [11, Р. 23]

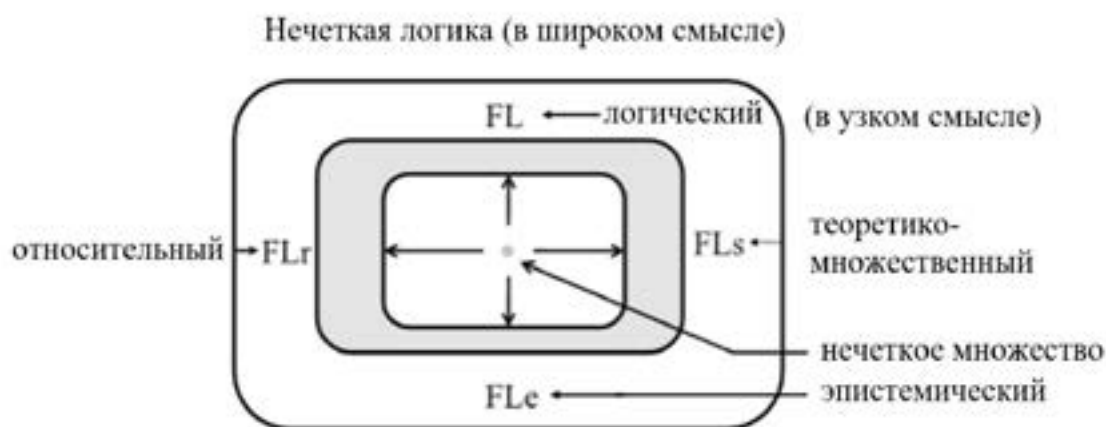


Рис. 2. Ключевые аспекты нечеткой логики в представлении Л. Заде [11, Р. 24]

**Таблица 2**

**Этапы развития туманных вычислений**

№	Этап	Описание
1	Использование элементарных вычислений (счётных палочек)	Передача информации примитивными средствами за неимением телекоммуникационных сетей
2	Появление механических вычислительных средств	Активное развитие телеграфных и телефонных сетей, появление калькуляторов
3	Появление электронных вычислительных машин (ЭВМ)	Начало централизации обработки Информации, активное развитие сетей передачи данных
4	Появление персональных компьютеров	Активное развитие сети Интернет и других сетей обмена данными
5	Появление суперкомпьютеров и расцвет индустрии 4.0	Активное развитие Big и Data Mining, появление центров обработки данных (ЦОД), развитие рынка Интернета вещей, возникновение и закрепление облачных и туманных вычислений

И с т о ч н и к : составлено автором по [12].

**Таблица 3**

**Ключевые отличия туманных и облачных вычислений**

Характеристика	Туманные вычисления	Облачные вычисления
Принцип работы	Основаны на нечеткой логике, работают с неопределенными данными	Основаны на классических вычислениях, обеспечивают удаленные сервисы
Область применения	Экономика, анализ рисков, предсказательное моделирование, системы принятия решений	Обработка больших данных, хранение информации, онлайн-сервисы, ИИ и машинное обучение
Тип данных	Нечеткие, размытые, вероятностные	Точные, детерминированные, формальные
Основная цель	Обработка неполных и неточных данных для прогнозирования и оптимизации	Доступность и масштабируемость вычислительных ресурсов
Примеры применения	Прогнозирование спроса, оценка экономических рисков, интеллектуальные экспертные системы	Облачное хранилище (Google Drive), потоковые сервисы (Netflix), облачные вычисления (AWS, Azure) и др.

И с т о ч н и к : составлено автором по [13-14].

Развитие именно туманных вычислений как термина и понятия берёт своё начало в начале десятых годов XXI в., что было связано с качественно новой интерпретацией вычислительных систем, связанной с активным распространением облачных вычислений (англ. cloud computing), и с этого момента можно выделить ряд этапов в истории развития туманных вычислений (табл. 2).

Туманные вычисления стали реальны вследствие возможности реализации бесшовных дополнительных вычислений, активного увеличения количества терминалов и целесообразности разгрузки централизованных, в том числе облачных систем. Важно отметить, что туманные вычисления фундаментальным образом отличаются от облачных (табл. 3). Суть отличий заключается в направленности таких вычислений: если облачные вычисления предназначены для масштабируемых вычислений, управления ресурсами и доступа к удаленным сервисам через интернет, то туманные вычисления используются для работы с неопределенными, приблизительными и размытыми данными. Вместе с тем, несмотря на явные различия, туманные вычисления могут использовать облачные платформы: в таком случае туманные вычисления является методологией обработки данных, а облачные вычисления – инфраструктурой, в которой эти вычисления выполняются. Туманные вычисления относятся к мягким вычислениям (англ. soft computing) и частью метавселенной наряду с искусственными нейронными сетями, роевым интеллектом и эволюционными алгоритмами [13].

Возможности туманных вычислений находят применение в различных терминалах, однако основную их часть составляют устройства IoT, взаимодействующие посредством беспроводных технологий. В то же время, хотя и в ограниченном масштабе, в настоящее время уже применяются датчики IoT, подключаемые по кабельным линиям. Их работа становится возможной благодаря использованию специализированных адаптеров, интегрируемых в состав концентраторов нагрузки либо подключаемых к ним отдельно. Вопрос о целесообразности внедрения таких концентраторов требует дополнительного технико-экономического обоснования, однако это не затрагивает ключевые прин-

ципы туманных вычислений [12]. Для реализации таких вычислительных процессов задействуются не только базовые станции (англ. base station) и их контроллеры (англ. base station controller), но и широкий спектр вспомогательных технических решений (обслуживающий шлюз (англ. SGW), шлюз для сетевой пакетной передачи данных (англ. PGW), сервер абонентских данных (англ. HSS), сеть большого радиуса действия с низким потреблением энергии (англ. LPWAN)) [12]. Концепция туманных вычислений основывается, таким образом, на определенных принципах (рис. 3). Вместе с тем, природу туманных вычислений можно объяснить через семь основных показателей (табл. 4)

Также ниже показана архитектура туманных вычислений, которая включает в себя уровень IoT, уровень туманных вычислений и уровень облачных вычислений (рис. 4). Туманные вычисления вообще обладают широчайшим спектром применения, поскольку кроме всего прочего они могут активно задействовать вспомогательные технологии (облачные вычисления, расчет точки росы, пограничные вычисления (англ. edge computing), мобильные вычисления, квантовые вычисления и мн. др. В недавнем мета-систематическом обзоре показано, что таксономия туманных вычислений включает в себя целевое применение в таких областях, как производство, нефтегазовая промышленность и промышленный IoT, энергетические сети, транспорт, телекоммуникации, умное здравоохранение, розничная торговля, умные города, управление цепочками поставок, сельское хозяйство, строительство, доставка и кеширование контента, мониторинг окружающей среды и изменения климата, умные дома, развлекательные системы, интерактивные игры [14].

В современной экономике туманные вычисления важны потому, что многие параметры (экономический рост, инфляция или даже потребительское поведение) характеризуются не столько точными значениями, сколько неопределенностью. Например, предсказать потребительский спрос на товар или услугу можно без использования точной измеренной величины, а в рамках рангового уровневого представления («низкий», «средний» или «высокий») с учетом определенной вероятности наступления.

Ключевые показатели туманных вычислений

Показатель	Описание
Задержка	Время передачи данных между пользователем и сервером
Надёжность	Способность системы функционировать в сложных условиях
Масштабируемость	Возможность адаптации ресурсов к изменяющемуся спросу
Безопасность	Защита данных от несанкционированного доступа
Качество обслуживания	Уровень производительности вычислительных и сетевых сервисов
Потребление энергии	Объём энергозатрат при выполнении вычислений
Доступность ресурсов	Количество доступных ресурсов для выполнения задач

Источники: составлено автором по [14]

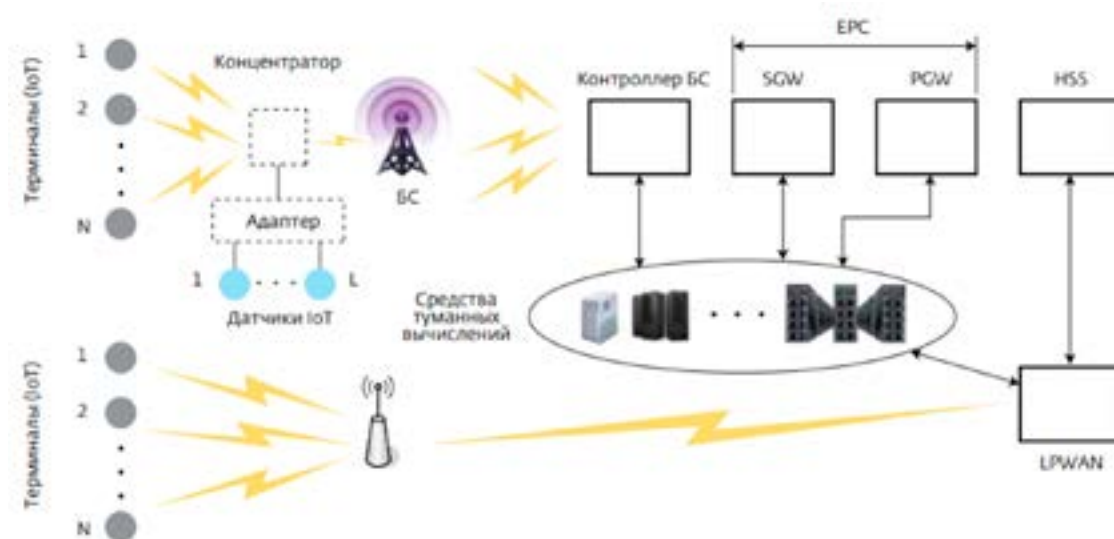


Рис. 3. Общие принципы реализации туманных вычислений [12]

Важным аспектом применения туманных вычислений является их способность создавать гибкие модели, которые могут адаптироваться к изменениям внешних условий. Так, в условиях постоянных колебаний экономической среды, будь то изменение рыночной конъюнктуры, политические или социальные изменения, традиционные модели нередко оказываются недостаточно точными. Туманные вычисления позволяют учитывать неопределенности и эффективно прогнозировать их влияние на экономические процессы. В частности, прогнозирование изменения цен на нефть или валютных курсов посредством нечеткой логики позволяет учесть различные сценарии развития, что может помочь в принятии более обоснованных управленческих решений.

Нечеткая логика, лежащая в основе туманных вычислений, также применяется в области управления рисками, когда важнейшее значение имеют точность и своевременность оценки. Например, в рамках оценки кредитных рисков не всегда возможно оперировать четкими критериями, так как заемщики могут иметь разное финансовое положение и кредитную историю, что создаёт неопределенность в прогнозах. В таких случаях использование туманных вычислительных моделей позволяет оценить вероятность дефолта или просрочки с учётом, как числовых параметров, так и качественных характеристик заемщика или ситуации на рынке.

Методы туманных вычислений также находят применение в управлении спросом и предложением на рынках. В тради-

ционных моделях, как правило, предполагается, что спрос можно точно вычислить, исходя из изменения цен или иных факторов. Однако в реальности на предпочтения потребителей влияют множество неформализованных факторов (социальные тренды, личные предпочтения, культурные особенности или опубликованный лидером мнений пост в социальной сети). Посредством нечёткой логики можно создавать модели, которые более точно отражают такие явления, а также

эффективно прогнозируют изменение спроса в условиях неопределенности.

Одной из перспективных областей применения туманной экономики также является разработка сложных моделей для макроэкономического анализа. Экономические кризисы, изменения в мировых рынках и нестабильность политической ситуации нередко, особенно в последние годы, создают неопределенность, которая довольно сильно затрудняет традиционные методы прогнозирования.

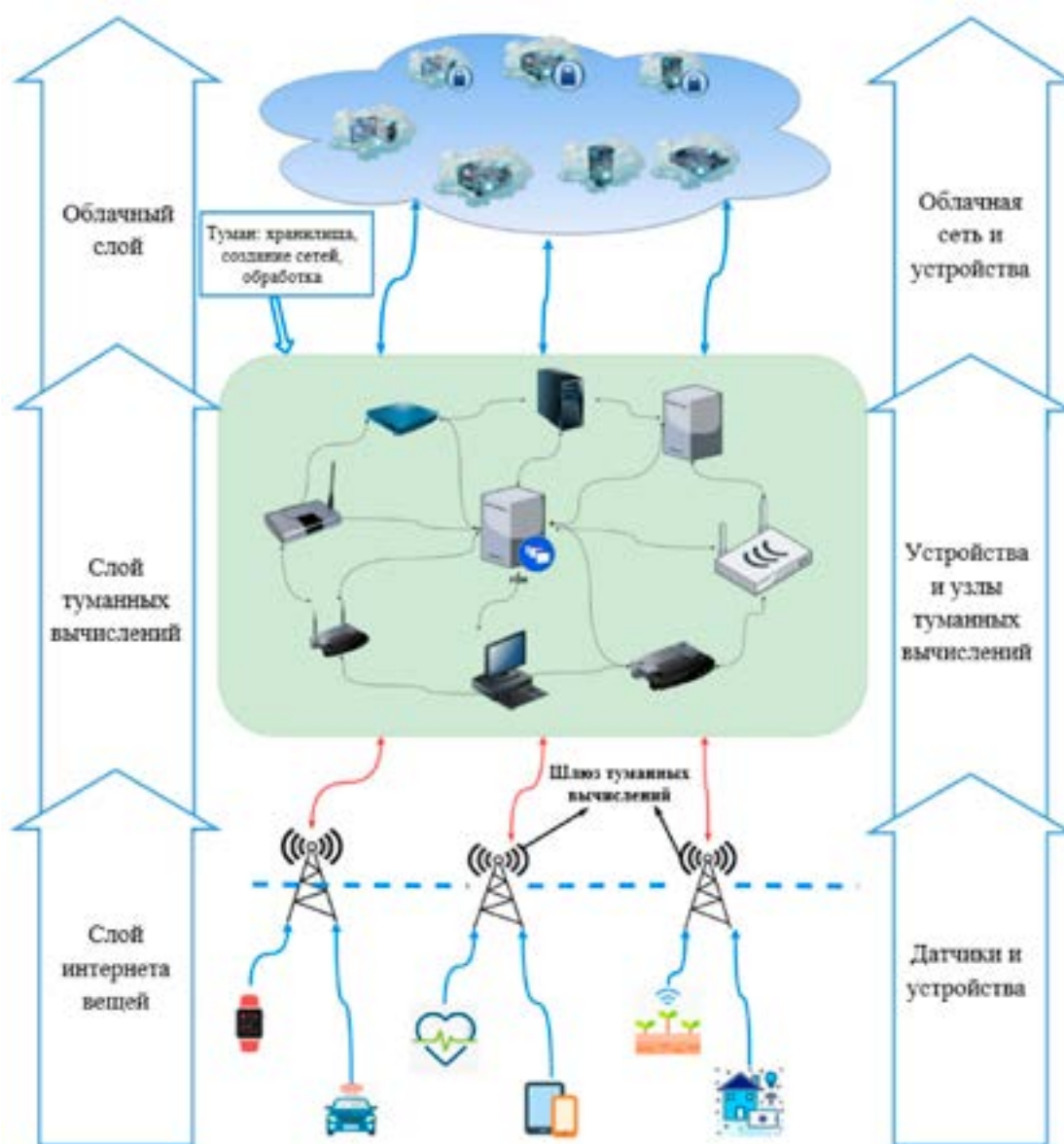


Рис. 4. Архитектура туманных вычислений [14]

**Таблица 5**

**Примеры практического применения туманных вычислений в мире**

Пример использования	Регион(-ы)
Система обеспечения конфиденциальности для краудсорсинговых транспортных сетей	Китай, Австралия
Управление дорожным движением: модели дорог, аренда такси, контроль парковок, прогнозирование спроса на автобусных станциях	Румыния
Контекстно-ориентированные системы связи в транспортных сетях	Италия
Программируемая среда для услуг IoT в умных городах	Германия, Япония
Оптимизация сетевой архитектуры для умных городов, снижение задержек в пользовательских приложениях	Иордания
Оптимизация работы светофоров с учетом реального трафика	Вьетнам, Сингапур
Автоматизированные системы помощи водителям на основе туманных вычислений	Канада
Система управления сельскохозяйственными процессами на основе IoT	Италия
Оптимизация энергопотребления в умных зданиях	Алжир, Бельгия
Распределение ресурсов в микроэнергетических сетях в умных зданиях	Пакистан, Саудовская Аравия

И с т о ч н и к : составлено автором по [14].

Использование туманных вычислений позволяет формировать модели, учитывающие различные сценарии экономического развития, что предоставляет возможность более точно оценивать риски и вырабатывать меры для стабилизации экономики. Так, прогнозирование уровня инфляции или уровня безработицы в условиях экономической нестабильности может быть значительно точнее с применением методов туманных вычислений.

Туманные вычисления применимы и в бизнесе, а их бизнес-модели могут варьироваться в зависимости от отрасли применения и конкретного варианта использования и, в частности, включать в себя корпоративные системы, бизнес-поддержку, операционную поддержку, мониторинг и управление, датчики и исполнительные устройства [14].

Таким образом, применение туманных вычислений в экономике открывает новые возможности для формирования более гибких, адаптивных и точных моделей, которые способствуют лучшему пониманию и прогнозированию экономических процессов в условиях неопределенности, что, в свою очередь, улучшает процесс принятия управленческих решений как на микро-, так и на макроэкономическом уровнях.

**Примеры применения туманных вычислений в мире и России**

Использование туманных вычислений охватывает широкий спектр отраслей, в которых важными являются низкие задержки, распределенная обработка данных и высокий уровень безопасности. Так, в транспортной сфере туманные вычисления применяются для управления дорожным движением, интеллектуального контроля светофоров и обеспечения конфиденциальности в краудсорсинговых транспортных сетях, что подтверждено исследованиями, проведенными в Китае, Австралии, Вьетнаме и Сингапуре. В умных городах основанные на туманных вычислениях технологии обеспечивают оптимизацию сетевой архитектуры и сокращение времени отклика пользовательских приложений, что показывают проекты, реализованные в Германии, Японии и Иордании. В промышленности и сельском хозяйстве внедряются системы управления ресурсами, использующие туманные вычисления для обработки данных с IoT-устройств, автоматизации процессов и оптимизации энергопотребления, что показано в исследованиях, проведенных в Италии, Бельгии и Алжире [14]. В энергетическом секторе туманные вычисления применяются в микроэнерге-

тических сетях, что позволяет оптимизировать распределение ресурсов и повысить устойчивость систем, примеры чего имеются в Пакистане и Саудовской Аравии [13].

Обобщая подробные систематические литературные обзоры в области туманных вычислений, можно выделить ключевые примеры их практического применения в различных регионах мира (табл. 5).

В России основанные на туманных вычислениях технологии, хотя и реже, также находят применение в различных отраслях, что способствует повышению эффективности и оперативности обработки данных. Так, например, в горнодобывающей промышленности было разработано решение «интеллектуальный карьер», в котором туманные вычисления используются для мониторинга и управления оборудованием в реальном времени, что улучшает безопасность и производительность производственных процессов [15]. В сфере экологического мониторинга внедрение туманных вычислений позволяет обрабатывать данные с датчиков непосредственно на местах их сбора, что снижает нагрузку на центральные серверы и обеспечивая оперативное реагирование на изменения окружающей среды. Кроме того, в рамках концепции «умных городов» туманные вычисления применяются для управления транспортными потоками и системами видеонаблюдения, что обеспечивает быструю обработку информации и повышение качества городских сервисов.

Нельзя не отметить, что на государственном уровне, ещё в 2016 г., было поручено разработать инфраструктуру туманных вычислений [15], что подчеркивает стратегическую важность этой технологии для развития российской цифровой экономики.

### **Перспективы развития туманных вычислений в мире и России**

Нечеткие системы предназначены для формализации и интерпретации человеческих знаний и логических рассуждений, что позволяет компьютерам обрабатывать такую информацию и использовать её в процессе принятия решений. Применение туманных вычислений

в области мягких вычислений расширяет возможности моделирования и управления сложными процессами и обеспечивает эффективные инструменты для работы с неопределёнными или неточными данными. Подобные свойства делают их востребованными в разработке метавселенных, в рамках которых требуется анализировать поведенческие модели пользователей, формировать виртуальные пространства и управлять цифровыми аватарами. Ожидается, что дальнейшее развитие метавселенных будет связано с активным внедрением нечетких систем, что позволит создавать более детализированные и реалистичные виртуальные среды. Применение туманных вычислений в моделировании таких динамических процессов, как регулирование потоков движения в виртуальных городах или воссоздание климатических условий в цифровых мирах, сможет обеспечить большую адаптивность и точность симуляции. Кроме того, туманные вычисления способны повысить интеллектуальные возможности аватаров, в результате чего их взаимодействие с пользователями становится более естественным и приближенным к реальному общению [14].

Развитие туманных вычислений направлено на повышение автономности распределённых систем, интеграцию с технологиями ИИ и совершенствование механизмов управления ресурсами в гетерогенных вычислительных средах. Внедрение адаптивных архитектур позволит повысить эффективность обработки данных в реальном времени, что особенно актуально для приложений с высокой степенью неопределённости и динамичностью входных параметров. Развитие стандартов взаимодействия между облачными, туманными и пограничными узлами обеспечит согласованное распределение вычислительных нагрузок и минимизацию задержек [14]. Совершенствование методов обеспечения безопасности и конфиденциальности данных, включая разработку гибридных криптографических решений, также станет ключевым направлением дальнейших исследований [13]. Кроме того, внедрение концепций циркулярной экономики в инфраструктуру туманных вычислений повысит устойчивость рас-

пределённых систем за счёт более эффективного использования ресурсов и управления энергопотреблением [14].

Однако вместе с тем в литературе выделяются и основные проблемы интеграции туманных вычислений в экономику, к ключевым из которых можно отнести следующие: отсутствие масштабируемых инфраструктур, недостаточную разработку экономических моделей, высокую сложность координации распределённых вычислительных узлов, отсутствие унифицированных стандартов взаимодействия, ограничения по вычислительным ресурсам периферийных устройств, сложности в управлении энергопотреблением, необходимость внедрения устойчивых механизмов кибербезопасности, риски нарушения конфиденциальности данных, отсутствие эффективных стимулов для участия частных операторов в развертывании туманных сетей, недостаточную адаптированность существующих бизнес-моделей к особенностям распределённой обработки данных [14]. Кроме того, в настоящее время облачная экономика сосредоточена на ценообразовании облачных сервисов, посреднических механизмах, которые предоставляют доступ к соответствующим облачным ресурсам или сервисам на основе требований пользователя, а также мониторинге для определения того, гарантируются ли надлежащие соглашения об уровне обслуживания (англ. SLA). Однако перспективная туманная экономика пока ещё подробно не исследована в научной литературе ни в одном из этих направлений, что оставляет значительный простор для будущей работы. Вместе с тем, в 2024 г. затраты на глобальном рынке туманных вычислений выросли на 23 % [15], что подчеркивает их значимость для цифровой экономики.

В России туманные вычисления относятся к основным направлениям развития российских информационных и коммуникационных технологий, согласно действующей Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 гг. Перспективы применения туманных вычислений в стране обусловлены потребностью в эффективной обработке данных в условиях значительных географических расстояний и неравномерной плот-

ности населения. Туманные вычисления позволяют обрабатывать информацию ближе к источнику её возникновения, что особенно актуально для удалённых регионов, когда централизованные облачные решения могут быть менее эффективными. Внедрение туманных вычислений может способствовать развитию IoT и обеспечивать низкую задержку передачи данных и улучшенную взаимосвязь с конечными устройствами, что открывает новые возможности для промышленности, транспорта и городского хозяйства и позволяет создавать интеллектуальные системы управления и мониторинга. Кроме того, развитие туманных вычислений в России поддерживается на государственном уровне, что подчёркивает стратегическую значимость этой технологии для цифровой трансформации страны, хотя в последнее время ни в авторитетной научной литературе (в отличие от западной), ни на высшем уровне развития этого направления практически не уделяется внимания.

### Выводы

Развитие туманных вычислений отражает необходимость адаптации вычислительных технологий к условиям высокой неопределённости, характерной для современной экономики. Их применение предоставляет инструменты для анализа сложных и динамичных систем, в результате чего становится возможным прогнозирование макроэкономических показателей, управление рисками и оптимизация бизнес-процессов. В отличие от традиционных методов обработки данных, туманные вычисления позволяют работать с присущей большинству экономических систем неопределённостью. Использование основанных на таких вычислениях технологий способствует формированию новых моделей управления ресурсами и организационными структурами и повышает эффективность принятия управленческих решений во многих сферах экономики.

Практическое внедрение туманных вычислений включает в себя различные отрасли, включая промышленность, транспорт, энергетику и финансовый сектор. В мировой практике технологии используются для автоматизации про-

цессов, управления сложными инфраструктурами и повышения безопасности данных. В России возможности их применения определяются как технологическими факторами, так и стратегическими задачами развития цифровой экономики. Перспективность направления обусловлена потребностью в построении устойчивых вычислительных систем, способных обеспечивать работу интеллектуальных сервисов и адаптироваться

к изменяющимся экономическим условиям. Тем не менее, на основании проведенного обзора можно утверждать, что в настоящее время тема туманных вычислений намного более востребована в западных странах, чем в России, свидетельством чего является, в частности, отсутствие серьезных публикации на эту тему. В рамках настоящего исследования предпринята попытка восполнить этот пробел.

*Библиографический список*

1. Javaid M. et al. Digital economy to improve the culture of industry 4.0: A study on features, implementation and challenges // *Green Technologies and Sustainability*. 2024. No. 1. P. 1-19.
2. Cosa M. Business digital transformation: strategy adaptation, communication and future agenda // *Journal of Strategy and Management*. 2024. Vol. 17. No. 2. P. 244-259.
3. Язан Х., Карадже Т.В. Геоэкономические стратегии как инструмент борьбы за мировое лидерство // *Этносоциум и межнациональная культура*. 2024. Т. 4. № 190. С. 109-115.
4. Londono J.M., Ma S., Wilson B.A. The global transmission of real economic uncertainty // *Journal of Money, Credit and Banking*. 2024. No. P. 1-31.
5. Saber T., Naeher D., Bendeche M. Intelligent computational methods for economics // *Expert Systems*. 2024. Vol. 41. No 2. P. 1-3.
6. Фролов К.В., Бабкин А.В., Фролов А.К. Понятие и сущность цифровизации и цифровой трансформации на основе фундаментальных и прикладных аспектов системно-кибернетической теории // *π-Economy*. 2024. Т. 17. № 1. С. 7-26.
7. Глухов В.В. и др. Теоретические положения программирования стратегического развития промышленности в условиях формирования Индустрии 5.0 // *π-Economy*. 2024. Т. 17. № 5. С. 61-87.
8. Нигай Е.А. Цифровизация или цифровая трансформация: выбор направления развития бизнеса // *ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика*. 2024. № 1. С. 91-106.
9. Torrent-Sellens J. Homo digitalis: narrative for a new political economy of digital transformation and transition // *New Political Economy*. 2024. Vol. 29. No. 1. P. 125-143.
10. Zadeh L.A. Fuzzy sets // *Information and control*. 1965. Vol. 8. No. 3. P. 338-353.
11. Zadeh L.A. Fuzzy logic // *Granular, fuzzy, and soft computing*. New York, NY: Springer US, 2023. P. 19-49.
12. Пинчук А., Соколов Н., Фрейнкман В. Общие принципы туманных вычислений // *Первая мила*. 2018. № 3 (72). С. 38-45.
13. Tavana M., Sorooshian S. A systematic review of the soft computing methods shaping the future of the metaverse // *Applied Soft Computing*. 2024. Vol. 150. P. 1-16.
14. Singh J., Singh P., Gill S. S. Fog computing: A taxonomy, systematic review, current trends and research challenges // *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2021. Vol. 157. P. 56-85.
15. Туманные вычисления // *Tadviser*. [Электронный ресурс]. URL: <https://clek.ru/3GetsC> (дата обращения: 28.02.2025).

Дата поступления статьи в редакцию: 28.02.2025

Дата принятия статьи в печать: 21.03.2025