

# Байесовские интеллектуальные технологии: методология и применение в задачах цифровизации

С. В. Прокопчина

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет), Financial University

**Аннотация.** В работе предлагается методология байесовских интеллектуальных технологий (БИТ) для решения задач цифровизации научной, производственной и управленческой деятельности в качестве одного из перспективных направлений создания методологической основы и технологической базы. В рамках данной концепции БИТ реализуются на основе регуляризирующего байесовского подхода (РБП). Приведено обобщенное уравнение БИТ на основе РБП. Сформулированы основные принципы и свойства БИТ, важные для решения практических задач цифровизации. Даны примеры разработанных прикладных систем БИТ, ориентированных на функционирование в условиях информационной неопределенности.

**Ключевые слова:** регуляризирующий байесовский подход; байесовские интеллектуальные технологии; цифровизация

## I. ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуализация становится неотъемлемой частью любых задач измерения, моделирования, познания, контроля, принятия решений, управления во всех сферах человеческой деятельности. И эта тенденция усиливается, а методология интеллектуализации непрерывно совершенствуется в соответствии с усложнением решаемых задач. Особую актуальность интеллектуальные технологии приобретают в связи с цифровизацией деятельности общества.

В современном информационном мире по поводу цифровизации существует несколько различных мнений.

Одно из них сводится к утверждению, что цифровизация – это хорошо знакомая автоматизация обработки данных. Второе мнение основано на рассмотрении цифровизации как процесса, отдельного от основных производственных и иных общественных процессов, самоценного и самодостаточного. По третьему мнению цифровизация определяет переход к новой эпохе информационного развития человеческой цивилизации. Существуют и другие мнения.

Несмотря на различие этих оценок, можно отметить и некоторые общие и истинные положения, содержащиеся в них.

Действительно, процессы цифровизации включают этапы автоматической и автоматизированной обработки

данных, Решения, получаемые с применением методов цифровизации, безусловно, могут быть самоценны: такие, например, как оценки состояний реальных систем, их потенциалов, критических ситуаций, динамики и тенденций развития, прогнозов, рекомендаций и так далее. И при полномасштабной и рациональной реализации цифровых технологий общество может получить значительные преимущества, дополнительные блага и сервисы, новые возможности для непрерывного позитивного развития как ресурсной базы, так и члена каждого общества.

Однако, важно понимать, что все это не может состояться на основе имеющихся технологических решений и средств, без наличия новых эффективных методов и средств, соответствующих новым задачам, специфике объектов и процессов цифровизации.

В работе рассматриваются методологические и практические вопросы разработки систем и платформ цифровизации для реализации вышеперечисленных задач.

## II. ОБОСНОВАНИЕ СПЕЦИФИКИ ЗАДАЧ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Важно отметить, что процесс реализации цифровых технологий в прикладных задачах науки и бизнеса принципиально отличается от процессов автоматизации обработки данных по нескольким аспектам.

Во-первых, методы цифровизации, основанные на концепциях и методах искусственного интеллекта, призваны обрабатывать не только данные, но и разнообразные знания, представленные в различных формах. Поэтому объем информации о реальных системах, подлежащий обработке многократно повышается. Именно по этой причине возникает задача обработки как концепция BIG DATA.

Во-вторых, изменились требования к результатам обработки информации.

Так, к числу основных требований к информационному обеспечению бизнес-процессов относятся:

- получение решений системы в виде готовых рекомендаций, альтернатив, сценариев развития бизнес-процессов и бизнес-ситуаций;

- возможность работы с информацией, представленной в разнообразных числовых и лингвистических массивах данных и знаний;
- гибкость и динамичность информационных систем, под чем понимается способность прикладных программного обеспечения легко перестраиваться в условиях меняющихся условий бизнеса, требований и ситуаций без привлечения разработчиков программного обеспечения;
- достоверная оценка влияющих факторов и ситуации в окружающей бизнес-среде;
- удобство общения с информационной системой, понятность выводов и рекомендаций системы;
- надежность, объективность, полнота бизнес-решений.

В-третьих, особую роль в обработке информации стали играть окружающая среда объектов цифровизации и неопределенность как состояния самого объекта, так и состояния окружающей среды и ее влияния на объект.

В условиях значительной неопределенности многие существующие методы (например, методы классической математической статистики, эконометрики, теории управления) становятся неэффективными.

Одной из методологий, отвечающих приведенным выше требованиям, является методология байесовских интеллектуальных технологий (БИТ), основанная на концепциях искусственного интеллекта, системного подхода и общей теории измерений методология байесовских интеллектуальных технологий (БИТ). К этому направлению относятся байесовские интеллектуальные измерения, основой которых является применение байесовского подхода при формировании измерительного решения [1], мягкие измерения, основанные на принятии измерительных решений в соответствии с логикой Заде [2], когнитивные измерения [3], технологии мягкого моделирования, мягкого нормирования (мягких критериев), мягкого аудита и мягкого управления [4, 5].

Основным теоретическим базисом БИТ является регуляризирующий байесовский подход (РБП) [1–3]. БИТ предназначены для измерения и определения свойств, состояний, динамики, трендов характеристик сложных объектов, процессов и систем в условиях их непрерывного развития и активного взаимодействия с окружающей средой, а также для критериальной проверки, аудита и генерации управляющих решений.

Практически все реальные современные системы можно отнести к сложным объектам, функционирующим в условиях неопределенности при мощном влиянии факторов внешней среды. Поэтому концепция БИТ адекватна природе сложных систем.

### III. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ВОЗМОЖНОСТИ БИТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Рассмотрим некоторые методологические аспекты БИТ.

Поскольку измерения типа БИИ и МИ производятся в условиях значительной неопределенности относительно точных знаний о модели объекта измерения, условиях измерения, средствах измерений, которые могут быть как приборными, так и при использовании экспертных знаний, что вносит неустойчивость в процесс измерений и получаемые решения, то требуется реализация измерений в рамках единого регуляризированного пространства решений.

В качестве образцового объекта, в частности реперов измерительных шкал, могут быть не только числовые значения, но и функции, ситуации, образы объектов, сценарии, которые в совокупности представляют собой условно-полную группу событий, отражаемых реперами носителя шкалы измерений. Такие шкалы могут быть параметрическими, функциональными, системными с соответствующими им реперами в виде значений параметров, образцовых функций и систем.

Задача измерений в условиях неопределенности ставится как задача восстановления значений или метрологической классификации образов, что определяет необходимость обеспечения устойчивости ее решений. Поэтому при сложных измерительных ситуациях используется представление измерительной задачи как совокупности обратных задач восстановления значений, состояний, ситуаций по полученной информации.

Методика измерений может представлять собой сложную информационную технологию.

Для каждого измерительного решения обеспечивается метрологическое обоснование моделей, алгоритмов, решений в виде показателей точности, надежности, достоверности, риска, информативности решений.

### IV. ОБОБЩЕННОЕ УРАВНЕНИЕ БИТ

В целях методологической формализации получены обобщенные уравнения для всех типов задач цифровизации (измерений, в том числе для БИИ и МИ, аудита, управления и других). Уравнения представлены в оптимизационной форме, где в качестве целевой функции выбрана функция среднего риска решения, что определяет выбор байесовского подхода.

Необходимо отметить, что основное обобщенное уравнение БИТ для решения всех вышеуказанных задач цифровизации имеет вид совокупности вложенных уравнений иерархической структуры, в целом определяющей последовательность решения задачи цифровизации определенного типа.

Так, например, для решения задачи аудита свойств какой-либо реальной системы необходимо решить в начале задачи измерения этих свойств и их критериального нормирования.

Обобщенное уравнение БИТ для задач цифровизации записывается в следующем виде [1]:



Устойчивое развитие сельских территорий связано с многочисленными аспектами разнообразных факторов. Однако, можно выделить основополагающие факторы, которые определяют главные тенденции развития сельских поселений. К их числу относится система факторов, определяющих социогуманитарные потенциалы. Система содержит в основном неколичественные показатели, которые трудно или невозможно измерить классическими методами измерений. Для решения этой задачи применялись методы и средства БИТ и МИ.

Вышерассмотренные подходы и методы системных измерений и системного синтеза составляют эффективную часть методической и технологической основы цифровизации. В настоящее время они реализованы на мобильных телефонах в среде облачных вычислений. При этом пользователь может выступать как тонкий клиент, формирующий запрос, поставляющий информацию и получающий готовое решение, а вся измерительно-аналитическая деятельность производится облачными сервисами. Такие измерения назовем «облачными измерениями» (Cloud Measurement).

Но современные технологии распределенных вычислений, называемые туманными вычислениями (Fog Computing) предоставляют лучшие сервисы, локализуя вычисления и приближая их к пользователю, тем самым значительно ускоряя процесс получения решения. Для них разработаны ряд стандартов, в частности, ISO 1934 – стандарт Международного института стандартизации.

По своей сути эти технологии, реализованные на свертке вышерассмотренных сетей, могут служить эффективной основой для создания архитектуры и средств «туманных измерений» (Fog Measurement). Туманные измерения реализуются по аналогии с туманными вычислениями в виде «капель тумана», создавая распределенную измерительно-аналитическую среду с соответствующими специализированными сервисами для пользователя, учитывающими его уникальные свойства, обеспечивая получение оптимальных решений его задач на основе всей информации сети в режиме реального времени запроса. Постепенно такие «туманные измерители», накапливая информацию о пользователе и его задачах, становятся партнерами-консультантами, постоянно взаимодействующих с пользователем и олицетворяющих пользователя в сети. Это создает методическую и технологическую платформы для создания

интеллектуального сообщества систем и пользователей. Приложениями этой платформы могут быть практически все задачи производственной, экономической и социальной цифровизации, реализации принципов цифровой экономики в целом.

Так для содержательного наполнения методической базы промышленных распределенных систем (сетей) можно использовать средства интеллектуальных рабочих мест специалистов (ИРМ), при этом сеть будет представлять собой модель дополненной реальности для предприятия, отражая не только производственные процессы, но и коллективы специалистов, представляя предприятие как целостный объект, активно взаимодействующий с внешней средой.

Таким образом, можно рекомендовать предложенные концепцию, технологии, информационный комплекс «Инфоаналитик» в качестве технологической платформы, а также прикладные системы на его основе для решения задач цифровизации в условиях неопределенности.

В настоящее время перед администрациями районов и регионов стоят задачи разработки инвестиционных программ и программ устойчивого развития сельских территорий, цифровизации муниципальной экономики, обучения госслужащих активной работе с цифровыми технологиями. Предложенные методология, технологии и средства БИТ в виде интеллектуальных систем измерений, мониторинга, поддержки принятия решений, ИРМы могут быть успешно использованы для решения этих задач.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Прокопчина С.В. Методологические основы теории мягких измерений. В кн. «Мягкие измерения и вычисления», том 1, М.: Изд. Дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2017. 395 с.
- [2] Цифровое будущее. Business Guide. Приложение к газете «Коммерсантъ», май, 2018.
- [3] Прокопчина С.В. Концепция байесовской интеллектуализации измерений в задачах мониторинга сложных объектов // Новости искусственного интеллекта. М., №3, 1997, с.7-56,
- [4] Основы цифровой экономики /Под ред. М.И.Столбова, Е.А. Бренделевой. М.: Изд. Дом «НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА», 2018. 238 с.
- [5] Прокопчина С.В. Методологические аспекты теории мягких измерений // Сб.докл. Межд.конф. «SCM-2005», СПб.: Изд-во. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 49-63.
- [6] Прокопчина С.В., Щербаков Г.А., Ефимов Ю.В. Моделирование социально-экономических систем в условиях неопределенности. М.: