

УДК 656.09.

**Степанов Виктор Андреевич**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, доцент кафедры специальных технических дисциплин

e-mail: [stepanov473@yandex.ru](mailto:stepanov473@yandex.ru)

**Калекин Владимир Вячеславович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой специальных технических дисциплин, доцент, заместитель директора по УиНР ВО

e-mail: [oivt\\_kalekin@mail.ru](mailto:oivt_kalekin@mail.ru)

**Калекина Анна Викторовна**<sup>1</sup>, к.э.н., к.п.с.н., доцент, доцент кафедры экономики и управления на транспорте

e-mail: [annakav82@mail.ru](mailto:annakav82@mail.ru)

<sup>1</sup> Омский институт водного транспорта – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Омск, Россия.

### КВАНТОПОДОБНЫЕ ПОДХОДЫ К ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ СБАЛАНСИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

*Аннотация.* Показано, что, применяя квантовоподобные модели, можно лучше описать неопределенность, двусмысленность, эмоции и риски, связанные с процессом принятия решений человеком. Даже в вычислительной среде пользователь, который следует правильным шаблонам принятия решений человеком, будет иметь лучшую функциональность при выполнении своей роли представителя реального пользователя. В статье приводятся преимущества использования квантовоподобных подходов к моделированию в вычислительных областях при развитии транспортных систем, а также существующие проблемы и ограничения, с которыми в настоящее время сталкивается эта область.

*Ключевые слова:* квантовоподобные подходы, решение, когнитивное моделирование, математические структуры, пользователи, теории принятия решений, квантовые события.

Исследователи из различных областей науки давно проявляют интерес к пониманию процесса принятия решений и познания человеком и его правильному моделированию. Даже в вычислительной среде агент, который следует правильным шаблонам принятия решений человеком, будет иметь лучшую функциональность при выполнении своей роли представителя реального пользователя. Другими словами, интеллектуальный агент должен уметь выбирать альтернативу так же, как человек в аналогичной ситуации. Это особенно важно для таких областей, как системы поддержки принятия решений сбалансированного развития транспортных систем, экспертные системы и многоагентные среды в целом.

К настоящему времени было введено множество подходов для моделирования того, как люди принимают решения и делают выбор. Долгое время такие подходы, как гипотеза ожидаемой полезности (Mongin, 1997) и теория рационального выбора (Coleman and Fargo, 1993), казались лучшими моделями для описания и прогнозирования процесса принятия решений человеком. Многие другие подходы, такие как теория игр (Basar et al., 1995) и многокритериальное принятие решений (Triantaphyllou, 2000), развивались вокруг этих моделей. Так продолжалось до тех пор, пока такие исследователи, как Tversky и Kahneman, не провели эксперименты, демонстрирующие, что люди часто нарушают принципы теории рационального выбора и гипотезы ожидаемой полезности. Направление

работы, завершившееся Нобелевской премией для авторов (Nobel prize 2002). Другими словами, эти эксперименты продемонстрировали, что классический и объективный характер этих подходов к принятию решений не может правильно учитывать неопределенность, двусмысленность и риск, с которыми люди сталкиваются в процессе принятия решений в особенности при прогнозировании развития транспортных систем.

Это было мотивацией для создания более подходящих моделей, которые могли бы объяснить нарушения, иррациональность и парадоксы принятия решений человеком. Эта мотивация привела к появлению различных работ, таких как расширенная версия теории ожидаемой полезности Сэвиджа (2012), которая позволила агентам строить свои собственные субъективные вероятности вместо объективных, а также ожидаемая полезность Шоке (Гилбоа, 1987), Макс-Мин. ожидаемая полезность (Gilboa and Schmeidler, 1989) и многие другие. Проблема со всеми этими подходами заключалась в том, что они могли объяснить только часть парадоксов, и их интеграция в единую теорию принятия решений казалась очень сложной.

Недавно появилась новая надежда на поиск единой теории принятия решений, которая могла бы учитывать иррациональности, парадоксы, неопределенность, двусмысленность и риск принятия решений человеком. Эта новая надежда возникает в результате применения математики квантовой теории к областям познания и принятия решений. Задолго до недавних достижений в области квантового познания и принятия решений Bohr заявил, что психические процессы во многих отношениях аналогичны процессам в квантовой физике. Он прямо упомянул, что квантовую теорию можно использовать как математический инструмент для решения проблем, связанных с процессом человеческого мышления.

Общая математическая структура квантовой теории применима к любой научной области, в которой необходимо формализовать неопределенность, и, вероятно, ни одна другая область не нуждается в формализации неопределенности в большей степени, чем область человеческого принятия решений и познания. Человеческие суждения и предпочтения обычно отображают эффекты порядка и контекста, а зависящие от контекста правила принятия решений должны учитывать оба аспекта неопределенности: двусмысленность и риск. Некоммутативная вероятностная структура квантовой теории с ее способностью определять две меры как несовместимые друг с другом может гибко и естественно объяснить эффекты порядка при принятии решений, в частности при принятии решений сбалансированного развития транспортных систем. Кроме того, определяя состояние лица, принимающего решения, в геометрической форме с помощью векторов состояния, помещенных в конкретную основу, можно в значительной степени смоделировать контекст. В этих подходах контекст – это гораздо больше, чем просто метка, и изменение контекста может происходить путем изменения базиса с помощью унитарного оператора преобразования.

Стоит отметить, что применение математического аппарата квантовой теории к человеческому познанию и принятию решений не обязательно подразумевает, что человеческий мозг и соответствующие психологические процессы имеют квантовую природу.

Квантовая теория приписывает вероятности квантовым событиям. Квантовые события, в отличие от классических вероятностных событий, которые определяются на основе булевой алгебры, определяются геометрически как подпространство. Сами эти подпространства определены в гильбертовом пространстве (т. е. комплексном векторном пространстве). Нулевое событие представлено нулевой точкой, тогда как универсальное событие – это само событие. Для квантовых событий определены такие операторы, как отрицание, встреча и соединение. Фундаментальное различие между квантовой логикой и классической логикой состоит в том, что дистрибутивная аксиома не обязательно верна в квантовой логике.



Как указал Такахаши, квантовый формализм может позволить нам смоделировать контекстную зависимость человеческого разума (Такахаши, 2014). Таким образом, используя квантовую теорию в познании, мы сможем моделировать человеческое сознание на феноменологическом уровне, что необходимо для дальнейшего развития научных исследований в этой области.

До быстрого роста использования квантовой математики в когнитивных исследованиях были обнаружены предварительные доказательства квантовоподобных эффектов в человеческом познании. Хренников даже показал, что косинусная интерференция, а также эффекты гиперболической интерференции могут иметь место в человеческом познании и восприятии (Хренников, 2008). Позже Буземейер и Трублад (2011) предложили шесть причин пригодности применения квантовых вероятностей и квантовой математики к человеческому познанию. Эти причины, следующие:

1. Суперпозиция: классические когнитивные модели предполагают, что человек находится в определенном состоянии по отношению к суждению в каждый момент времени. Поскольку фактическое состояние неизвестно, разработчик модели присваивает вероятность каждой возможности. С другой стороны, квантовая теория позволяет находиться в неопределенном состоянии (то есть в состоянии суперпозиции) в каждый момент времени. Состояние суперпозиции обеспечивает лучшее представление конфликта, двусмысленности и неопределенности в отношении человеческого мыслительного процесса. Таким образом, человеческое познание работает скорее, как волна, чем как частица.

2. Чувствительность к измерению: классические когнитивные модели предполагают, что все, что мы записываем в определенный момент, отражает состояние системы, существовавшее непосредственно перед тем, как мы ее измерили. Но в квантовой теории измерение создает свойство, а не записывает его. Например, ответив на вопрос (т. е. измерив систему), суперпозиция рухнет в определенное состояние. Таким образом, ответ, который мы получаем от квантовой системы, строится из взаимодействия неопределенного состояния и вопроса, который мы задаем.

3. Несовместимость измерения: изменение, которое измерение (т. е. ответ на вопрос) вызывает в состоянии ума человека, заставляет его по-разному реагировать на последующие вопросы. Таким образом, первый вопрос устанавливает контекст, который меняет ответ на следующий вопрос.

4. Нарушение классических законов: человеческое суждение не всегда следует классическим законам логики и вероятности. Нарушения принципа уверенности, ошибка дизъюнкции и парадокс Эллсберга являются некоторыми из примеров этого нарушения.

5. Принцип единственности: предположение, что человек может приписывать совместные вероятности всем различным видам событий (несмотря на их очевидную несовместимость в некоторых случаях), чрезмерно упрощает сложную природу мира.

6. Запутанность: квантовая вероятность позволяет системе действовать неразложимым образом, так что парные вероятности не могут быть получены из общего совместного распределения вероятностей. Этот крайний случай корреляции носит неклассический характер и может быть выражен только с помощью квантовой математики.

Обобщенный и гибкий подход квантовоподобного моделирования делает его главным кандидатом для любых ситуаций, связанных с формализацией неопределенности. Это одна из основных причин, по которой исследователи использовали квантовоподобные подходы к моделированию для различных исследовательских аспектов своей области, в том числе и при принятии решений сбалансированного развития транспортных систем.

К сожалению, хотя предлагаемые квантовые подходы к принятию решений и познанию имеют вычислительную природу, они еще не нашли широкого применения в технологических или вычислительных областях. Мы считаем, что такие гибкие теоретические или когнитивные подходы к принятию решений могут сыграть ключевую роль в создании лучших моделей нацеленных на принятие решений. Это будет полезно



для исследователей в вычислительных областях, таких как системы поддержки принятия решений и прогнозирования развития транспортных систем, экспертных систем аналогичной направленности и др.

Некоторые уникальные характеристики математической основы квантовой теории делают ее основным кандидатом на создание лучших моделей для различных систем в вычислительных областях при проектировании транспортных систем:

1. *Механизм выражения контекстуальности*: контекстуальность – одна из основных характеристик квантовых систем. В квантово-теоретической модели контекст – это гораздо больше, чем просто ярлык. Квантовая теория обеспечивает эффективный механизм представления контекста. Используя квантовую контекстуальность и механизмы, которые она предоставляет в отношении контекста, мы можем задавать более фундаментальные вопросы, такие как «что произойдет, если мы изменим контекст?» Изменение контекста можно смоделировать в рамках этого представления как унитарное преобразование, которое вращает базисные векторы. Унитарные преобразования соответствуют индивидуальному изменению точки зрения и связывают одну точку зрения с другой. Доверие является одним из наиболее широко используемых понятий в различных областях вычислительной области, таких как компьютерная безопасность, рекомендательные системы и так далее. Квантовая теория предоставляет нам методологию, которая может последовательно подойти к понятию контекстуальности между любой комбинацией системных компонентов, экспериментов и сред. Таким образом, мы считаем, что математика квантовой теории потенциально применима ко всем контекстуальным явлениям, таким как доверие.

2. *Гибкая и обобщенная структура для формализации неопределенности*. Ситуации, состоящие из неоднозначности и неопределенности, можно объяснить с точки зрения появления типичных квантовых явлений, таких как контекстуальность, несовместимость, суперпозиция и эффекты квантовой интерференции. Эти математические строительные блоки позволяют квантовой математической структуре гибко и естественно справляться с такого рода ситуациями. Следовательно, квантовые вероятности как лежащий в основе математической основы квантовой теории потенциально применимы к любой ситуации, связанной с количественной оценкой неопределенности. Это особенно важно, потому что количественная оценка неопределенности является одним из основных требований широкого круга областей вычислительных областей. Наиболее заметными из них являются многоагентные системы, системы поддержки принятия решений и рекомендательные системы.

3. *Некоммутативная структура и рассмотрение несовместимых событий*: при выполнении более одного измерения вектора состояния квантовая теория допускает, что измерения могут быть либо совместимыми, либо несовместимыми. Интуитивно совместимость означает, что измерения X и Y могут быть доступны одновременно или последовательно, не мешая друг другу. Модель квантового вывода использует концепцию несовместимости для учета эффектов порядка. Различные фрагменты информации могут быть несовместимы в том смысле, что множество шаблонов признаков, необходимых для оценки одного фрагмента информации, не является общим для множества, которое используется для оценки другого.

4. *Гибкие и обобщенные механизмы вывода и рассуждений*. Квантовоподобные модели способны объяснять заблуждения и парадоксы человеческих суждений и рассуждений. Обобщенные и гибкие механизмы, введенные в рамках теоретико-квантовой модели, могут привести к улучшению агентов, принимающих решения в агентных системах. Квантовый байесовский вывод как обобщенная версия классического байесовского механизма вывода может играть ключевую роль в моделировании более сложных выводов в вычислительных областях.

В настоящее время большинство подходов, используемых в рекомендательных системах и системах поддержки принятия решений, используют классические модели



подобия. Эти классические модели не могут описать истинную природу суждений о сходстве в человеческом рассуждении. Следовательно, включение таких механизмов в вычислительные процессы развития транспортных систем может привести к лучшей производительности при проектировании последних.

В настоящее время некоторые области, непосредственно связанные с областью вычислений, уже извлекают выгоду из преимуществ, предоставляемых математическим аппаратом квантовой теории. Некоторые из наиболее заметных из них возможно реализовать при проектировании управленческих решений по созданию сбалансированного развития транспортных систем, способствующих устойчивой техносферной безопасности.

### **Список литературы:**

1. Анастасов М. С., Тебекин А.В. Анализ подходов сбалансированного развития экономических систем //Транспортное дело России. – 2016. №. 5. – С. 80-83.
2. Бунеев В.М. Типовые решения организации транспортного процесса и систем на внутреннем водном транспорте // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. №72 (33). – С. 156-166.
3. Asano, M., Basieva, I., Khrennikov, A., Ohya, M., Tanaka, Y., 2012. Quantum-like generalization of the Bayesian updating scheme for objective and subjective mental uncertainties. *J. Math. Psych.* 56, 166–175.
4. Cheon, T., Takahashi, T., 2012. Quantum phenomenology of conjunction fallacy. *J. Phys. Soc. Japan* 81.
5. Fernbach, P.M., Darlow, A., Sloman, S.A., 2010. Neglect of alternative causes in predictive but not diagnostic reasoning. *Psychol. Sci.* 21, 329–336.
6. Yukalov, V., Sornette, D., 2014. Manipulating decision making of typical agents. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.: Syst.*, 44, 1155–1168.
7. Zuccon, G., Azzopardi, L.A., van Rijsbergen, K., 2009. The quantum probability ranking principle for information retrieval. In: *Proceedings of the Advances in Information Retrieval Theory*. Springer, pp. 232–240.

## **QUANTUM-LIKE APPROACHES TO DECISION-MAKING OF BALANCED DEVELOPMENT OF TRANSPORT SYSTEMS**

Viktor A. Stepanov, Vladimir V. Kalekin, Anna A. Kalekina

*Abstract.* It is shown that, using quantum-like models, one can better describe the uncertainty, ambiguity, emotions and risks associated with the human decision-making process. Even in a computing environment, an agent that follows the correct human decision patterns will have better functionality in fulfilling its role as a representative of a real user.

*Keywords:* quantum-like approaches, decision, cognitive modeling, mathematical structures, users, decision theories, quantum events.

