

Научная статья

DOI: 10.15593/2499-9873/2022.3.09

УДК 51-77

И.В. Вешнева¹, А.А. Большаков²

¹Саратовский национальный исследовательский университет
им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

²Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАНТОВО-ПОДОБНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА БАЗЕ СТАТУСНЫХ ФУНКЦИЙ. ЧАСТЬ I

Рассмотрены основные понятия классической вероятности, отрицательной вероятности, нечетких множеств с проведением соответствующих аналогий квантово-механического подхода для создания математических моделей для описания социальных явлений. Также кратко описаны особенности применения теории интенциональности, которая для социальных явлений использует понятие институциональности. При этом институциональность понимается как свойство сознания, направленное на объекты и положения вещей в реальном мире. Выделено понятие «коллективная институциональность», которое формирует социальные факты, возникающие при коллективном воздействии членов общества. Приведено понятие статуса, обозначающего совокупность свойств субъекту или объекту значений характеристик, которые определяют его позицию в системе. Описаны особенности и область применения для нечетких моделей, используемых для математического описания лингвистических термов и интенциональности в оценке вероятностей событий в теории нечетких множеств. Кроме этого, описано понятие отрицательной вероятности и возможность его использования для характеристики социальных событий. Далее приводится пример, иллюстрирующий понятие комплекснозначной функции и ее использование для измерения характеристик социально-экономических процессов. В заключение вводится понятие статусных функций для сравнения с функциями принадлежности и волновыми функциями.

Ключевые слова: квантово-подобная математическая модель, статусная функция, социально-экономическая система, теория интенциональности, институциональность.

I.V. Veshneva¹, A.A. Bolshakov²

¹Saratov National Research University named after
N.G. Chernyshevsky, Saratov, Russian Federation

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia

ANALYSIS OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS USING QUANTUM-LIKE MATHEMATICAL MODELS BASED ON STATUS FUNCTIONS. PART I

The basic concepts of classical probability, negative probability, fuzzy sets are considered with appropriate analogies of the quantum mechanical approach to create mathematical models for describing social phenomena. It also briefly describes the features of the application of the theory of intentional-

ity, which uses the concept of institutionality for social phenomena. At the same time, institutionality is understood as a property of consciousness directed at objects and states of affairs in the real world. The concept of collective institutionality is singled out, which forms social facts arising from the collective impact of members of society. The concept of status is given, which denotes a set of characteristic values of a subject or object that determine its position in the system. The features and scope for fuzzy models are described, which are used for the mathematical description of linguistic terms and intentionality in estimating the probabilities of events in fuzzy set theory. In addition, the concept of negative probability and the possibility of using it to describe social events are described. The following is an example illustrating the concept of a complex-valued function and its use to measure the characteristics of socio-economic processes. In conclusion, the concept of status functions is introduced for comparison with membership functions and wave functions.

Keywords: quantum-like mathematical model, status function, socio-economic system, intentionality theory, institutionality.

Введение

Задача создания математических моделей, описывающих социально-экономические процессы, актуальна [1–2]. Можно выделить основные аспекты необходимости математических моделей. Во-первых, это увеличение скорости социально-экономических процессов [3–5]. При этом возрастают риски управленческих решений. Во-вторых, это существенное развитие информационных технологий. С одной стороны, они обеспечивают ускорение социально-экономических процессов, с другой стороны, требуют увеличения ресурсов вычислительных мощностей для решения многих задач. В-третьих, это возникновение синергетики как науки об общих закономерностях развития живых и неживых систем, что позволяет создавать новые модели социально-экономических систем [6–8].

Вначале попытки описывать свойства реальных событий в деятельности людей привели к возникновению теории вероятностей в XVII в. Анализ таких разделов, как теория вероятностей, математическая статистика, теории множеств, привел к созданию теории нечетких множеств (Fuzzy Sets). При этом Fuzzy Sets позволяет ввести измерительную шкалу для социально-экономических явлений и регламентировать правила принятия решений. Следует отметить, что возможности применения Fuzzy Sets ограничены. Во-первых, большое количество информации содержится в трудно формализуемых интуитивных предпочтениях лица, формирующего списки оцениваемых параметров и конструирующего функции принадлежности. Во-вторых, вводимые нечеткие коридоры оценки являются статическими.

Чтобы понять механизмы, которые регулируют поведение сложной социально-экономической системы, необходимо измерить ее переменные состояния и математически моделировать динамику каждого

из компонентов системы [9]. Создание моделей может быть ориентировано на различный математический аппарат. Одним из ключевых вопросов является сложность учета взаимовлияния отдельных процессов. Поэтому сложно определить способ достижения состояния общей системы, которое подвергается измерению. Решение проблем описания явлений в социально-экономических системах следует искать в математическом аппарате квантовой механики.

Постановка задачи. Проведем обсуждение понятий классической вероятности, отрицательной вероятности, Fuzzy Sets и квантово-механического подхода к созданию математических моделей социальных явлений.

1. Вероятностные модели

Этот класс моделей широко применяются тогда, когда изучаемые факторы носят неопределенный характер. Такие ситуации характерны для разных областей человеческой деятельности. Примерами могут являться выпадение конкретного числа на игральном костяке, спрос на определенную продукцию, результат сдачи тестовых заданий, результаты голосования на выборах, политическая ситуация в заданной стране и т.п. Для понимания вероятностных методов целесообразно учитывать, что неопределенность может иметь довольно разный характер.

Для классической вероятности основополагающим является понятие случайного события. Это событие, которое может произойти или не произойти в результате определённого испытания. При этом испытанием может быть как целенаправленное действие, так и явление, происходящее независимо от наблюдателя. В результате испытания может произойти один из некоторого конечного множества равновероятных исходов. Например, бросается игральный кубик. Классическая вероятность определяется как отношение числа исходов, благоприятствующих наступлению событий m , к общему числу исходов n . Когда число исходов бесконечно, то вводится понятие геометрической вероятности. Если числа m и n заранее неизвестны, то приходится сочинять новые методы.

Статистическая вероятность вводится для события, которое может произойти или не произойти в результате эксперимента. Поэтому можно провести некоторое количество экспериментов n и определить,

сколько раз произошло событие A . Тогда отношение m/n назовем относительной частотой появления события A в n испытаниях, она также $\in [0; 1]$.

Субъективная вероятность во многих реальных ситуациях связана с определением вероятности событий, когда одним из приведенных выше способов это выполнить невозможно. Тогда на первый план выступает отмеченное выше понимание вероятности как меры достоверности определенного события. В этом случае следует провести экспертный опрос и на основе его результатов получить субъективную вероятность события.

Наиболее ранняя теория интенциональности связана с принципами различения объектов, которые существуют в понимании, и объектов, которые существуют в реальности [10]. В настоящее время понятие интенциональности активно обсуждается в гуманитарных науках. Например, в работе [11] интенциональность понимается как *the power of minds to be about, to represent, or to stand for, things, properties and states of affairs*.

В отличие от физики или химии, предметная область социальных и экономических наук зависит от институциональных факторов. Это основано на том, что некоторые свойства окружающего нас мира зависят от наблюдателя, а часть нет. Например, звезды и планеты, законы их движения, время их жизни не зависят от наблюдателя. Право собственности на промышленные предприятия зависит от системы социальных производственных отношений. Бумажные деньги, являясь бумагой, на которой они напечатаны, становятся платежным средством только в силу правовых норм регуляции социально-экономических процессов. При отсутствии соответствующих соглашений деньги стоят не больше бумаги, на которой они напечатаны. Таким образом, можно полагать, что проблемы, обсуждаемые в гуманитарных науках, являются зависящими от соглашений, установленных социальными институтами.

2. Институциональность

В работе [12] Дж. Серл вводит понятие институциональности и разграничивает понятия объективности и субъективности как свойства утверждений. Объективными утверждениями следует считать независимые от чувств и мнений тех, кто выносит или интерпретирует такие суждения. Субъективные суждения, напротив, зависят от чувств и мнений участников обсуждения.

Понятие институциональности охватывает круг вопросов, связанных с формальными социальными структурами как государственное устройство и неформальными, например, обычаи, модели поведения, семья.

Конструирование социальной реальности [13; 14] может быть представлено основанным на трех простых принципах: коллективная интенциональность, приписываемые функции, статусные функции.

Коллективная интенциональность [15] включает коллективные намерения, коллективные убеждения и желания. Человек может иметь интенциональность, то есть намерения, убеждения и желания, такую, как целый коллектив. Интенциональность следует понимать как свойство сознания быть направленным на объекты и положения вещей в реальном мире. Поэтому убеждения, желания, надежды, страхи и эмоции обычно могут в техническом смысле быть охарактеризованы как интенциональные. К понятию коллективной интенциональности относятся и другие формы интенциональности, такие как коллективные убеждения и желания. Коллективная интенциональность формирует социальные факты, которые возникают при коллективном действии членов общества.

Приписываемые функции зависят от наблюдателя. Люди часто приписывают функции объектам, которые сами по себе не имеют функции, а обретают ее только благодаря такому приписыванию. Например, орудия труда выполняют функции, основанные на их реальных физических свойствах.

Возможно приписывание функций объектам и явлениям, отличных от их физических свойств (physical structure) как реальных объектов. Тогда приписывание им функций наделяет эти объекты свойствами, которыми они в действительности не обладают. Приписываемые функции, наделяющие объект или явление не заданными их физической структурой свойствами, дают объектам (субъектам или явлениям) статус. Статус обозначает совокупность присущих субъекту (или объекту) значений характеристик, определяющих его позицию в системе. Поэтому Дж. Серл [14; 15] называет статусными функции, выполняемые объектом или субъектом в результате действующих институциональных соглашений в системе.

Приписывание статусных функций обычно имеет следующий вид: « X считается Y в контексте C » (« X counts as Y in C »). Во всех этих

случаях X обозначает некоторые свойства предмета, индивида или положения вещей, а Y наделяет индивида, предмет или положение вещей особым статусом. Здесь C – представляет конструирующие правила. Например, деньги, университетские дипломы, брачные отношения, игра в шахматы, которые не могут существовать без создающих их правил и социальных соглашений. Статусные функции вида « X counts as Y in C » образуют связующий фундамент конструирования социальных отношений.

3. Нечеткие множества

Математическое описание лингвистических высказываний и интенциональности в оценке вероятности некоторого события разработано Lotfi A. Zadeh [16] в теории нечетких множеств (Fuzzy Sets). Zadeh ввел допущение, что характеристическая функция множества может принимать любые значения в интервале $[0, 1]$. Эта функция называется функцией принадлежности для нечёткого множества, она является базовым понятием для нечёткой логики. Возможность создавать математические модели примерных рассуждений человека, обладающего наиболее поразительным свойством – способностью принимать правильные решения в обстановке неполной и нечеткой информации, обеспечило огромный рост интереса к применению Fuzzy Set практически во всех отраслях науки и техники. Работы L. Zade заложили основы моделирования интеллектуальной деятельности человека [17–19].

Типичный пример системы, хорошо поддающейся реализации с использованием нечеткой логики: АБС – антиблокировочная тормозная система. Реализаций АБС существует множество, однако в общем случае управление осуществляется по двум входным переменным: проскальзыванию колеса (отношение скорости автомобиля к мгновенной линейной скорости точки на внешнем радиусе колеса относительно его центра) и радиальному ускорению колеса. Обе переменные представляются в виде логических переменных с набором из 5–8 термов каждая, например «отсутствует», «слабое», «среднее», «сильное», «очень сильное» и т.п., на основе которых вычислитель, используя набор правил (их количество равно произведению количества термов входных переменных), получает значение давления в тормозном цилиндре, стремясь к поддержанию оптимального проскальзывания. Подобная задача, впрочем, решается и классическими вычислителями с

применением трехмерных таблиц, описывающих плоскость выходного значения в зависимости от двух входных.

Таким образом, Lotfi A. Zadeh ввёл membership function, которые можно считать слабо формализованным аналогом вероятности наступления событий. Вероятности при этом расширены на некоторые множества, названные нечеткими. Эти множества определяются функциями и имеют геометрическую область определения.

4. Отрицательная вероятность

Усложним рассматриваемый случай наступления или не наступления события. Если используем классическое определение вероятности или частоты наступления события при измерении состояния на основе некоторой выборки из генеральной совокупности событий, то вероятность наступления события $p \in [0; 1]$. Соответственно вероятность ненаступления события $1 - p$.

Может быть нечто большее, чем просто ненаступление события? Успех, неуспех, антиуспех: (1 0 -1)? Может быть нечто большее, чем просто ненаступление события? Например, человек A не имеет собственного мнения по определенному вопросу. Человек B пытается убедить A принять его взгляд на ситуацию, однако получает противоположный эффект коммуникации. Словно это отрицательная вероятность?

Если используем классическое определение вероятности или частоты наступления события при измерении состояния на основе некоторой выборки из генеральной совокупности событий, то вероятность наступления события $p \in [0; 1]$. Соответственно вероятность ненаступления события $1 - p$.

Дирак [20] связывал отрицательную вероятность с суммой денег. Например, ждал заработную плату, занял денег. Заработную плату не получил и остался долг. Тогда получается, что универсальное множество возможных событий должно быть расширено. Такими событиями, которые создают вероятность ненаступления события (не является отрицанием наступления события). Или характеризуют связанные с ним факторы с другой стороны.

В экспериментах А.В. Белинского [21–23] показана необходимость введения отрицательной вероятности. Использован интерферо-

метр с параметрическими источниками излучения для двух наблюдателей. Коррелированные фотоны направляются к двум наблюдателям по двум модам, одна из которых испытывает задержку. Затем моды смешиваются на 50 % в светоделителях и детектируются четырьмя приемниками по два у каждого из наблюдателей. Случайный процесс описывается четырьмя дихотомическими переменными, принимающими единичные значения ± 1 . Выдвигается предположение, что существует положительно определенная нормированная функция распределения вероятностей. Для них формируются $2^4 = 16$ совместных вероятности для дискретной функции распределения вероятности. Формирование функции вероятности состоит из слагаемых, половина которых отрицательна. В итоге доказываемое существование положительно определенной нормированной функции распределения вероятностей.

Однако на практике результат оказывается другим. Из-за интерференционной природы эксперимента вероятности на детекторах имеют зависимость от фазовых задержек гармонического вида. Совместные вероятности, определяемые из эксперимента, дают результат, соответствующий квантовому описанию. Единственным объяснением существования полученной в эксперименте функции совместной вероятности является не соблюдение очевидного правила положительности вероятности. А.В. Белинский считает, что отрицательная вероятность означает, что вероятность реализации ожидаемого события падает, а вероятность противоположного события растет. Отрицательные [24; 25] и комплекснозначные [26; 27] вероятности неоднократно обсуждались в литературе.

5. Комплекснозначная вероятность

Понятие отрицательной вероятности получено в квантовой механике. Однако даже в квантовой механике понятие отрицательной вероятности не является очевидным, и отрицательная вероятность вводится как необходимость интерпретации некоторых экспериментов [28]. При этом, собственно, вероятность определяется комплекснозначной волновой функцией ψ , являясь комплексной. Экспериментально можно измерить можно только плотность вероятности $|\psi|^2$. В ортодоксальном понимании квантовой механики отрицательных вероятностей не существует из-за невозможности проведения эксперимента по их непосредственному измерению. Таким образом, отрицательная вероятность яв-

ляется противоречащей ортодоксальной теории вероятностей и ортодоксальной квантовой механике, однако не противоречащей ряду экспериментов и здравому смыслу.

Будем считать, что результат применения этого оператора к приписываемой случайной функции позволит вычислить интенциональную характеристику приписываемой субъекту функции.

Представим смысл использования комплексных величин для приписывания их случайным функциям оценок. Множество возможных состояний системы характеризуется введением случайных величин для описания переменных, образующих это множество. Случайная величина является случайной в смысле соответствия реальному состоянию системы. Например, опишем стрельбу по мишени. Случайным событием является попадание в центр мишени. Допустим, что любая случайная величина, приписываемая состоянию объекта (или субъекта), складывается из того, что она есть Z и его восприятие Z' [29]:

$$Z = Z + Z'. \quad (1)$$

Тогда для введения системы измерений состояний объекту (субъекту) нужно ввести упорядоченную пару действительных случайных величин $S = \{S_1, S_2\}$, принадлежащих различным множествам оценок наблюдаемых «событий», соответствующих измерению объекту (субъекту). Здесь S_1 является измеряемой на практике случайной величиной оценивания объекта (субъекта), S_2 отражает восприятие события S_1 , соответствующее мнимой части события.

Например, бинарное значение принимает случайные величины «0» и «1». Припишем им лингвистические термы смысловой интерпретации «Истина» и «Ложь». Рассмотрим событие попадания в мишень $S_1 = 1$, промах – $S_1 = 0$. Для величины $S_2 = 1$ событие принимается за истинное значение S_1 , для $S_2 = 0$ событие принимается за ложное значение S_1 . На парах $S = \{S_1, S_2\}$:

- (1,1) – попадание принимается за попадание;
- (1,0) – попадание принимается за промах;
- (0,1) – промах принимается за промах;
- (0,0) – промах принимается за попадание.

Таким образом, возможно простое и наглядное введение комплексных случайных величин, приписываемых состоянию объекта (субъекта). Заметим, что приписываемые состоянию системы функции

всегда имеют компоненту восприятия события наблюдения. Покажем целесообразность введения комплексных величин для измерения состояний объекта (субъекта).

В квантовой механике проблема введения комплексной вероятности следует из невозможности определить, каким способом прошла частица, и возникновении интерференции. «Перемещая» проблему определения пути в классическую физику, можно попытаться определить, по какому из параллельных проводников прошел электрический ток. В бытовой интерпретации можно спросить, «каким путем получена информация, влияющая на принятие решения»: интернет, баннерная реклама, от знакомых или иначе? Выбрать один из них часто невозможно. Таким образом, вопрос о том «Каким путем?» может быть также актуален и для поддержки принятия решений.

Допустим состоянию объекта (субъекта) приписывается случайная функция f , которая описывается распределением вероятностей $\rho(f)$. Часто бывает достаточно знать характерное значение f и диапазон, в котором наиболее вероятно распределены ее случайные значения. Чтобы получить оценку для центрального значения и ширины диапазона, обычно используется математическое ожидание f и стандартное отклонение от среднего σ :

$$\langle f \rangle = \int f \rho(f) df / \int \rho(f) df, \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\langle f^2 \rangle - \langle f \rangle^2}. \quad (3)$$

Объект (субъект) может находиться в состояниях A и B , которые определяются приписываемыми функциями ψ_1 и ψ_2 . Если эти состояния взаимодействуют, то распределение вероятностей объекта (субъекта) описывается следующим образом:

$$P = |\Psi_1 + \Psi_2|^2. \quad (4)$$

Такое математическое представление вполне соответствует многим взаимосвязанным процессам во внутренней структуре объекта (субъекта). Для описания поведения социальных групп в гуманитарных науках используется термин «синергия группы». Такое математическое описание соответствует интуитивному пониманию происходящих в социально-экономических структурах процессов. Например, ас-

пекты системы сбалансированных показателей предприятия (внутренние бизнес-процессы, взаимоотношения с клиентами, финансовые показатели деятельности и показатели обучения и развития персонала) [30], которые внутренне взаимосвязаны. Традиционное измерение состояний позволяет получить следующее распределение вероятностей оценок состояний.

Используемые методы оценивания вносят погрешности в измеряемые состояния, что неизбежно влияет на принципы управления, основанного на фактах. Введение комплексных функций оценок позволит преодолеть данное несоответствие.

6. Статусные функции (для сравнения с функциями принадлежности и волновыми функциями)

В работах [31; 32] введены и описаны статусные функции для создания отображения институциональных характеристик социально-экономических процессов в задачи построения математических моделей социально-экономических процессов.

Статусной функцией (СФ) будем называть операцию, которая устанавливает правило определения соответствия некоторой упорядоченной пары аргументов и некоторой соответствующей им величины. Такая функция может быть представлена в виде

$$\psi(r, k) = A(r)e^{i2\pi kr} \quad (5)$$

или

$$\begin{aligned} \psi(r, k) &= A(r)\cos(2\pi kr) + iA(r)\sin(2\pi kr) = \\ &= A(r)(\cos^2(\pi kr) - \sin^2(\pi kr)) + 2iA(r)\cos(\pi kr)\sin(\pi kr). \end{aligned} \quad (6)$$

Статусные функции являются расширением теории нечетких множеств, образующим квантово-механический аналог функций принадлежности.

Проведем сравнение функций принадлежности, статусных функций и квантово-механических волновых функций [33 – 36].

а) Функции. Статусные функции (СФ) $\psi(r)$. Базисные СФ, являются ортонормированным базисом исследуемой социально-экономической системы. Вид СФ выбирается исходя из формирования орто-

нормированного базиса системы оценок при условии обеспечения адекватности соответствующей лингвистической переменной измеряемой характеристики процессу оценки состояния объекта управления.

б) Смысл / физический смысл. Собственно СФ имеет физический смысл волновой функции. Квадрат модуля СФ определяется как вероятность соответствия значения оцениваемой характеристики заданным координатам.

с) Нормировка. СФ ψ должна удовлетворять так называемому условию нормировки, например, в координатном представлении имеющему вид:

$$\int_V \psi \cdot \psi dV = 1. \quad (7)$$

Это условие выражает, что вероятность оценивания системы с данной СФ во введенной системе оценок равна единице. В общем случае интегрирование должно производиться по всем переменным, от которых зависит СФ в заданном представлении.

д) Принцип суперпозиции / объединения. Если система может пребывать в состояниях, описываемых СФ ψ_1 и ψ_2 , то она может пребывать и в состоянии, описываемом ВФ $\psi_\Sigma = c_1\psi_1 + c_2\psi_2$ при любых комплексных c_1 и c_2 . Суперпозиция любого числа возможных состояний описывается СФ $\psi_\Sigma = \sum_{i=1}^n c_i\psi_i$. В таком состоянии квадрат модуля c_i определяет вероятность того, что при измерении система будет обнаружена в состоянии, описываемом СФ ψ_i .

е) Используются две переменные для действительной и мнимой частей. Переменная для действительной части СФ – это независимая безразмерная переменная или переменные, введенной системы координат. Переменная для мнимой части – это оценка интенциональности. Является латентной оценкой направления нацеленности изменения состояния, и затрачиваемой на достижение результата энергии. Для персоналий это прямая оценка интенциональности, для социально-экономических систем – соответствие наблюдаемого состояния ожидаемому.

ф) Процесс измерения состояния. Получение информации о состоянии системы проведением мероприятий оценки. Результаты измерения интерпретируются как значения оцениваемых показателей. Из-

мерение осуществляется через взаимодействие. При взаимодействии происходит воздействие на измеряемый объект, следовательно, искажение результатов измерения и изменение состояния измеряемой системы.

7. Теория нечетких множеств (для сравнения с методом статусных функций и квантово-механическими волновыми функциями)

а) Функции. Функции принадлежности (ФП) $\mu(r)$ выбираются, исходя из простоты их представления и вычисления при условии обеспечения адекватности соответствующей лингвистической переменной процессу. Аналогия ФП – СФ: используются как математическое выражение вместо переменной (например, лингвистической), которая им не обладает.

б) Смысл / физический смысл. ФП – это «невероятностное субъективное измерение неточности». Причем, ФП отлична от плотности вероятности и от функции распределения вероятности. Иногда интерпретируется как возможность или полезность того или иного события.

с) Нормировка. Нечеткое множество A называется нормальным, если существует такое r , что $\max \mu_A(r) = 1$. В другом случае оно называется субнормальным. Важно отметить, что $\mu(r) \in [0; 1]$.

д) Принцип суперпозиции / объединения. По смыслу наиболее близко к операции объединения нечетких множеств, например, A и B , и называется нечеткое множество $A \vee B$, ФП которого равна: $\mu_{A \vee B}(r) = \mu_A(r) \vee \mu_B(r)$, где \vee знак операции максимума.

е) Переменная вводится только для действительной части – это базисная переменная, может быть выбрана исходя из условий задачи. Для переменной комплексной части СФ или ВФ аналог отсутствует.

ф) Процесс измерения состояния. Процедура фазификации (введение нечеткости) – это установка соответствия между численным значением входной переменной системы нечеткого вывода и значением ФП.

9. Квантово-механические волновые функции (для сравнения с методом статусных функций)

а) Функции. Волновые функции (ВФ) $\psi(r, t)$ или $\psi(r)$ – в стационарном состоянии, соответствует уровням энергии. Здесь ВФ – комплексная функция, описывающая состояние квантово-механической системы. Позволяет получить максимально полные сведения о систе-

ме, принципиально достижимые в микромире. Аналогия ВФ – СФ: являются гармоническими, удовлетворяют уравнению Лапласа.

Если социально-экономическая система обладает вполне определенными состояниями и можно выбрать состояния, которые определяются как базисные, то тогда имеется все для того, чтобы использовать математический формализм квантовой теории. Таким образом, СФ соответствуют ВФ чистых состояний. Чистые состояния системы – это полностью описанное состояние. Состояние – это полное описание замкнутой системы в выбранном базисе.

б) Смысл / физический смысл. Собственно ВФ не имеет физического смысла. Физический смысл квадрата модуля ВФ интерпретируется как плотность вероятности (для дискретных спектров – просто вероятность) обнаружить систему в положении, описываемом заданными координатами в заданный момент времени.

в) Нормировка. ВФ ψ должна удовлетворять так называемому условию нормировки, например, в координатном представлении имеющему вид (7).

Это условие выражает факт, что вероятность обнаружить частицу с данной волновой функцией в пространстве объема V равна единице. В общем случае интегрирование должно производиться по всем переменным, от которых зависит ВФ в данном представлении.

г) Принцип суперпозиции / объединения. Если система может пребывать в состояниях, описываемых ВФ ψ_1 и ψ_2 , то она может пребывать и в состоянии, описываемом ВФ $\psi_\Sigma = c_1\psi_1 + c_2\psi_2$ при любых комплексных c_1 и c_2 . Суперпозиция любого числа квантовых состояний описывается ВФ $\psi_\Sigma = \sum_{i=1}^n c_i\psi_i$. В таком состоянии квадрат модуля c_i определяет вероятность того, что при измерении система будет обнаружена в состоянии, описываемом ВФ ψ_i . Поэтому для нормированных ВФ $\sum_{i=1}^n |c_i|^2 = 1$.

д) Переменные. Для действительной части – это независимые переменные ВФ, координаты частиц или импульсы. Для мнимой части – это волновое число прямо пропорциональное импульсу. Выбор системы единиц позволяет получить точное равенство волнового числа и импульса. Для света в вакууме и других безмассовых полей пропорционален энергии.

f) Процесс измерения состояния. Получение информации о состоянии системы на основе проведения физического эксперимента. Результаты измерения интерпретируются как значения измеряемой физической величины. Если результат измерения остался неизвестным, то квантовая система переходит в состояние, которое описывается матрицей плотности. Измерение осуществляется через взаимодействие. При взаимодействии происходит воздействия на измеряемый объект, следовательно, искажение результатов измерения и изменение состояния квантовой системы.

Заключение

Таким образом, в статье приводится обоснование использования квантово-подобных математических моделей на базе статусных функций для анализа социально-экономических систем. При этом выполнен гносеологический анализ понятий классической и отрицательной вероятностей, функции принадлежности для нечетких множеств, а также квантово-механической теории. Приведены основные математические соотношения для статусных функций для сравнения с функциями принадлежности и волновыми функциями. Причем статусные функции предлагается использовать для отображения институциональных характеристик социально-экономических процессов при построении математических моделей социально-экономических процессов. Также описаны особенности теории нечетких множеств для сравнения с методом статусных функций и квантово-механическими волновыми функциями. Кроме этого, приведена характеристика квантово-механических волновых функций для сравнения с методом статусных функций.

Список литературы

1. A Mathematical Model of Regional Socio-Economic Development of the Russian Arctic Zone / Y. Boldyrev, S. Chernogorskiy, K. Shvetsov, A. Zherelo, K. Kostin. – 2019. – Vol. 8, no 1. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-9276/8/1/45>. DOI 10.3390/resources8010045 (дата обращения: 22.07.2022).
2. Bertotti M.L., Modanese G. Mathematical Models for Socio-economic Problems [Электронный ресурс] // Mathematical Models and Methods for Planet Earth. Part of the Springer INdAM Series book series SINDAMS. – 2014. – Vol. 6. – P. 123–134 – URL: <https://www.researchgate.net/publication/312825656> DOI: 10.1007/978-3-319-02657-2_10 (дата обращения: 20.06.2022).

3. Abalkin L. The Acceleration of Socioeconomic Development // Its Essence and Sources, Problems in Economics. – 1986. – Vol. 29(6). – P. 50–62. DOI: 10.2753/PET1061-1991290650
4. Demchenko S., Melnikova T.A. The Methodology of Developing the System of Indicators to Evaluate the Socio-economic Development Efficiency // Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences. – 2015. – Vol. 11. – P. 2356–2384. DOI: 10.17516/1997-1370-2015-8-11-2356-2384
5. Specific features of regulating the forecasting system for the socio-economic development in Russia / R.E. Khairullina, V.I. Lushchik, E.O. Lampsi, V.I. Romanov, A.L. Burovkina, A.Y. Krupnov, Yu.A. Butyrin // Revista Gênero E Interdisciplinaridade. – 2021. – Vol. 2, iss. 1.
6. Gênero R.E. Interdisciplinaridade. – 2021. – Vol. 2(01). DOI: 10.51249/gei.v2i01.136
7. Furnham A., Chamorro-Premuzic T. Personality, intelligence and general knowledge // Learning and Individual Differences. – 2006. – Vol. 16. – P. 79–90.
8. Ackerman P.L., Beier M.E. Intelligence, Personality, and Interests in the Career Choice Process // Career choice. – 2003. – P. 205–218.
9. Liu Yang-Yu, Barab. si A.-L. Control principles of complex systems // Reviews of Modern Physics. – 2016. – Vol. 88. DOI: 10.1103/RevModPhys.88.035006
10. Roderick C.M. Intentionality // The Encyclopedia of Philosophy. – 2001. – Vol. 4.
11. Jacob P. Stanford Encyclopedia of Philosophy [Электронный ресурс] // Intentionality. Retrieved 21 December 2012. – URL: <https://plato.stanford.edu/entries/intentionality/> (дата обращения: 22.06.2022).
12. Searle J. R. What is an Institution? // Journal of Institutional Economics. – 2005. – Vol. 1, no. 1. – P. 1–22.
13. Smith B., Searle J. The construction social reality: An exchange // American journal of Economics and Sociology. – 2003. – Vol. 2, no 1. – P. 285–309.
14. Searle J.R. The construction social reality. – New York. Free Press, 1995.
15. Searle J.R. Collective Intentions and Actions // Intentions in Communication / Cohen P., Morgan J., Pollack M. E. (eds.) Cambridge, MA: MIT Press, 1990 Reprinted in: Searle J. R. Consciousness and Language. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. – P. 80–105.
16. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
17. Заде Л.А. Тени нечетких множеств // Проблемы передачи информации. – 1966. – Т. 2, вып. 1. – С. 37–44.
18. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 172–215.

19. Заде Л.А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных/интеллектуальных систем // *Новости Искусственного Интеллекта*. – 2001. – № 2–3. – С. 7–11.
20. Dirac P.A.M. The physical interpretation of quantum mechanics [Электронный ресурс] // *Soc. London. Ser. A*. – 1941. – Vol. 180. A. – URL: <https://royalsociety.org/journals/> (дата обращения: 20.06.2022).
21. Белинский А.В. Парадоксы Белла без введения скрытых параметров // *Успехи физических наук*. – 1994. – Т. 164, № 4. – С. 435–442.
22. Белинский А.В. Как измерить отрицательную вероятность // *Письма в ЖЭТФ*. – 1994. – Т. 59. – С. 278–282.
23. Белинский А.В. Объективная реальность и парадокс друзей Вигнера // *Оптика и спектроскопия*. – 2020. – Т. 128, вып. 9. – С. 1309–1312. DOI: 10.21883/OS.2020.09.49870.297-20
24. Feynman R.P. Negative probabilities: layman explanations [Электронный ресурс]. – URL: <https://cds.cern.ch/record/154856/files/pre-27827.pdf> (дата обращения: 20.06.2022).
25. Klyshko D.N. Quantum Communication with Entangled Photons [Электронный ресурс] // *Advances In Atomic, Molecular, and Optical Physics*. – 2000. – Vol. 42. – P. 489–533. – URL: [https://doi.org/10.1016/S1049-250X\(08\)60192-5](https://doi.org/10.1016/S1049-250X(08)60192-5) (дата обращения: 20.06.2022).
26. Home D., Selleri F. Bell's theorem and the EPR paradox // *Rivista del Nuovo Cimento*. – 1991. – Vol. 14(9). – P. 1–95.
27. Sokolovski D. Are the 'weak measurements' really measurements? // *Quanta*. – 2013. – Vol. 2. – P. 50–57.
28. Белинский А.В., Клышко Д.Н. Интерференция света и теорема Белла // *Успехи физических наук*. – 1993. – Т. 8 (1). – P. 1993163.
29. Ионов А.С., Петров Г.А. К построению основ теории вероятностей комплексных логических событий // *Вестник НовГУ. Сер.: Естеств. и техн. науки*. – 2004. – № 26. – С. 108–113.
30. Ольве Н., Рой Ж., Ветер М. Оценка эффективности деятельности компании. Практическое руководство по использованию сбалансированной системы показателей. – М.: Издательский дом «Вильямс». – 2003. – 304 с.
31. Veshneva I.V., Singatulin R.A. The Status Functions Application for Multispectral Data Images Processing in Virtual Reality Systems // *Cyber-Physical Systems, Studies in Systems, Decision and Control*. Springer. – 2012. – Vol. 350. – P. 225–235. DOI 10.1007/978-3-030-67892-0_19
32. Veshneva I., Bolshakov A., Fedorova A. Analysis of the Competitiveness Risks of Food Production Enterprises Using Mathematical Modelling Methods // *Methods Communications in Computer and Information Science*, 1448 CCIS. – 2021. – P. 238–249. DOI: 10.1007/978-3-030-87034-8_18

33. Sanz A.S., Miret-Arte S. Quantum phase analysis with quantum trajectories: A step towards the creation of a Bohmian thinking // *Am. J. Phys.* – 2011. – Vol. 80(525).
34. Нейман И. Математические основы квантовой механики. – М.: Наука. – 1964. – 366 с.
35. Птускин А.С. Нечеткие модели и методы в менеджменте. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 216 с.
36. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. – Винница: Континент-Прим, 1996. – 132 с.

References

1. Boldyrev Y., Chernogorskiy S., Shvetsov K., Zherelo A., Kostin K. A Mathematical Model of Regional Socio-Economic Development of the Russian Arctic Zone. 2019. Vol. 8, No 1, available at: <https://www.mdpi.com/2079-9276/8/1/45> DOI 10.3390/resources8010045
2. Bertotti M.L., Modanese G. Mathematical Models for Socio-economic Problems. *Mathematical Models and Methods for Planet Earth. Part of the Springer INdAM Series book series SINDAMS*, 2014, Vol. 6, pp. 123–134 <https://www.researchgate.net/publication/312825656> DOI: 10.1007/978-3-319-02657-2_10
3. Abalkin L. The Acceleration of Socioeconomic Development. *Its Essence and Sources, Problems in Economics*, 1986, vol. 29(6), p. 50-62 DOI: 10.2753/PET1061-1991290650
4. Demchenko S., Melnikova T.A. The Methodology of Developing the System of Indicators to Evaluate the Socio-economic Development Efficiency. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences*, 2015. vol. 11, p. 2356-2384 DOI: 10.17516/1997-1370-2015-8-11-2356-2384
5. Khairullina R.E., Lushchik V.I., Lamps E.O., Romanov V.I., Burovki-na A.L., Krupnov A.Y., Butyrin Yu.A. Specific features of regulating the forecasting system for the socio-economic development in Russia. *Revista Gênero E Interdisciplinaridade*, 2021, Vol. 2, Iss. 1 <https://doi.org/10.51249/gei.v2i01.136>
6. Gênero R.E. *Interdisciplinaridade*, 2(01). <https://doi.org/10.51249/gei.v2i01.136>
7. Furnham A., Chamorro-Premuzic T. Personality, intelligence and general knowledge. *Learning and Individual Differences*, 2006, vol. 16, pp. 79–90
8. Ackerman P.L., Beier M.E. Intelligence, Personality, and Interests in the Career Choice Process. *Career choice*. May 2003, pp. 205-218
9. Liu Yang-Yu, Barabási A.-L. Control principles of complex systems. *Reviews of Modern Physics*, 2016, vol. 88, 2016 035006-1-035006-58 DOI: 10.1103/RevModPhys.88.035006
10. Roderick C.M. Intentionality. *The Encyclopedia of Philosophy*, 2001. T. 4

11. Jacob P. Stanford Encyclopedia of Philosophy. Intentionality. Retrieved 21 December 2012. 2012) <https://plato.stanford.edu/entries/intentionality/>
12. Searle J.R. What is an Institution? *Journal of Institutional Economics*, 2005, Vol. 1, No. 1. pp. 1-22
13. Smith B., Searle J. The construction social reality: An exchange. *American journal of Economics and Sociology*, 2003, Vol. 2, No 1, pp. 285-309
14. Searle J.R. The construction social reality. New York. Free Press, 1995.
15. Searle J.R. Collective Intentions and Actions. *Intentions in Communication* / Cohen P., Morgan J., Pollack M. E. (eds.) Cambridge, MA: MIT Press, 1990 Reprinted in: Searle J. R. *Consciousness and Language*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, pp. 80-105.
16. Zade L.A. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh reshenij [*Zade L.A. The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions*] Moskva: Mir [*Moscow: World*], 1976. 165 p.
17. Zade L.A. Teni nechetkih mnozhestv [*Zade L.A. Shadows of fuzzy sets*]. Problemy peredachi informacii [*Information transfer problems*]. 1966, T. 2(1), pp. 37-44.
18. Bellman R., Zade L. Prinyatie reshenij v rasplyvchatykh usloviyakh [*Bellman R., Zade L. Decision making in vague conditions*]. V knige: Voprosy analiza i procedury prinyatiya reshenij [*In the book: Questions of analysis and decision-making procedures*]. Moskva: Mir [*Moscow: World*], 1976, pp. 172-215
19. Zade L.A. Rol' myagkih vychislenij i nechetkoj logiki v ponimanii, konstruirovanii i razvitii informacionnyh/intellektual'nykh system [*Zade L.A. The role of soft computing and fuzzy logic in understanding, designing and developing information/intelligent systems*]. *Novosti Iskusstvennogo Intellekta* [*News of Artificial Intelligence*], 2001, No 2-3, pp. 7-11
20. Dirac P.A.M. The physical interpretation of quantum mechanics. *Soc. London. Ser. A*. 180, 1941, vol. 180, <https://royalsociety.org/journals/>
21. Belinskij A.V. Paradoksy Bella bez vvedeniya skrytykh parametrov [*Belinsky A.V. Bell's paradoxes without the introduction of hidden parameters*]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [*Advances in the physical sciences*], 1994, T. 164, No 4, pp. 435-442
22. Belinskij A.V. Kak izmerit' otricatel'nuyu veroyatnost' [*Belinsky A.V. How to Measure Negative Probability*]. *Pis'ma v ZHETF* [*Letters to JETF*], 1994, T. 59, pp. 278-282
23. Belinskij A.V. Ob"ektivnaya real'nost' i paradoks družej Vignera [*Belinsky A.V. Objective reality and the paradox of Wigner's friends*]. *Optika i spektroskopiya* [*Optics and spectroscopy*], 2020, T. 128(9), pp. 1309-1312 DOI: 10.21883/OS.2020.09.49870.297-20

24. Feynman R.P. Negative probabilities: layman explanations. <https://cds.cern.ch/record/154856/files/pre-27827.pdf>

25. Klyshko D.N. Quantum Communication with Entangled Photons. *Advances In Atomic, Molecular, and Optical Physics*, 2000, Vol. 42, p. 489-533 [https://doi.org/10.1016/S1049-250X\(08\)60192-5](https://doi.org/10.1016/S1049-250X(08)60192-5)

26. Home D., Selleri F. Bell's theorem and the EPR paradox. *Rivista del Nuovo Cimento*, 1991, Vol. 14(9), p. 1-95

27. Sokolovski D. Are the 'weak measurements' really measurements? *Quanta*, 2013, Vol. 2, pp. 50-57 <https://arxiv.org/pdf/1305.4809.pdf>.

28. Belinskij A.V., Klyshko D.N. Interferenciya sveta i teorema Bella [Belinsky A.V., Klyshko D.N. Light interference and Bell's theorem]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Advances in the physical sciences], 1993, 163. 8 (1).

29. Ionov A.S., Petrov G.A. K postroeniyu osnov teorii veroyatnostej kompleksnyh logicheskikh sobytij [Ionov A.S., Petrov G.A. *To the construction of the foundations of the theory of probability of complex logical events*]. *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Novgorod State University. Series Natural and technical sciences], 2004, No 26. pp. 108-113

30. Ol've N., Roj ZH., Veter M. Ocenka effektivnosti deyatelnosti kompanii. Prakticheskoe rukovodstvo po ispol'zovaniyu sbalansirovannoj sistemy pokazatelej [Olve N., Roy Zh., Veter M. *Evaluation of the efficiency of the company. A Practical Guide to Using the Balanced Scorecard*]. Moskva. Izdatel'skij dom «Vil'yams» [Moscow. Williams Publishing House], 2003, 304 p.

31. Veshneva I.V., Singatulin R.A. The Status Functions Application for Multispectral Data Images Processing in Virtual Reality Systems. *Cyber-Physical Systems, Studies in Systems, Decision and Control*. Springer, 2012, vol. 350, p. 225-235 DOI 10.1007/978-3-030-67892-0_19

32. Veshneva I., Bolshakov A., Fedorova A. Analysis of the Competitiveness Risks of Food Production Enterprises Using Mathematical Modelling Methods. *Methods Communications in Computer and Information Science*, 1448 CCISv 2021, pp. 238-249 DOI: 10.1007/978-3-030-87034-8_18

33. Sanz A.S., Miret-Arte, S. Quantum phase analysis with quantum trajectories: A step towards the creation of a Bohmian thinking. *Am. J. Phys.* 2011. Vol. 80(525) <https://doi.org/10.1119/1.3698324>

34. Nejman I. Matematicheskie osnovy kvantovoj mekhaniki [Neumann I. *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*]. Moskva. Nauka [Moscow. The science], 1964, 366 p.

35. Ptuskin A.S. Nechetkie modeli i metody v menedzhmente [Ptuskin A.S. *Fuzzy models and methods in management*] Moskva. Izdatel'stvo MGTU imeni

N.E. Bauman [Moscow. Publishing house of MSTU named after. N.E. Bauman], 2008, 216 p.

36. Rotshtejn A.P. Medicinskaya diagnostika na nechetkoj logike [Rotstein A.P. Medical diagnostics based on fuzzy logic]. Vinnica: Kontinent-Prim [Vinnitsa: Continent-Prim], 1996, 132 p.

Сведения об авторах

Вешнева Ирина Владимировна (Саратов, Россия) – доктор технических наук, профессор, доцент, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (410012, Саратов, ул. Астраханская, 83, e-mail: veshnevaiv@gmail.com).

Большаков Александр Афанасьевич (Санкт-Петербург, Россия) – доктор технических наук, профессор, Высшая школа прикладной математики и вычислительной физики Института прикладной математики и механики, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул. 29, e-mail: aabolshakov57@gmail.com).

About the authors

Irina V. Veshneva (Saratov, Russian Federation) – Dr. Habil. in Engineering, Professor, Associate Professor, Saratov State University (83, Astrakhanskaya st., Saratov, 410012, e-mail: veshnevaiv@gmail.com).

Alexander A. Bolshakov (Saint-Petersburg, Russian Federation) – Dr. Habil. in Engineering, Professor, Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University (29, Polytechnic st., Saint-Petersburg, 195251, e-mail: aabolshakov57@gmail.com).

Библиографическое описание статьи согласно

ГОСТ Р 7.0.100–2018:

Вешнева, И. В. Анализ социально-экономических систем с использованием квантово-подобных математических моделей на базе статусных функций. Часть I / И. В. Вешнева, А. А. Большаков. – текст : непосредственный. – DOI: 10.15593/2499-9873/2022.3.09 // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2022. – № 3. – С. 165–186.

Цитирование статьи в изданиях РИНЦ:

Вешнева, И. В. Анализ социально-экономических систем с использованием квантово-подобных математических моделей на базе статусных функций. Часть I /

И. В. Вешнева, А. А. Большаков // Прикладная математика и вопросы управления. – 2022. – № 3. – С. 165–186. – DOI: 10.15593/2499-9873/2022.3.09

Цитирование статьи в references и международных изданиях

Cite this article as:

Veshneva I.V., Bolshakov A.A. Analysis of socio-economic systems using quantum-like mathematical models based on status functions. Part I. *Applied Mathematics and Control Sciences*, 2022, no. 3, pp. 165–186. DOI: 10.15593/2499-9873/2022.3.09 (*in Russian*)

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-010-00465.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Поступила: 10.04.2022

Одобрена: 20.04.2022

Принята к публикации: 01.09.2022