

УДК 51-77 DOI: 10.14451/1.242.13

Мнимые составляющие потенциальной энергии и импульса при описании движения экономических объектов как квантово-механических систем

© 2025 Качанов Игорь Анатольевич

Ведущий программист. ООО «Нордэнергогрупп информационные технологии».

E-mail: Kachanov_IA@neg-it.ru

Ключевые слова: квантово-механическая система, потенциальная энергия, уравнение Шредингера, квантовый подход в экономике, импульс, масса экономического объекта.

Несмотря на огромный пласт методов описания реальности, накопленных в физике и математике, математическое понимание и описание экономических объектов и процессов находится на недостаточно высоком уровне. Это приводит к ошибкам при прогнозировании долгосрочных экономических тенденций и принятию неоптимальных управленческих решений. Такая ситуация сложилась потому, что движение в социально-экономическом пространстве, такое, как появление новых технологий или появление новых рынков – это всегда преодоление каких-то пределов, выход за существующие границы или любое изменение этих границ, что всегда очень сложно прогнозировать. В статье показана связь изменения границ области существования квантово-механической системы со средним значением мнимой части потенциальной энергии этой системы. Также даны физические смыслы координат экономического пространства, потенциальной энергии, массы и скорости экономических объектов.

Введение

Экономическая теория переживает непрекращающийся кризис, подробно описанный, например, в [6], [9]. Основной причиной этого кризиса, по мнению академика РАН, директора Московской школы экономики МГУ Некипелова А. Д., является «неспособность мейнстрима точно прогнозировать динамику экономических показателей и, соответственно, формулировать оптимальные меры экономической политики». Что, в свою очередь, может быть порождено только одним – современная экономическая теория не учитывает

ряд неэкономических факторов, непосредственно влияющих на экономическое поведение: опыт объекта, его культурный уровень, политические и религиозные предпочтения и другие процессы, происходящие в психике экономического объекта.

Можно ли вообще как-то учитывать психологические особенности объекта при прогнозировании экономического поведения? Очевидно, что учитывать их необходимо, но математического аппарата для этого пока нет.

Для решения вышеизложенной проблемы в данной статье обосновывается использование аппарата квантовой механики над расширенным, комплексным полем экономических координат. Считаем, что каждый экономический ресурс имеет не только действительную, но и мнимую часть (образ ресурса), которая лежит в психике экономического объекта и влияет на его операции с данным ресурсом.

Сходство и различие социально-экономических и неживых объектов

в контексте квантово-механического подхода

Все больше исследователей используют для описания поведения социальных систем математический аппарат квантовой механики. Например, в работах [1; 2; 4].

Это обусловлено двумя факторами:

- взаимодействие социально-экономических объектов происходит путем обмена ресурсами порциями (квантами);
- вероятностная составляющая в определении состояния того или иного социально-экономического объекта достаточно велика.

«Квантовый подход к экономике вдохновлен тем, что денежная система проявляет квантовые свойства, такие как дискретность, неопределенность, запутанность и т. д. Поэтому, по выражению Фейнмана, моделирование должно быть квантово-механическим в том смысле, что оно отражает эти свойства (даже если оно непосредственно не использует квантовый формализм). Поэтому дело не в том, что квантовый подход будет лучшим методом для моделирования каждого аспекта экономики, а в том, что экономика имеет квантовые свойства, которые, возможно, необходимо учитывать (явно или неявно) в зависимости от контекста» – Дэвид Оррелл [7].

Но есть и отличия социально-экономических объектов от неживых объектов квантового мира: они принципиально различимы. То есть в отличие от атомов и их составных частей, мы всегда можем отличить одно предприятие от другого путем сравнения установочных документов. Каждый социально-экономический объект, от

крестьянских хозяйств (родов) и до цивилизаций, уникален.

Эта уникальность дает нам право рассматривать функцию амплитуд вероятностей, с помощью которой принято описывать движение квантовых систем, а мы будем описывать поведение социально-экономических систем, не в бесконечно большой области пространства, а в ограниченной области. Более того, мы не можем требовать, чтобы вероятность существования социально-экономического объекта на границе этой области тождественно равнялась нулю.

Рассмотрим свойства неживых квантовых систем и социально-экономических объектов.

Свойства неживых квантовых систем:

- квантовые объекты не различимы, мы не можем пронумеровать электроны, протоны, атомы в целом таким образом, чтобы это не влияло на их поведение;
- мы не можем знать одновременно абсолютно точно изменение импульса и координаты, а также энергии за бесконечно малый промежуток времени (принцип неопределенности Гейзенберга);
- импульс и энергия изменяются порционно (квантово) на величину, кратную постоянной Планка.

Свойства социально-экономических квантовых систем:

- социально-экономические объекты принципиально различимы (например, для ведения экономической деятельности должен быть ИНН);
- мы не можем абсолютно точно знать прибыль и финансовое состояние экономического объекта в любой момент времени (а сама попытка узнать абсолютно точно, скажем, количество ресурсов на складах, ведет к изменению состояния экономического объекта);
- количество ресурсов, находящихся в собственности экономических объектов, меняется порционно.

Мнимая составляющая импульса социально-экономических систем при использовании квантовой парадигмы для описания их движения

Рассмотрим движение квантового объекта в каком-либо одномерном пространстве с координатой x и постоянной Планка \hbar . Такое движение будет описываться с помощью функции амплитуд вероятностей Ψ . Как известно, в этом случае среднее значение импульса объекта можно будет вычислить по следующей формуле:

$$\langle P \rangle = - \int_{-\infty}^{\infty} i\hbar \bar{\Psi} \frac{\partial}{\partial x} \Psi dx, \tag{1}$$

где:

$\langle P \rangle$ – среднее значение импульса;

$\bar{\Psi}$ – комплексно сопряженная функция амплитуд вероятности;

i – мнимая единица.

Примем для функции амплитуд вероятности и её сопряжения:

$$\begin{aligned} \Psi &= A \cdot \exp\left(i \cdot \frac{S}{\hbar}\right), \\ \bar{\Psi} &= A \cdot \exp\left(-i \cdot \frac{S}{\hbar}\right), \end{aligned} \tag{2}$$

где: $A = A(x, t)$; $S = S(x, t)$ – действительные функции координаты и времени и $A^2(x, t)$ – вероятность нахождения частицы в точке с координатами x в момент времени t .

Тогда

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \Psi &= \frac{\partial A}{\partial x} \cdot \exp\left(i \cdot \frac{S}{\hbar}\right) + i \frac{A}{\hbar} \frac{\partial S}{\partial x} \exp\left(i \cdot \frac{S}{\hbar}\right) \\ \bar{\Psi} \frac{\partial}{\partial x} \Psi &= A \frac{\partial A}{\partial x} + i \frac{A^2}{\hbar} \frac{\partial S}{\partial x} \end{aligned} \tag{3}$$

В случае не бесконечных границ, замкнутости области существования описываемой системы окончательно получаем:

$$\langle P \rangle = - \int_a^b i\hbar \left(A \frac{\partial A}{\partial x} + i \frac{A^2}{\hbar} \frac{\partial S}{\partial x} \right) dx = -i \cdot \hbar \cdot 0,5 \cdot [A^2(b) - A^2(a)] + \int_a^b A^2 \frac{\partial S}{\partial x} dx \tag{4}$$

Обозначим W – вероятность нахождения системы в каком-либо положении. В случае неживых квантовых систем

$$\begin{aligned} A^2 &= W; \\ a &= -\infty; \\ b &= \infty; \\ W(-\infty) &= W(\infty) = 0 \end{aligned} \tag{5}$$

мнимая часть импульса равна нулю.

мкнута и не бесконечна, имеем

$$\begin{aligned} a &= a(t) \neq -\infty; \\ b &= b(t) \neq \infty; \\ W(a) &\neq 0; \\ W(b) &\neq 0 \end{aligned} \tag{6}$$

Следовательно, импульс социально-экономической системы, в соответствии с формулой (4), может иметь мнимую часть.

Анализ уравнения Шредингера с ненулевой мнимой частью потенциальной энергии

Как известно, при описании процессов в ядре атома, где происходит постоянное рождение и уничтожение частиц, принято дополнять энергию мнимой составляющей [5, с. 19]: «Примером феноменологической модели может служить потенциал

Для случая социально-экономических квантовых систем, учитывая свойство различимости объектов, область существования системы за-

$$U(r, T_n) = -(V_v + iW_v) f_{vs}(r, R_v, a_v) + i4a_D W_D \frac{d}{dr} f_{vs}(r, R_D, a_D) + 2(V_{SO} + iW_{SO}) \frac{1}{r} \frac{d}{dr} f_{vs}(r, R_{SO}, a_{SO}) (\vec{l} \cdot \vec{\sigma}), \quad (7)$$

где \vec{l} – оператор орбитального углового момента, $\vec{\sigma}$ – спиновый оператор,

V_j, W_j – реальная и мнимая части одной из компонент потенциала. Компоненты потенциала отмечены разными индексами (j). В потенциале присутствует объёмная компонента (V), поверхностная компонента (D), спин-орбитальная компонента (SO).»

Запишем уравнение Шредингера с мнимой частью потенциальной энергии:

$$\frac{-\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + (U_1 + iU_2) \Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (8)$$

где:

U – потенциальная энергия квантового объекта;

U_1 и U_2 – соответственно действительная и мнимая часть потенциальной энергии;

Δ – оператор Лапласа.

Функцию амплитуд вероятностей, как и раньше, запишем в виде

$$\Psi = A e^{\frac{iS}{\hbar}} \quad (9)$$

Также введем следующее обозначение:

$$v \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{m} \nabla S \quad (10)$$

где: m – масса частицы, ∇ – оператор набла.

Учитывая введенные обозначения и выделяя

мнимую и действительную части уравнения Шредингера (8), получаем систему двух уравнений:

$$\frac{\partial A^2}{\partial t} + \text{div}(A^2 v) = A^2 U_2 \quad (11)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{mv^2}{2} = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{\text{div} \nabla A}{A} - U_1 \quad (12)$$

Интегрируя по объему уравнение (11), получаем следующее:

$$\int_a^b \frac{\partial A^2}{\partial t} + \text{div}(A^2 v) dx = \int_a^b A^2 U_2 dx \quad (13)$$

В том случае, если

$$A^2 = W(x, t), a = -\infty, b = \infty, \int_{-\infty}^{\infty} W(x, t) dx = 1, \quad (14)$$

и вследствие линейности операторов дифференцирования и интегрирования получаем

$$\int_a^b A^2 U_2 dx = 0, \quad (15)$$

то есть среднее значение мнимой составляющей энергии в бесконечно большом объеме равно нулю.

В случае если границы не бесконечны и подвижны, то есть $a = a(t)$, $b = b(t)$, то среднее значение мнимой части энергии не равно нулю, а коррелирует со скоростью изменения границ.

Используем формулу Лейбница:

$$\int_a^b \frac{\partial A^2}{\partial t} dx = \frac{\partial \int_a^b W dx}{\partial t} - W(b, t) \frac{\partial b(t)}{\partial t} + W(a, t) \frac{\partial a(t)}{\partial t} = \left| \int_a^b W dx = 1 \right| = -W(b, t) \frac{\partial b(t)}{\partial t} + W(a, t) \frac{\partial a(t)}{\partial t}. \quad (16)$$

Записывая формулу Остроградского–Гаусса для одномерного случая,

$$\int_a^b \operatorname{div}(A^2 v) dx = W(b)v(b) - W(a)v(a) \quad (17)$$

получаем в итоге

$$\langle U_2 \rangle = W(b)v(b) - W(a)v(a) - W(b) \frac{\partial b(t)}{\partial t} + W(a) \frac{\partial a(t)}{\partial t} = W(b) \left(v(b) - \frac{\partial b(t)}{\partial t} \right) - W(a) \left(v(a) - \frac{\partial a(t)}{\partial t} \right) \quad (18)$$

То есть *среднее значение мнимой составляющей энергии равно произведению вероятности существования объекта на границе области существования на его мгновенную скорость относительно этой границы.*

Таким образом, можно утверждать, что это соотношение и дает искомую связь между изменением границ существования квантово-механической, а также любой социально-экономической системы со средним уровнем мнимой части потенциальной энергии рассматриваемой системы.

Координаты, энергия, масса в экономическом пространстве

Вопрос полного описания экономического пространства и законов, которые действуют на объекты в этом пространстве, достаточно сложен, это тема не одной статьи, и даже не одной монографии. Здесь же кратко обозначим основные понятия.

Если есть мнимая составляющая импульса и мнимая составляющая энергии, значит, есть мнимая составляющая координат. То есть движение социально-экономических систем одновременно происходит в реальном мире и мнимом пространстве, которое представляет собой психику экономических объектов или психику тех людей, которые руководят рассматриваемыми экономическими объектами. Возможно, это пространство возникло потому, что причина движения социально-экономических объектов может лежать в будущем, в отличие от неживых объектов, для которых следствие всегда

случается позже причины. Хотя есть и еще одна гипотеза: мнимое пространство существует объективно, а наша психика – всего лишь один из инструментов для взаимодействия с этим пространством.

Рассмотрим любой экономический объект. Для его описания в данный конкретный момент времени нам необходимо знать количество экономических ресурсов, которое ему принадлежит, и кроме этого – образы этих ресурсов, которые находятся в психике этого экономического объекта. Под образом ресурса, то есть под мнимой составляющей его экономической координаты, мы будем подразумевать ценность данного ресурса для рассматриваемого экономического объекта. Ценность ресурса – понятие, лежащее в области психики, которое прямо пропорционально возможной прибыли или улучшению статуса, которую рассматриваемый объект сможет получить в будущем при использовании данного ресурса. Таким образом, экономическими координатами будут комплексные величины, действительная часть которых равна количеству ресурсов, которыми экономический объект оперирует, а мнимая часть – ценностью этого вида ресурсов в психике объекта, которую мы можем назвать также образом ресурса.

Например, при рассмотрении биржевых торгов каждого биржевого агента в любой момент времени мы можем характеризовать количеством финансовых инструментов, которыми он владеет, а также его представлениями о ценности каждого из этих инструментов. Если мы рассмотрим предприятие-производителя, то его состояние

в любой момент времени будет характеризоваться количеством сырья и комплектующих на складах и в незавершенном производстве (ценных ресурсов для этого предприятия), количеством готовой продукции на складах, а также трудом (человеко-часы) и капиталом – парком станков, машин и механизмов, прочим оборудованием, и зданиями, находящимися в собственности этого предприятия. И каждая комплектующая, каждый станок, каждый сотрудник имеет свою ценность в психике директора предприятия, которая, скорее всего, связана с частной производной возможной прибыли по данному ресурсу.

Важным фактором при описании экономического объекта является его скорость. Определение скорости экономического объекта будет отличаться от определения скорости в классической механике, что связано с невозможностью определить конечный предел изменения ресурсов к интервалу времени, за которое это изменение произошло, при стремлении к нулю этого интервала времени. Более важным будет средняя скорость объекта, определяемая как поток ресурсов за определенный интервал времени – день, неделя, месяц, квартал, год. То есть имеет смысл говорить о годовом/недельном входящем или исходящем потоке ресурсов, и о годовом/недельном изменении ценности ресурсов в психике рассматриваемого экономического объекта.

Действительная составляющая потенциальной энергии экономического объекта равна его финансовым возможностям, то есть это сумма произведений всех ресурсов, которыми владеет данный объект, на их текущие цены. Вопрос с мнимой составляющей потенциальной энергии пока исследован недостаточно. На данный момент предполагаем, что мнимая составляющая существует и связана с ожидаемой прибылью, которая, в свою очередь, зависит от ценности ресурсов (мнимой составляющей экономической координаты) и технологий, которые применяются экономическим объектом для преобразования/продажи ресурсов.

Наиболее интересным является вопрос о массе экономических объектов. В своей монографии [3, с. 43] Д. Е. Давыдьянц дает определение экономической массы как «вновь созданной стоимости», или прибыли. С другой стороны, Д. Оррелл и М. Хаусманд в своей работе [8] дают следующую формулу для определения массы экономического объекта, рассматривая этот объект как квантово-механическую систему:

$$m = \frac{\hbar}{2w\sigma^2}, \quad (19)$$

где:

m – масса экономического объекта;

\hbar – постоянная Планка в рассматриваемом экономическом пространстве;

w – частота колебаний экономического объекта как гармонического осциллятора;

σ – стандартное отклонение при совершении колебаний.

Отметим, что экономические процессы обладают инерцией [10], а масса, по сути, – это коэффициент инерции. По аналогии с классической механикой, можно определить (рассчитать) только инерционную массу, то есть величину, подобную обратному значению коэффициента пропорциональности во втором законе Ньютона между силой и ускорением, которую эта сила вызывает. Инерционная масса в экономическом пространстве будет своя для каждого ресурса как экономической координаты и равна интегралу по времени от отношения частной производной потенциальной энергии по данному ресурсу к изменению потока этого ресурса за рассматриваемый интервал времени $[t_1, t_2]$:

$$m_x \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\int_{t_1}^{t_2} \partial \frac{U(x,t)}{\partial x} dt}{v(t_2) - v(t_1)}, \quad (20)$$

где:

x – какой-либо экономический ресурс;

U – потенциальная энергия;

v – скорость изменения (поток) ресурса.

Зная потенциальную энергию экономического объекта и поток какого-либо ресурса, мы можем определить и инерционную массу этого объекта по соответствующей координате, и значит, определить импульс как произведение массы на величину потока ресурсов.

Выводы

Механизм взаимодействия мнимого пространства и психики лежит там, где находится образ будущего, который изменяется под действием не только текущих событий, но и наших мыслей, чувств, эмоций как тех, которые мы испытываем сейчас, так и тех, которые мы будем испытывать в будущем. Можно сказать, что психика социально-экономических систем с образом будущего, мыслями, идеями, эмоциями людей, их образующих, и есть наше мнимое пространство, воздействие которого необходимо учитывать при описании движения любых социально-экономических систем.

Принимая как аксиому истинность утверждения о том, что мнимая составляющая энергии характеризует психическое состояние социально-экономических систем, можно сделать следующие выводы:

- среднее психическое состояние экономиче-

ского объекта связано с относительной скоростью изменения тех границ, в которых он существует;

- для того чтобы изменить границы экономического пространства, в котором экономический объект существует, надо изменить состояние своей психики путем изменения ценности ресурсов;
- и наоборот: если ресурсное или финансовое положение изменилось вследствие случайного стечения обстоятельств, будут возникать возмущения в психике, связанные с изменением образов ресурсов.

Ограничением данного подхода является то, что единственные измерения, которые мы можем провести в экономике – это получить данные о потоках ресурсов и финансовых потоках. Мы не можем взвесить экономический объект, не можем экспериментально определить его жесткость или коэффициент демпфирования. Мы даже не можем определить абсолютно точно мнимую составляющую экономической координаты – образ ресурса, лежащий в психике экономического объекта. Поэтому нам пока остается только строить теории с неизвестными параметрами и пытаться определить их значение на основании обработки статистических данных.

Библиографический список

1. *Вешнева И. В., Большаков А. А.* Анализ социально-экономических систем с использованием квантово-подобных математических моделей на базе статусных функций // Прикладная математика и вопросы управления. – 2022. – № 3. – С. 165–186.
2. *Гуц А. К.* Квантовая механика для социологов: аксиомы квантовой социологии // Математические структуры и моделирование. – 2021. – 2(58). – С. 65–95.
3. *М.* Физическая экономика: теория, методология, системообразующие начала : монография. – Миркаль, 2016.
4. *Мелких А., Хренников А.* Квантовоподобная модель частично направленной эволюции // Успехи биофизики и молекулярной биологии. – 2017. – № 125. – С. 36–51.
5. *Нейтрон / под ред. Д. Е. Ланского, М. Е. Степанова, Т. Ю. Третьяковой.* – М. : Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына, 2021. – 155 с.
6. *Некипелов А. Д.* Кризис в экономической науке – природа и пути преодоления // Вестник российской академии наук. – 2019. – № 1. – С. 23–35.
7. *Оррелл Д.* Введение в математику квантовой экономики // Цифровая экономика. Переводы. – 2019. – № 8. – С. 57–74.
8. *Оррелл Д., Хоушманд М.* Квантовые способности в экономике // Рубежи в области искусственного интеллекта. – 2021. – № 4.
9. *Полтерович В. М.* Становление общего социального анализа // Общественные науки и современность. – 2011. – № 2. – С. 101–111.
10. *Хайруллин В. А., Макар С. В., Ямалова Э. Н.* Инерция в социально-экономических системах: теоретико-эвристический анализ феномена // Общая экономика. – 2021. – 5 (108).