

## КВАНТОВІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ: ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ

КОРЖ Роман

БО «ФОНД ІНВЕСТИЦІЙ В МАЙБУТНЄ»

<https://orcid.org/0000-0002-5649-9969>

*Стаття розглядає квантовий підхід у моделюванні та аналізі інноваційних процесів; виявленні аспектів даних процесів у сучасних економічних системах. Відображаються підходи до стрімкого розвитку квантової технології та інноваційних процесів та квантова революція, яка стає ключовим фактором глобальної економічної зміни XXI століття. Проаналізовано джерела літератури та сформульовано власні уявлення про радикальні новаторські інновації, квантову технологію, квантові обчислення, реалізацію квантового підходу в економічній системі. Вказано позитивні аспекти квантової економіки, ринку квантової технології та квантової обчислювальної техніки у сучасному економічному контексті. На підставі проведеного дослідження встановлено, що розуміння впливу квантової техніки на інноваційний процес потребує міждисциплінарного підходу з інтеграцією знання у комп'ютерних науках, фізиці, економіці, управлінні. Визначено, що підходи квантового моделювання та аналізу інноваційного процесу дають ідеї щодо управління інноваційними процесами у квантовій економічній системі. Практичний зміст описує адаптація бізнес-моделі до умов квантів та розробка ефективних стратегічних підходів до управління ризиком та потенціалом бізнесу. Експерти розраховують, що дослідження, які перебувають на стадії розробки, стануть реальністю у сфері квантової економіки та IT.*

*Ключові слова:* квантова економіка, радикальні інновації, квантові технології, квантові моделі управління, суперпозиція, запутаність, квантовий штучний інтелект, квантові матеріали, квантовий бізнес.

<https://doi.org/10.31891/mdes/2024-11-16>

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Квантова революція XXI століття пов'язана з радикальними інноваціями та квантовими технологіями, які змінюють глобальні економічні процеси. Розвиток квантових технологій відкриває перспективи аналізу, моделювання інноваційних процесів. В умовах технологічного прогресу інновації є ключовим фактором економічного зростання та конкурентоспроможності. Сучасні технології кардинально змінюють підходи до інновацій, сприяють появі нових ринків та бізнес-моделей. Технологічні революції в індустріальному суспільстві та Інтернет оновили розвиток економічних систем. Квантова революція радикально змінює структури глобальних ринків і удосконалює сучасні бізнес-моделі. Квантові технології призводять до децентралізації інноваційних процесів, дозволяють фірмі переходити до бізнес-моделі, що самоорганізується. Традиційні лінійні підходи до управління інноваціями, що ґрунтуються на послідовних етапах освоєння та реалізації ідеї, старіють в умовах квантової революції.

Традиційна економічна теорія ґрунтується на припущенні раціональної поведінки економічних агентів та лінійних залежностей між змінними факторами. Квантова економіка пропонує підхід на принципах квантової фізики, невизначеності та суперпозиції. Квантові технології прискорюють розвиток радикальних інновацій, дозволяють компаніям продавати інноваційні бізнес-моделі, виходити на міжнародні ринки. Паралелі між квантовою фізикою та економічними процесами виявляє принцип квантової невизначеності у квантовій економіці та визначає економічних агентів в умовах невизначеності та непередбачуваності інноваційних процесів. Принцип суперпозиції посилює потенціали одночасного існування бізнес-моделей та організаційних структур. Принцип запутаності показує взаємозв'язок інноваційних процесів, взаємний вплив на світовому ринку. Розуміння квантових підходів до інноваційних процесів дозволяє створити ефективні моделі управління. Квантова революція в економіці XXI століття пов'язана з радикальними інноваціями та квантовими технологіями, що змінюють глобальні економічні процеси. Прогрес у квантових розробках відкриває перспективи моделювання та аналізу інноваційних процесів. Актуальними є квантові підходи до моделювання та аналізу інноваційних процесів для виявлення фундаментальних механізмів та квантових аспектів цих процесів у сучасній економіці.

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Теорія економічного розвитку Joseph Alois Schumpeter [1] займає центральне місце у вивченні інновацій. Вчений розглядав інновації як рушійну силу економічного зростання та виділяє нову концепцію «творчої руйнації». Ця концепція описує процес, у якому радикальні інновації підривають стійку структури та створюють нові ринкові можливості. Keith Pavitt [2] запропонував новий спосіб класифікації інноваційних стратегій компаній в індустріальних галузях по секторальним патернам

технічних змін; виділив три типи інноваційних стратегій у контексті виробничо-орієнтованих, спеціалізованих постачальників та наукомістких галузей. Вчений показав, що характер інноваційної діяльності визначається особливостями галузі та типом компанії, визначив роль секторального аналізу інновацій. Freeman C. [3] проаналізував взаємодію компаній, наукових організацій та держави з позиції інноваційних екосистем та кластерних структур; запропонував модель національних інноваційних систем, наголосив на ролі держави у створенні сприятливого середовища для розвитку інновацій. Роботи Freeman C. розкрили потенціал кластерів та екосистем для прискорення поширення інновацій та зростання конкурентоспроможності. Еволюційна теорія інновацій Giovanni Dosi [4] представляє інновації як еволюційний процес, у якому організації адаптуються до динаміки ринку. Giovanni Dosi запропонував концепцію «технологічної парадигми», описав набір рішень та технологій, що визначають розвиток галузі. Сучасні дослідження в галузі квантової економіки та інновацій розширили сутність інноваційних процесів завдяки впровадженню нових методів та парадигм. Orrell D. [5] стверджує, що традиційна економічна теорія недостатньо пояснює роль фінансів у інноваційних процесах; пропонує новітню концепцію «квантової економіки» з урахуванням невизначеності та динаміки фінансових систем. У концепції гроші відіграють ключову роль у створенні інновацій. Wendt A. [6] застосовує міждисциплінарний підхід дослідження квантових та соціальних наук, звертає увагу на подібності між квантовою фізикою та соціальними процесами, включає інноваційні цикли. Wendt A. вивчає принцип невизначеності, суперпозиції та заплутаності у контексті соціальних та економічних систем, пропонує оновлену парадигму вивчення інновацій. Проблеми квантової економіки у літературі залишаються невирішеними; відсутня комплексна теоретична модель квантової інновації. Принципи квантової механіки обмежено застосовують в економічних процесах; вимагають удосконалення кількісних методів аналізу інновацій. Економетричні моделі не актуалізують аналіз складних та динамічних інноваційних процесів. Недостатньо уваги вчені приділяють впливу квантової технології на розвиток різних економік. Більшість досліджень фокусується на загальному впливі квантової економіки, не враховують особливості галузей. Традиційні економічні моделі зневажають невизначеність та динаміку квантових систем. Сучасна наука актуалізує необхідність адаптації економічних моделей до умов квантової економіки. Поставлені питання квантової економіки припускають безперервний розвиток, що свідчить про необхідність подальшого дослідження у цій галузі.

### ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті є обстеження квантових підходів до моделювання та аналізу інноваційних процесів, виявлення основних аспектів цих процесів у сучасній економіці.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Квантовий стрибок економіки реалізує різкий перехід економічної системи до іншого стану під впливом радикальних інновацій; порушує лінійний розвиток економічної системи через впровадження квантової технології. Квантові обчислення впливають на фінансові ринки, коли високопродуктивні алгоритми вирішують складні завдання оцінки ризиків та управління портфелем організації. Квантові методи прогнозують попит та керують запасами в логістиці та в управлінні ланцюгами поставок у режимі реального часу. В охороні здоров'я квантовий штучний інтелект прискорює відкриття ліків та розвиток персоналізованої медицини. Основні властивості квантового стрибка визначаються різким переходом у контексті раптової зміни економічної системи під впливом радикальних інновацій. Квантова технологія стає драйвером інноваційних процесів чи радикальними інноваціями такими як квантові обчислення, штучний квантовий інтелект, квантові матеріали. Трансформація ринків проявляється у бізнес-моделях й організаційних структурах глобального ринку. У фінансовому секторі застосовують квантові обчислення, моделюють фінансові ринки, оптимізують портфелі потенціалів. Goldman Sachs та JP Morgan інвестують у квантові технології для покращення оцінки ризику та оптимізації торгових стратегій. Квантові комп'ютери здатні прискорити відкриття нових ліків шляхом моделювання взаємодії молекул та створення складних симуляцій. Наука працює з Google, IBM та фахівці використовують квантові комп'ютери для аналізу медичних даних та створення персональних схем лікування. Volkswagen та DHL впроваджують квантові алгоритми для оптимізації логістики. Квантові алгоритми оптимізації прогнозують попит, керують запасами та оптимізують маршрути доставки у логістиці.

Для повного розуміння впливу квантових технологій на інноваційні процеси потрібен міждисциплінарний підхід з інтеграцією знань у галузі комп'ютерних наук, фізики, економіки, управління. Квантові технології створюють децентралізовані платформи й моделі управління;

формують квантові екосистеми, де компанії, наука та дослідницькі організації співпрацюють у галузі квантових обчислень та Artificial intelligence. Зміни у структурі глобальних ринків, які викликані квантовими технологіями, створюють центри економічної активності та посилюють регіональні нерівності. Це призводить до необхідності адаптації економічних моделей до квантової економіки. Квантові технології змінюють структуру глобальних ринків; оновлюють центри економічної активності. Китай, США, країни ЄС прагнуть лідерства в галузі квантової економіки. Ринок квантових технологій стає швидкозростаючим сектором обчислювальної техніки, технології та розвиває квантові обчислення. Ринок квантових технологій охоплює компанії, стартапи та великі корпорації. Ці компанії зосереджені на розробці апаратного забезпечення, програмного забезпечення та додатків для квантових обчислень; працюють над розробкою квантових алгоритмів та протоколів, які дозволяють використовувати квантові обчислення у різних галузях. Деякі гравці ринку квантових технологій включають IBM, Google, Microsoft, Intel, Honeywell, Rigetti Computing. Світові компанії здійснюють інвестиції у розвиток технології квантових обчислень та працюють над тим, щоб квантова технологія стала доступною для суспільства. Обсяг світового ринку квантових технологій досягне \$61,3 млрд до 2029 р. (рис.1).



Рис. 1. Сегментація світового ринку квантової технології

Квантові обчислення будуть лідерами ринку до 2029 року з показником середньорічного зростання 43,7% CAGR. Північна Америка стане найбільшим регіональним ринком квантових технологій. Китай лідируватиме на ринку квантових технологій в Азійсько-Тихоокеанському регіоні з \$6,89 млрд до 2029 р. з показником середньорічного зростання 38,9%. До 2029 року Німеччина лідируватиме на європейському ринку квантових технологій з обсягом продажів \$4,2 млрд за середньорічного зростання 28,9%. Світовий ринок квантових точок досягне \$15,4 млрд до 2029 року, при цьому середньорічне зростання 48,7% і лідируватиме шляхом дисплеїв. До 2029 року світовий ринок квантового зондування досягне \$1,4 млрд, що вдвічі перевищить обсяг ринку квантової візуалізації. До 2029 року світовий ринок квантових магнітометрів досягне \$1,1 млрд, насамперед шляхом надпровідних квантових інтерференційних пристроїв [7]. Експерти очікують, що ринок квантових обчислень зросте з \$1,3 млрд у 2024 році до \$5,3 млрд до 2029 року з показником середньорічного зростання 32,7% протягом прогнозованого періоду. Попит на квантові обчислення зростає через додатки для фінансів, урядових ініціатив, технічних досягнень [8]. Ринок квантових технологій охоплює обчислювальну техніку та цифрові комунікації, додатки, контент та комерцію.

### **ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ**

Для повного розуміння впливу квантових технологій на інноваційні процеси потрібен міждисциплінарний підхід з інтеграцією знань у галузі комп'ютерних наук, фізики, економіки, управління. Експерти очікують, що мережеві квантові інформаційно-комунікаційні технології, які перебувають на стадії досліджень та розробок, стануть комерційною реальністю в аспектах ІКТ. Квантовий стрибок обумовлює впровадження квантових технологій та створює основу для нових стратегій національного інноваційного розвитку та глобальної конкуренції. Квантові технології забезпечують створення нових ринків та економічних моделей у розрізі квантових обчислень;

квантового AI; квантових матеріалів; ґрунтується на принципах децентралізації, алгоритмічного управління, використання великих даних.

Створення квантових екосистем у розвиток інновацій є напрямом розвитку. Формування глобальних квантових центрів дозволить об'єднати зусилля дослідників та бізнес-спільноту для прискорення впровадження квантових технологій у ключові сектори економіки. Квантові обчислення прискорять розв'язання задач оптимізації для логістики, управління ланцюжками постачання та фінансового моделювання. Квантова криптографія забезпечить безпеку передачі даних через принцип квантової заплутаності та суперінтеграції; нові можливості кібербезпеки фінансових технологій. Квантова хімія та квантові матеріали прискорять розробку нових ліків, матеріалів та реакторів шляхом моделювання молекулярних взаємодій на квантовому рівні. Квантовий AI прискорить обробку великих даних та навчання складних моделей, що вплине на охорону здоров'я, фінанси та інші галузі.

Гостра потреба актуалізується у створенні методів кількісного аналізу на дослідження впливу квантових технологій на економічні процеси. Методи математичного моделювання використовуються для моделювання впливу квантових алгоритмів на фінансові ринки та управління ланцюгами постачання. Дослідження опановують методи статистичного аналізу впливу квантових технологій на макроекономічні показники.

Квантові обчислення вже використовуються для оптимізації використання енергетичних ресурсів; прогнозування попиту електроенергію. У транспортній області квантові алгоритми оптимізують маршрути доставки та управління запасами. Державний сектор використовує квантові технології управління даними, прогнозування макроекономічних змін та оптимізації бюджетного планування.

Для успішної інтеграції квантових технологій у бізнес-процеси розробляються стратегії управління квантовими інноваціями. Це включає створення гнучких організаційних структур і бізнес-моделей, здатних швидко адаптуватися до ринку. Квантові підходи до моделювання та аналізу інноваційних процесів надають ідеї для управління інноваціями квантової економіки. Практичне значення полягає в адаптації бізнес-моделей до умов квантової економіки та розробці ефективних стратегій управління ризиками та потенціалом розвитку бізнесу.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Joseph Alois Schumpeter. The Theory of Economic Development: An Inquiry Into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle [Електронний ресурс] / Joseph Alois Schumpeter // Transaction Publishers. - 1983. - URL: [https://books.google.com.ua/books/about/The\\_Theory\\_of\\_Economic\\_Development.html?id=OZwWcOGeOwC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ua/books/about/The_Theory_of_Economic_Development.html?id=OZwWcOGeOwC&redir_esc=y)
2. Keith Pavitt. Innovative Routines in Large Firms: What the Evidence Suggests [Електронний ресурс] / Keith Pavitt, Constance E. Helfat // ResearchGate GmbH. - 2017. - URL: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Keith-Pavitt-5178328>
3. Chris Freeman. The 'National System of Innovation' in historical perspective [Електронний ресурс] / Chris Freeman // Vol. 19, No. 1, Special Issue on Technology and Innovation. - 1995. - URL: <https://www.jstor.org/stable/23599563>
4. Giovanni Dosi. Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation [Електронний ресурс] / Giovanni Dosi // Vol. 26, No. 3, pp. 1120-1171. - 1988. - URL: <https://www.jstor.org/stable/2726526>
5. David Orrell. Quantum Economics The New Science of Money [Електронний ресурс] / David Orrell // Icon Books. - 2018. - URL: [https://www.google.com.ua/books/edition/Quantum\\_Economics/9YIzDwAAQBAJ?hl=uk&gbpv=0](https://www.google.com.ua/books/edition/Quantum_Economics/9YIzDwAAQBAJ?hl=uk&gbpv=0)
6. Alexander Wendt. Quantum mind and social science: unifying physical and social ontology [Електронний ресурс] / Alexander Wendt // Cambridge University Press. - 2022. - URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/international-theory/article/alexander-wendt-quantum-mind-and-social-science-unifying-physical-and-social-ontology/7F13D7FAE66C3525C31A5283F15235C3>
7. Quantum Technology Market by Computing, Communications, Imaging, Security, Sensing, Modeling and Simulation 2024 - 2029 [Електронний ресурс] // Research and Markets. - 2024. - URL: <https://www.researchandmarkets.com/report/quantum-technology#tag-pos-1>
8. Global Quantum Computing Market by Offering, Deployment (On-Premises and Cloud), Application (Optimization, Simulation, Machine Learning), Technology (Trapped Ions, Quantum Annealing, Superconducting Qubits), End User and Region - Forecast to 2029 [Електронний ресурс] // Research and

Markets. – 2024. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5749398/global-quantum-computing-market-offering#rela2-5317365>

## REFERENCES:

1. Joseph Alois Schumpeter. The Theory of Economic Development: An Inquiry Into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle [Elektronij resurs] / Joseph Alois Schumpeter // Transaction Publishers. – 1983. – URL: [https://books.google.com.ua/books/about/The\\_Theory\\_of\\_Economic\\_Development.html?id=OZwWcOGeOwC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ua/books/about/The_Theory_of_Economic_Development.html?id=OZwWcOGeOwC&redir_esc=y)
2. Keith Pavitt. Innovative Routines in Large Firms: What the Evidence Suggests [Elektronij resurs] / Keith Pavitt, Constance E. Helfat // ResearchGate GmbH. – 2017. – URL: <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Keith-Pavitt-5178328>
3. Chris Freeman. The \National System of Innovation\ in historical perspective [Elektronij resurs] / Chris Freeman // Vol. 19, No. 1, Special Issue on Technology and Innovation. – 1995. – URL: <https://www.jstor.org/stable/23599563>
4. Giovanni Dosi. Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation [Elektronij resurs] / Giovanni Dosi // Vol. 26, No. 3, pp. 1120-1171. – 1988. – URL: <https://www.jstor.org/stable/2726526>
5. David Orrell. Quantum Economics The New Science of Money [Elektronij resurs] / David Orrell // Icon Books. – 2018. – URL: [https://www.google.com.ua/books/edition/Quantum\\_Economics/9YIZDwAAQBA?hl=uk&gbpv=0](https://www.google.com.ua/books/edition/Quantum_Economics/9YIZDwAAQBA?hl=uk&gbpv=0)
6. Alexander Wendt. Quantum mind and social science: unifying physical and social ontology [Elektronij resurs] / Alexander Wendt // Cambridge University Press. – 2022. – URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/international-theory/article/alexander-wendt-quantum-mind-and-social-science-unifying-physical-and-social-ontology/7F13D7FAE66C3525C31A5283F15235C3>
7. Quantum Technology Market by Computing, Communications, Imaging, Security, Sensing, Modeling and Simulation 2024 - 2029 [Elektronij resurs] // Research and Markets. – 2024. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/report/quantum-technology#tag-pos-1>
8. Global Quantum Computing Market by Offering, Deployment (On-Premises and Cloud), Application (Optimization, Simulation, Machine Learning), Technology (Trapped Ions, Quantum Annealing, Superconducting Qubits), End User and Region - Forecast to 2029 [Elektronij resurs] // Research and Markets. – 2024. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5749398/global-quantum-computing-market-offering#rela2-5317365>

## QUANTUM APPROACHES TO THE MODELING AND ANALYSIS OF INNOVATION PROCESSES: PROSPECTS AND CHALLENGES

KORZH Roman

BO «FUND OF INVESTMENTS IN THE FUTURE»

*The article considers the quantum approach in the modeling and analysis of innovative processes; identifying aspects of these processes in modern economic systems. Approaches to the rapid development of quantum technology and innovative processes and the quantum revolution, which is becoming a key factor in the global economic change of the XXI century, are reflected. Literature sources were analyzed and own ideas about radical innovative innovations, quantum technology, quantum computing, implementation of the quantum approach in the economic system were formulated. The positive aspects of the quantum economy, the market of quantum technology and quantum computing in the modern economic context are indicated. Based on the conducted research, it was established that understanding the impact of quantum technology on the innovation process requires an interdisciplinary approach with the integration of knowledge in computer science, physics, economics, and management. It was determined that the approaches of quantum modeling and analysis of the innovation process provide ideas for the management of innovation processes in the quantum economic system. The practical content describes the adaptation of the business model to quantum conditions and the development of effective strategic approaches to managing risk and business potential. Experts expect that the research, which is in the development stage, will become a reality in the field of quantum economics and IT.*

*Keywords: quantum economy, radical innovations, quantum technologies, quantum management models, superposition, entanglement, quantum artificial intelligence, quantum materials, quantum business.*