

Технологии информационного общества

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Статья рекомендована к публикации членом редакционного совета А. Н. Райковым 01.07.2025.

Лобов Даниил Сергеевич

*Кандидат экономических наук
СПбГУ, лаборатория новых полупроводниковых материалов для квантовой информатики и телекоммуникаций, научный сотрудник
Санкт-Петербург, Российская Федерация
ООО «Кэпт Налоги и Консультирование»
Москва, Российская Федерация
d.lobov96@yandex.ru*

Садова Дарья Михайловна

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет «Высшая школа бизнеса», образовательная программа «Цифровые инновации в управлении предприятиями», студентка
Москва, Российская Федерация
daria_sadova@bk.ru*

Шумков Вячеслав Владиславович

*Кандидат экономических наук
Иннопрактика, руководитель департамента по управлению интеллектуальной собственностью
Москва, Российская Федерация
vyacheslav.shumakov@innopraktika.ru*

Аннотация

Квантовые вычисления – одно из перспективных высокотехнологичных направлений, развитие которого направлено на ускорение решения сложных вычислительных задач благодаря функциональным свойствам квантового компьютера. Цель данной работы заключается в оценке экономической целесообразности применения квантовых вычислений и алгоритмов в бизнес-процессах нефтегазовой отрасли. Проведён обзор материалов по применению квантовых алгоритмов для оптимизации, на основе которого сформулированы гипотезы об операционной эффективности и сделан индикативный прогноз экономических эффектов. Ограничения работы основываются на допущении действительной возможности создания квантового компьютера и обоснованности технологических исследований, представленных авторами в обзоре литературы. Согласно оценке, потенциальный экономический эффект составит до 500% в базовом сценарии, существенные выгоды ожидаются в результате оптимизации решения логистических задач. В связи с этим, считается обоснованным продолжение финансирования разработок государственными организациями, при учете рисков, связанных со снижением ROI и привлекательности тарифов облачных квантовых услуг для потенциальных потребителей при выходе за горизонт 15 лет. Предлагается рассмотреть возможность создания экосистемы организаций-участников рынка квантовых вычислений, включающей нефтегазовые компании, ответственной за публикацию отчетных прогнозов вероятности создания действительно функционального квантового компьютера в России, а также ожидаемых тарифов подключения компаний к такому компьютеру. Предложенный отчет позволит компаниям прогнозировать потенциальные экономические эффекты в целях дальнейшего обоснования включения квантовых вычислений в программы инновационного развития.

© Лобов Д. С., Садова Д. М., Шумков В. В., 2026

Производство и хостинг журнала «Информационное общество» осуществляется Институтом развития информационного общества.

Данная статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons «С указанием авторства - С сохранением условий версии 4.0 Международная» (Creative Commons Attribution – ShareAlike 4.0 International; CC BY-SA 4.0). См. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.ru>

https://doi.org/10.52605/16059921_2026_02_120

Ключевые слова

квантовые вычисления; квантовые алгоритмы; окупаемость инвестиций; инновации; нефтегазовая отрасль; Роснефть; Газпром

Введение

Квантовые вычисления являются альтернативой классическим вычислениям. В основе квантовых вычислений лежит принцип квантовой суперпозиции – способность квантовой системы находиться в суперпозиции базовых состояний. Такие возможности квантовых компьютеров могут значительно повысить эффективность решения ряда задач, в том числе недостижимых для классических компьютеров. К таким задачам можно отнести обработку больших данных, разложение чисел на простые множители, генерирование случайных чисел, моделирование физических систем [1].

В целях обеспечения технологического лидерства и суверенитета России в области передовых технологий с 2020 года по национальному проекту «Цифровая экономика» реализуется дорожная карта «Квантовые вычисления», включающая такие направления, как разработка квантовых компьютеров и симуляторов, квантовых алгоритмов, создание облачной платформы квантовых вычислений. Координатором дорожной карты является государственная корпорация «Росатом». В рамках дорожной карты на период 2020-2024 определены следующие источники финансирования: ассигнования федерального бюджета – 13 253 млн рублей; внебюджетные средства – 10 408 млн рублей, в том числе собственные средства высокотехнологичной компании в размере 1 500 млн рублей. Дополнительные финансовые средства будут выделены на втором этапе реализации дорожной карты с 2025 по 2030 гг.

Ожидается, что окупаемость средств, выделенных за счет федерального бюджета, будет обеспечиваться благодаря коммерциализации разработок в области квантовых вычислений. Инновационность технологии определяет актуальность исследований, направленных на формирование моделей коммерциализации, в соответствии с которыми будет осуществляться развитие нового рынка, а также обосновывающих ценностное предложение квантовых вычислений для потенциальных клиентов с оценкой потенциальных экономических эффектов.

1 Обзор литературы

Ряд научных исследований в России и за рубежом посвящен анализу экономических аспектов развития высокотехнологичного направления «квантовые вычисления». Основные драйверы развития рынка, по мнению авторов, помимо регуляторных и инвестиционных аспектов, включают успешное создание экосистемы участников рынка, цепочки добавленной стоимости, направленной на решение задач промышленных отраслей крупных экономик мира. К барьерам относят отсутствие общепринятых стандартов, нехватку человеческих и финансовых ресурсов для разработки инноваций, наличие ошибок в вычислениях [2], сложность масштабирования разработанных решений [3] (компьютеры квантового отжига могут применяться для решения только узкого перечня задач). Авторы отмечают важность развития квантовых алгоритмов для повышения вычислительных возможностей национальных экономик [4], а также роль регуляторных органов в создании благоприятной среды развития стартапов, необходимых для формирования устойчивой инновационной экосистемы [5].

Литературные источники подтверждают недостаточную осведомленность делового сообщества о возможностях квантовых компьютеров и необходимость формирования соответствующих компетенций для развития отрасли [6]. Отмечается потребность в подготовке специализированных кадров, прогнозируется увеличение спроса на услуги экспертов в области квантовых алгоритмов, создание синергетических решений квантовых и классических вычислений [7].

Ряд работ посвящен отраслевому обзору перспектив применения квантовых компьютеров. Наибольший эффект от внедрения квантовых вычислений наблюдается при решении задач суррогатного моделирования дифференциальных уравнений с частными производными для авиакосмической отрасли, симуляции динамики молекул и прогнозировании химической реактивности для химических и фармацевтических компаний, оптимизации использования автомобилей в транспортной сети [8]. Отмечается положительный результат при решении финансовых [9-10] и маркетинговых задач, например, при анализе паттернов поведения клиентов, моделировании действий участников рынка в реальном времени [11]. Также отечественными

учеными выявлен успешный международный опыт оптимизации логистических задач в сфере железнодорожного транспорта [12-13].

Значительные усилия исследователей направлены на оценку применимости квантовых вычислений в конкретных рабочих сценариях. Авторы обсуждают ускорение симуляции Монте Карло [14], повышение точности оценки стоимости деривативов [15-16], оптимизации портфельного управления [17], ускорение решения задач логистики [18], улучшение качества анализа трендов и клиентских данных [19]. Очевидно наличие интереса научного сообщества к синтезу методов квантовых алгоритмов и машинного обучения. В данном контексте рассматриваются вопросы предиктивного анализа финансовых рынков [20-21], высказаны гипотезы о повышении точности пользовательских рекомендаций [22]. Отмечается, что синергия двух методов анализа может стать ключевым фактором успеха развития квантовых вычислений [23].

Прогнозируется, что ключевой бизнес-моделью компаний, действующих на рынке квантовых компьютеров, станет оказание облачных квантовых вычислений, в первую очередь из-за высоких затрат на разработку и внедрение [24]. Предлагается термин «QaaS» – Quantum as a Service [25]. Интерес представляет попытка исследователей провести экономическое моделирование теоретической ситуации дуополии на рынке вычислений, где одна компания предоставляет традиционные облачные услуги, другая – QaaS. По мнению авторов, более перспективной является бизнес-модель компании, оказывающей квантовые услуги. Утверждается, что затраты на достижение аналогичных вычислительных мощностей будут выше для компании с традиционными технологиями [26-27]. Данные результаты вызывают скепсис, если учитывать выводы команды под руководством одного из ведущих отечественных ученых [28], подчеркивающие невозможность точного количественного предсказания экономической эффективности применения квантового компьютера в условиях низкого уровня технологической готовности и ограниченность прогнозов экстраполяцией успешного опыта внедрения классических вычислений в середине прошлого века.

Стоит отметить попытку одного из экономистов рассмотреть направление квантовых вычислений в контексте экономической теории либерализма. Внедрение квантовых компьютеров, по мнению автора, станет драйвером развития капиталистической экономики в долгосрочной перспективе, содействуя инновационному развитию и активизации частного предпринимательства благодаря расширению доступа к высокопроизводительным вычислительным машинам [29].

Ознакомившись с результатами исследований авторов по вопросам экономики квантовых вычислений, можно определить актуальные направления для дальнейших работ. Авторы считают необходимым продолжить изучение эффектов от внедрения квантовых алгоритмов в процессы решения отдельных вычислительных задач, приступить к проведению комплексных исследований, обладающих стратегическим характером, оценивающих влияние квантовых вычислений на производительность труда отраслей, национальных экономик, информационного общества в целом, что в свою очередь позволит определить место квантовых технологий в фундаментальной экономической теории.

В данной работе авторы стремятся сделать шаг к экстраполяции оценки эффектов от применения квантовых вычислений на отраслевой уровень, обобщая ранее полученные результаты касательно возможностей применения квантовых алгоритмов для решения отдельных задач в контексте нефтегазовой отрасли. Проведение данного анализа позволит сформулировать ценностное предложение квантовых вычислений для нефтегазовых компаний, определить потенциальный перечень услуг.

2 Методы

Квантовые алгоритмы могут оптимизировать решение ряда вычислительных задач на разных этапах цепочки добавленной стоимости нефтегазовой компании. В данной работе будут анализироваться потенциальные эффекты, отмеченные в таблице 1, достижение которых обосновано в технической литературе.

Таблица 1. Применение квантовых алгоритмов на этапах цепочки добавленной стоимости нефтегазовой компании

№	Этап	Обзор эффектов квантовых алгоритмов
1	Разведка и разработка месторождений	Включен в обзор в связи с наличием обоснования применимости квантовых вычислений (при этом выявлены аргументы против применимости, отмечены далее)
2	Добыча	Не включен в обзор в связи с недостаточностью аргументов применимости квантовых вычислений
3	Логистика	Включен в обзор в связи с наличием обоснования применимости квантовых вычислений
4	Переработка и нефтехимия	Включен в обзор в связи с наличием обоснования применимости квантовых вычислений
5	Продажи	Не включен в обзор в связи с недостаточностью аргументов применимости квантовых вычислений

2.1 Квантовые алгоритмы для разведки и разработки месторождений

Применение квантового компьютера для решения вычислительных задач в области разведки и разработки месторождений можно разделить на два направления: интерпретация сейсмических данных и оптимизация размещения скважин.

Интерпретация сейсмических данных является сложной вычислительной проблемой. Предполагается, что алгоритмы квантовых вычислений и квантовое машинное обучение смогут ускорить обработку больших сейсмических данных, получение изображения недр [30-31]. Исследования показали, что квантовые алгоритмы обеспечивают высокое качество выходных результатов даже при снижении количества входных параметров на 70-80% по сравнению с традиционными алгоритмами [32-33].

Ускорение интерпретации сейсмических данных приведет к улучшению окупаемости инвестиционных проектов. В проектах, реализуемых в сложных географических условиях, например, по разработке глубоководных пограничных скважин, процесс сбора и интерпретации данных является одним из наиболее протяженных и может занимать около 2 лет [34]. Стоимость данного этапа составляет от 25 до 100 млн долларов в зависимости от особенностей проекта, затраты одного дня работ составляют около 200 тыс. долларов. В качестве примера стоимости работ на отечественном рынке отметим, что затраты компании «Роснефть» на проведение геофизических исследований составляют около 250 млрд руб. [35]

Если предположить, что некой компанией реализуется этап сбора и интерпретации данных в сложных условиях, длящийся около двух лет, из которых 200 дней выделяется на интерпретацию данных, ускорение процесса обработки сейсмических данных благодаря квантовому компьютеру на 70% позволит сэкономить 28 млн долл. или около 11% бюджета на проведение геофизических исследований компании «Роснефть».

Размещение скважин также является сложным и трудоемким этапом процесса разведки и разработки месторождений. В целях снижения себестоимости добычи применяются различные традиционные, нетрадиционные и гибридные алгоритмы, точность которых является недостаточной в условиях неоднородности резервуаров. Для каждого резервуара необходимо разрабатывать отдельную модель. Квантовые алгоритмы способствуют повышению точности нахождения оптимального расположения объекта [36], обеспечивая снижение количества размещенных скважин как минимум на 10% [37]. Предполагается, что такая квантовая модель может быть использована в любом контексте, независимо от особенностей резервуара. Положительный экономический эффект за счет применения квантовых алгоритмов обеспечивается также за счет экспоненциального ускорения обработки сейсмических данных и экономии на стоимости вычислительных мощностей [38]. Признавая определенную ценность отмеченных научных работ [36-38] авторы вводят допущение касательно обоснованности приведенных в них расчетов. В ходе

работы была определена позиция российских исследователей, отмечающих некорректность постановки исследовательской задачи.

Учитывая тот факт, что в 2015 году затраты компании «Роснефть» на бурение шестидесяти двух эксплуатационных скважин на месторождениях в Ненецком автономном округе составили 3,2 миллиарда рублей [39], можно предположить, что применение квантовых алгоритмов позволило бы компании сэкономить как минимум 320 млн руб. за счет нахождения оптимального расположения скважин.

2.2 Квантовые алгоритмы для логистических задач

Квантовые алгоритмы уже сегодня показывают значительную эффективность [40] при решении оптимизационных логистических задач, в том числе в совокупности с традиционными вычислениями [41], методами машинного обучения [42]. В зависимости от решаемых задач были достигнуты следующие результаты:

1. 91% – вероятность оптимизации маршрута, 10% – снижение логистических затрат, 6% – снижение выбросов парниковых газов [43-44];

2. Снижение на 40% числа инфраструктурных объектов при сохранении эффективности логистических процессов [45].

3. Снижение количества необходимых грузовиков с 142 до 61 (-57%) при сохранении эффективности логистических процессов [46].

Предполагается, что цепочки поставок в нефтегазовой отрасли не являются оптимальными и производительность может быть увеличена на 30-50% [30]. Актуальность направления подтверждается тем фактом, что такие крупные компании как ExxonMobil сотрудничают с IBM в области разработки квантовых алгоритмов, позволяющих оптимизировать маршруты транспортировки сжиженного природного газа [47].

С учетом того, что расходы на морскую логистику арктической нефти компании «Газпром нефть» составляют около 3,8 млрд руб. [48], внедрение квантовых алгоритмов позволило бы компании сэкономить от 380 млн до 2 млрд руб.

2.3 Квантовые алгоритмы для задач нефтехимии

Применение квантовых алгоритмов совместно с методами машинного обучения может значительно повысить скорость разработки новых химических соединений [49-50]. Сегодня традиционные математические алгоритмы требуют значительных затрат на вычислительные мощности для проведения молекулярного анализа. Так, например, для анализа структуры протеина с применением AI системы AlphaFold требуется обеспечение высокой вычислительной мощности (100–200 графических процессоров), что приводит к высоким затратам исследовательских организаций (2,64 долл. США/час × 16 × 128 × 21 день × 24 часа/день = 2 724 986 долл. США) на этапе обучения нейронной сети. Кроме того, модель требует многократного переобучения, что приводит к увеличению бюджета до десятков миллионов долларов [51].

Ускорение расчетов достигается благодаря применению квантовых алгоритмов:

1. Анализ основного состояния гидрида лития (LiH) может быть осуществлен за 5,6 ч на гипотетическом отказоустойчивом квантовом компьютере. Традиционные вычисления позволяют решить аналогичную задачу за 3,8 года [52].

2. Применение машинного обучения совместно с квантовыми алгоритмами ускоряет расчеты на 1150%-5610% в зависимости от поставленных задач [53].

Экономический эффект от внедрения квантовых вычислений в химической промышленности будет значительным. Основываясь на примере AlphaFold, сокращение затрат на один крупный проект по разработке новых материалов может составить от 2 до 2,5 млн долл. (или до 95% затрат на аренду вычислительных мощностей). Квантовые вычисления могут представлять интерес для таких отечественных компаний, как «Сибур», инвестирующих миллиарды рублей на НИОКР [54], участвующих в разработке продуктов на основе новых химических соединений [55].

2.4 Сценарии внедрения квантовых вычислений

В рамках анализа предлагается рассмотреть 3 основных сценария развития технологии (таблица 2):

1. Позитивный (создание квантового компьютера до 2030 года. Вероятность: 36%).
2. Базовый (создание квантового компьютера в период 2030-2035 гг. Вероятность: 61%).
3. Консервативный (создание квантового компьютера в период 2035-2040 гг. Вероятность: 78%).

Таблица 2. Результаты опросов экспертных сообществ касательно вероятности создания квантового компьютера

Источник	До 2030 года	2030-2035	2035-2040
McKinsey [56]	67%	95%	100%
IQuera [57]	37%	74%	100%
Global Risk Institute [58]	3%	13%	33%
Среднее значение	36%	61%	78%

Предлагаются следующие ориентиры по сценариям:

Позитивный: квантовый компьютер создан до 2030 г. Экстраполяция затрат на его создание с учетом бюджета 2020-2024 гг.: 24 млрд * 2 (без учета инфляции).

Базовый: квантовый компьютер создан до 2035 г. Экстраполяция затрат на его создание с учетом бюджета 2020-2024 гг.: 24 млрд * 3 (без учета инфляции).

Консервативный: квантовый компьютер создан до 2040 г. Экстраполяция затрат на его создание с учетом бюджета 2020-2024 гг.: 24 млрд * 4 (без учета инфляции).

3 Результаты исследования

3.1 Позитивный сценарий внедрения квантовых вычислений

В обзоре литературы отмечено, что наиболее реалистичной моделью коммерциализации квантового компьютера является предоставление доступа по модели облачных вычислений к уже созданному квантовому компьютеру.

Сегодня в России стоимость подключения к эмулятору квантового компьютера с разработкой API и бэкендом может составлять от 45 млн руб. для каждой конкретной задачи. Стоимость ежегодной лицензии — от 3.5 млн руб. Зарубежные вендоры предлагают следующий пакет подключения: 8 тыс. руб. за 1 минуту работы в квантовом облаке для решения неограниченного количества задач [59]. Переводя стоимость отечественных услуг на зарубежные тарифы, мы можем предположить, что 48,5 млн руб. позволит приобрести 101 час пользования облачных услуг на несколько лет. При приобретении условного «пакета» для подключения к облаку в целях решения 4 различных задач, стоимость составит 194 млн руб. или 404 часа использования, что полностью удовлетворит спрос на квантовые вычисления, если сослаться на заявления экспертов о том [60], что потребность крупных компаний в использовании квантового компьютера составит около 1 часа в день (или 250 часов в рабочем году). Если ориентироваться на оценки компании IBM, можно предположить, что ежегодные затраты на подключение к квантовому облаку составят 120 млн руб. В целом, данная оценка соответствует прогнозной в таблице 3.

Однако данная стоимость может представляться недостаточной, если учитывать текущие затраты на создание квантового компьютера (НИОКР). Если 1 минута подключения будет стоить 8

тыс. руб. и квантовый компьютер будет работать постоянно — 525 600 минут в году, то выгода разработчика составит 4.2 млрд руб. Общие затраты компании Росатом и Правительства РФ на создание квантового компьютера только в 2020-2024 гг. составили 24 млрд руб. Учитывая факт продолжения дорожной карты, за 2025-2030 гг. совокупные затраты могут приблизиться к 50 млрд руб [61]. Даже если не учитывать фактор дисконтирования, окупаемость одного квантового компьютера потребует повышения стоимости услуг в 10 раз до 80000 руб. за минуту использования. Тогда для потенциальных пользователей час доступа к квантовому компьютеру в год составит 1.2 млрд руб. (1 час подключения к облаку в течение 247 рабочих дней для решения всех видов задач). В случае успешного масштабирования технологии и создания кластера квантовых компьютеров (например, 4 ед.) стоимость 1 минуты составит около 23 тыс. руб. или 341 млн руб. в год.

Также стоит отметить, что создание квантовых компьютеров в интересах отдельных компаний с расположением решения on-premises с экономической точки зрения представляет наименьший интерес: стоимость специализированного компьютера «квантового отжига» (т.е. компьютер может решать только 1 вид задач) составляет от 15 млн долл. (1,2 млрд руб.), при этом его действительная применимость для решения бизнес-задач на данный момент крайне ограничена [62]. Стоимость многофункциональных квантовых компьютеров будет в несколько раз выше.

Таблица 3. Индикативная оценка ROI от внедрения квантовых вычислений в цепочке добавленной стоимости нефтегазовой компании

Инициатива	Затраты на внедрение	Потенциальная выгода	ROI
Интерпретация сейсмических данных	48,5 млн руб. на приобретение облачных услуг без учета окупаемости разработок	2,8 млрд руб.	5673%
	85.2 млн руб. на приобретение облачных услуг при успешном создании кластера компьютеров с учетом окупаемости разработки		3186%
	297 млн руб. на приобретение облачных услуг уникального квантового компьютера		843%
	1,2 млрд руб. на установку квантового компьютера on-premises		133%
Оптимизация размещения скважин	48,5 млн руб. на приобретение облачных услуг без учета окупаемости разработок	320 млн руб.	560%
	85.2 млн руб. на приобретение облачных услуг при успешном создании кластера компьютеров		276%
	297 млн руб. на приобретение облачных услуг уникального квантового компьютера		8%
	1,2 млрд руб. на установку квантового компьютера on-premises		-73%

Оптимизация логистических путей	48,5 млн руб. на приобретение облачных услуг без учета окупаемости разработок	1,2 млрд руб.	2374%
	85.2 млн руб. на приобретение облачных услуг при успешном создании кластера компьютеров		1308%
	297 млн руб. на приобретение облачных услуг уникального квантового компьютера		304%
	1,2 млрд руб. на установку квантового компьютера on-premises		0%
Ускорение разработки новых химических соединений	48,5 млн руб. на приобретение облачных услуг без учета окупаемости разработок	250 млн руб.	415%
	85.2 млн руб. на приобретение облачных услуг при успешном создании кластера компьютеров		193%
	297 млн руб. на приобретение облачных услуг уникального квантового компьютера		-16%
	1,2 млрд руб. на установку квантового компьютера on-premises		-79%

Таким образом, наибольший эффект может наблюдаться в области интерпретации сейсмических данных: ROI составит от 133% до 5673%. Однако в связи с недоверием отечественного научного сообщества к методам оценки экономического эффекта в данном направлении, предлагается ориентироваться прежде всего на оптимизацию логистических задач с показателями ROI в промежутке от 0% до 2374%.

3.2 Базовый и консервативный сценарии внедрения квантовых вычислений

В случае, если квантовый компьютер будет создан к 2035 или 2040 гг., затраты государственных организаций могут достичь 72 и 96 млрд руб. соответственно. Без учета фактора дисконтирования, повышение стоимости 1 минуты пользования возможно до:

137 и 183 тыс. руб. за 1 минуту пользования облаком при наличии 1 квантового компьютера в стране;

34 и 46 тыс. руб. за 1 минуту пользования облаком при наличии кластера из 4 квантовых компьютеров в стране в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4. Индикативная оценка ROI от внедрения квантовых вычислений в цепочке добавленной стоимости нефтегазовой компании

Инициатива	Затраты на внедрение	Потенциальная выгода	ROI
Интерпретация сейсмических данных, оптимизация	2,0 млрд руб. на приобретение облачных	2,8 млрд руб. + 320 млн руб. + 1,2 млрд руб. + 250	-15% до 40%

размещения скважин, оптимизация логистических путей, ускорение разработки новых химических соединений	услуг при наличии 1 компьютера до 2035 г.	млн руб. = 4,57 млрд руб. (с учетом интерпретации сейсмических данных); 1,77 млрд руб. без учета интерпретации сейсмических данных.	
	2,7 млрд руб. на приобретение облачных услуг при наличии 1 компьютера до 2040 г.		-34% до 3.7%
	504 млн руб. на приобретение облачных услуг при наличии кластера квантовых компьютеров до 2035 г.		251% до 456%
	682 млн руб. на приобретение облачных услуг при наличии кластера квантовых компьютеров до 2040 г.		160% до 311%

3.3 Сравнение квантовых вычислений и искусственного интеллекта

В соответствии с проведенным исследованием, учитывая ожидания экспертных сообществ, вероятность успешной разработки квантового компьютера до 2035 г. довольно значительна и превышает 50%. В случае создания кластера квантовых компьютеров эффективность затрат на подключение нефтегазовой компании к облачным квантовым вычислениям составит около 250-450%.

Несмотря на оптимистичность полученной индикативной оценки верхней границы расчета, она соответствует масштабу позитивной трансформации в результате внедрения других инновационных решений в процессы компаний, например, искусственного интеллекта. Компания Microsoft заявляет о том, что ROI от внедрения продуктов ИИ составляет от 350% до 800% в зависимости от направления проекта [63].

При этом необходимо отметить, что представленные метрики по проектам в области искусственного интеллекта носят доказанный характер и инвестиции в ИИ могут приносить выгоды нефтегазовым компаниям уже сегодня [64]. В связи с этим, крупные энергетические компании рационально стремятся увеличить присутствие на рынках ИИ технологий, а инвестиции в квантовые вычисления остаются на прежнем уровне (пик новостных публикаций об участии компаний Shell, ExxonMobil, Petrobras в пилотировании квантовых алгоритмов пришелся на 2019-2021 гг.).

Заключение

Квантовые вычисления – высокотехнологичное направление, связанное с повышением эффективности решения сложных оптимизационных задач с применением квантового компьютера. Обобщение и систематизация полученных ранее результатов технологических исследований показало, что научное сообщество оптимистично оценивает возможность увеличения вычислительного потенциала с применением квантовых алгоритмов. Ожидается, что разрабатываемые математические методы и технические решения смогут значительно повысить эффективность процессов нефтегазовой отрасли, одной из ключевых для российской экономики. Окупаемость инвестиций в результате применения облачных квантовых вычислений сможет составить до 500% в базовом сценарии.

Дальнейшие вложения в создание квантового компьютера со стороны государственных организаций представляются обоснованными даже до 2040 г. благодаря достигаемым вычислительным эффектам, однако переход за горизонт 15 лет может привести к снижению ROI до 0% даже в наиболее привлекательных сценариях, что приведет к падению эффективности использования бюджетных средств. Экономическая привлекательность квантовых компьютеров может также ограничиться в условиях развития смежных технологий: цифровых, нейроморфных и фотонных компьютеров и алгоритмов искусственного интеллекта.

Наиболее обоснованной бизнес-моделью, при появлении квантового компьютера до 2040 г., станет подключение крупных нефтегазовых компаний к облачным услугам квантовых вычислений с поминутной или почасовой оплатой тарифа. Ключевым направлением может стать оптимизация решения логистических задач.

Учитывая полученные результаты, стоит обратить внимание на возможность формирования экосистемы квантовых вычислений с участием отечественных нефтегазовых компаний на стадии реализации дорожной карты 2025-2030 гг. Создание механизма организации процесса сотрудничества университетов, центров компетенций, разработчиков решений, потенциальных потребителей в лице корпораций позволило бы сделать очередной шаг в сторону интенсификации развития направления, ускорения пилотирования и коммерциализации продуктов квантовых вычислений. Считается необходимой подготовка регулярных отчетов организатором экосистемы, включающих обоснованный прогноз создания действительно функционирующего квантового компьютера в России. Данный отчет позволил бы определить нефтегазовым компаниям ключевые вехи перехода на квантовые вычисления и обосновать его экономическую эффективность с учетом потенциальной стоимости тарифа для выделения соответствующих бюджетов в рамках ИТ-стратегий и планов инновационного развития.

Литература

1. Основы квантовых вычислений. И.Д. Шульга, Е.А. Юрченко, М.Л. Громов: учебное пособие. – Томск : STT, 2020 – 88 с.
2. Munoz J. Garcia-Castro R., Mugel S. Quantum Computing and the Business Transformation Journey // California Management Review. – 2023. – URL: <https://cmr.berkeley.edu/2023/12/quantum-computing-and-the-business-transformation-journey/>
3. Aljaafari M. Quantum computing for social business optimization: a practitioner's perspective // Soft Computing. – 2023. – Vol 27. – N 11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08764-y>
4. Ширинкина, Е. В. Квантовый искусственный интеллект как технология, способная изменить рынки и бизнес-модели / Е. В. Ширинкина, А. А. Волкорез // Научное обозрение. Серия 2: Гуманитарные науки. – 2023. – № 6. – С. 168-176. – DOI 10.26653/2076-4685-2023-6-15. – EDN HNWCCN
5. Räsänen M., Mäkyänen H., Möttönen M., Goetz J. Path to European quantum unicorns // EPJ Quantum Technol. – 2021. – Vol. 8. – N 5. – DOI: <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00095-x>
6. Azad N. Quantum computing: A concept and business perspective // The International Conference on Software Business. – 2024. – Lahti, Finland. DOI: 10.13140/RG.2.2.15183.87201.
7. Li X., Chen W. Economic Impacts of Quantum Computing: Strategies for Integrating Quantum Technologies into Business Models // Eigenpub Review of Science and Technology. – 2023. – Vol. 7. – N 1. – P. 277-290.
8. Bayerstadler A., Becquin G., et al. Quantum Technology and Application Consortium – QUTAC., Industry quantum computing applications // EPJ Quantum Technol. – 2021. – Vol 8. – N 25. – P. 3-17. – DOI: <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00114-x>
9. Srivastava R., Choi I., Cook T. The Commercial Prospects for Quantum Computing // Networked Quantum Information Technologies. – 2016. – N 1. – P. 48.
10. Bova F., Goldfarb A., Melko R. Commercial applications of quantum computing // EPJ Quantum Technol. – 2021. – Vol 8. – N 2. – P. 1-13. – DOI: <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00091-1>
11. Sáez-Ortuño L., Huertas-García R., Forgas S., Sánchez-García J., Puerta E. Quantum computing for market research // Journal of Innovation & Knowledge. – 2024. – N 9. – DOI: 10.1016/j.jik.2024.100510
12. Озеров, А. В. Квантовые вычисления и железные дороги / А. В. Озеров, В. А. Переднев, А. Л. Охотников // Наука и технологии железных дорог. – 2020. – Т. 4, № 1(13). – С. 69-77. – EDN IFKBSZ
13. Поликарпов, П. В. Экосистемы квантовых вычислений и перспективы использования их на транспорте / П. В. Поликарпов, Н. К. Уваров, А. Д. Хомоненко // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2021. – № 3(27). – С. 52-60. – DOI 10.24412/2413-2527-2021-327-52-60. – EDN KQNVUN

14. Deodoro J., Gorbanyov M., Malaika M., Saadi T. Quantum Computing and the Financial System: Spooky Action at a Distance? // IMF Working Paper. – 2021. – 33 P. – DOI: 10.5089/9781513572727.001
15. Rebstrost P., Luongo A., Cheng B., Bosch S., Lloyd S. Quantum computational finance for martingale asset pricing in incomplete markets // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – N 1. – P. 1-15. –DOI:110.1038/s41598-024-68838-1
16. Stamatopoulos N., Mazzola G., Woerner S., Zeng, W. Towards Quantum Advantage in Financial Market Risk using Quantum Gradient Algorithms // Quantum. – 2022. – Vol. 6. – P. 770. – DOI: 10.22331/q-2022-07-20-770
17. Chou Y., Chang M., Jiang Y., Kuo S., Kung S., Sheu B. An Investigation on Quantum-Inspired Algorithms for Portfolio Optimization Across Global Markets // IEEE Nanotechnology Magazine. – 2024. – Vol. 18. – N 4. – P. 1-8. – DOI: 10.1109/MNANO.2024.3402755
18. Vaddy, R., Dhamodharan B., Jain A. Quantum Computing Applications in Real-Time Route Optimization for Supply Chains // Quantum Computing and Supply Chain Management. – Hershey: IGI Global, 2024. – 310 p. – DOI: 10.4018/979-8-3693-4107-0.ch008
19. Prakash P. Enhancing business performance through quantum electronic analysis of optical data // Optical and Quantum Electronics. – 2023. – Vol. 55. – N 1056. – DOI: 10.1007/s11082-023-05347-x
20. Dutta S., Innan N., Marchisio A., Ben S., Shafique M. QADQN: Quantum Attention Deep Q-Network for Financial Market Prediction // arXiv preprint. – 2024. – DOI: 10.48550/arXiv.2408.03088
21. Красносельский, Б. В. Применение алгоритмов квантового машинного обучения на фондовом рынке / Б. В. Красносельский // Наука. Технологии. инновации: Сборник научных трудов XVII Всероссийской научной конференции молодых ученых. В 11-ти частях, Новосибирск, 04–08 декабря 2023 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2024. – С. 145-147. – EDN QVKDAS
22. Крепышев Д.А. Роль квантовых вычислений в экономическом анализе / Д. А. Крепышев, Н. Н. Лытнев, М. С. Косников, В. Е. Бурусова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 194. – С. 59-73. – DOI 10.21515/1990-4665-194-006. – EDN IWHIVZ
23. Guarda T., Torres W., Augusto M.F. The Impact of Quantum Computing on Businesses. In: Gervasi, O., Murgante, B., Misra, S., Rocha, A.M.A.C., Garau, C. (eds) Computational Science and Its Applications // ICCSA 2022 Workshops. ICCSA 2022. Lecture Notes in Computer Science. – 2022. – Vol. 13380. – P. 3-14. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-10542-5_1
24. Elyakim V. & Nursalim N., Budiaji I., Arina F., Susilo, D. The Impact of Cloud Computing, Quantum Computing, and Blockchain on Data Security and Business Efficiency // Journal of Social Science. – 2024. – N 1. – P. 610-623. – DOI: 10.59613/1wghav64
25. How M-L., Cheah S-M. Business Renaissance: Opportunities and Challenges at the Dawn of the Quantum Computing Era // Businesses. – 2023. – Vol. 3. – N 4. – P. 585-605. – DOI: <https://doi.org/10.3390/businesses3040036>
26. Bova F., Goldfarb A., Melko R. Quantum Economic Advantage // Management Science. – 2022. – Vol 69. – N 2. – P. 1116 - 1126.
27. Bova F., Goldfarb A., Melko R. The Business Case for Quantum Computing // Managing Technology. – 2023. – Vol 64. – N 3. – URL: <https://shop.sloanreview.mit.edu/store/the-business-case-for-quantum-computing>
28. Fedorov A. K. et al. Quantum computing at the quantum advantage threshold: a down-to-business review // arXiv preprint arXiv:2203.17181. – 2022.
29. Bajric S. Interplay of Quantum Technology and Free Market Principles - Insights from Friedman and Rand. – 2023. – DOI: 10.13140/RG.2.2.23764.37761
30. Priyadarshy S. Guest Editorial – Quantum Computing: A Beacon of Transformation for the Oil and Gas Industry // JPT. – 2024. – URL: <https://jpt.spe.org/guest-editorial-quantum-computing-a-beacon-of-transformation-for-the-oil-and-gas-industry>
31. Lawal A. et al. Machine Learning in Oil and Gas Exploration-A Review //IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 19035-19058. – doi: 10.1109/ACCESS.2023.3349216
32. Liu N. et al. Quantum-enhanced deep learning-based lithology interpretation from well logs //IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2021. – T. 60. – C. 1-13.

33. Souza A. M. et al. An application of quantum annealing computing to seismic inversion // *Frontiers in Physics*. – 2022. – Т. 9. – С. 748285.
34. Coastal Review. An Offshore Timeline. – 2015. – URL: <https://coastalreview.org/2015/06/an-offshore-timeline/>
35. Роснефть. Внедрение отечественных инновации позволит «Роснефти» на 35% сократить затраты на геофизические исследования. – 2020. – URL: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/204537/>
36. Islam J. et al. Quantum-based analytical techniques on the tackling of well placement optimization // *Applied Sciences*. – 2020. – Т. 10. – №. 19. – С. 7000.
37. Kumar A. Quantum Computation for End-to-End Seismic Data Processing with Its Computational Advantages and Economic Sustainability // *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference*. – SPE, 2022. – С. D021S037R002
38. Semnani A., Xu Y., Ostadhassan M. Joint optimization of constrained well placement and control parameters with a quantum-inspired cell-based quality gate function // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2022. – Т. 209. – С. 109854.
39. Рамблер. "Роснефть" направит более 3 миллиардов рублей на бурение скважин в НАО. – 2015. – URL: https://finance.rambler.ru/economics/30864850/?utm_content=finance_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink
40. Pfister R., Schubert G., Kröll M. Transfer of Logistics Optimizations to Material Flow Resource Optimizations using Quantum Computing // *Procedia Computer Science*. – 2024. – Т. 232. – С. 32-42.
41. Jahin M. A. et al. QAmplifyNet: pushing the boundaries of supply chain backorder prediction using interpretable hybrid quantum-classical neural network // *Scientific Reports*. – 2023. – Т. 13. – №. 1. – С. 18246.
42. Correll L. et al. Quantum Neural Networks for a Supply Chain Logistics Application // *Advanced quantum technologies*. – 2023. – <https://doi.org/10.1002/qute.202200183>
43. Phillipson F. Quantum computing in logistics and supply chain management-an overview // *arXiv preprint arXiv:2402.17520*. – 2024.
44. Azzaoui A. E. et al. A quantum approximate optimization algorithm based on blockchain heuristic approach for scalable and secure smart logistics systems // *Human-centric Computing and Information Sciences*. – 2021. – Т. 11. – №. 46. – С. 1-12.
45. Gabbassov E. Transit facility allocation: Hybrid quantum-classical optimization // *Plos one*. – 2022. – Т. 17. – №. 9. – С. e0274632.
46. Weinberg S. J. et al. Supply chain logistics with quantum and classical annealing algorithms // *Scientific Reports*. – 2023. – Т. 13. – №. 1. – С. 4770.
47. ZDnet. IBM and ExxonMobil are building quantum algorithms to solve this giant computing problem. – 2021. – URL: <https://www.zdnet.com/article/ibm-and-exxonmobil-are-building-quantum-algorithms-to-solve-this-giant-optimization-problem/>
48. Neftegaz. Газпром нефть сократила расходы на морскую логистику арктической нефти на 12% за счет системы «Капитан». – 2021. – URL: <https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/673118-gazprom-neft-sokratila-raskhody-na-morskuyu-logistiku-arkticheskoy-nefti-na-12-za-schet-sistemy-kapi/>
49. McKinsey. The next big thing? Quantum computing's potential impact on chemicals. – 2019. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/the-next-big-thing-quantum-computings-potential-impact-on-chemicals>
50. Elfving V. E. et al. How will quantum computers provide an industrially relevant computational advantage in quantum chemistry? // *arXiv preprint arXiv:2009.12472*. – 2020.
51. Andersson M. P. et al. Quantum computing for chemical and biomolecular product design // *Current Opinion in Chemical Engineering*. – 2022. – Т. 36. – С. 100754.
52. Jones N.C. et al. Faster quantum chemistry simulation on fault-tolerant quantum computers // *New J. Phys.* – 2012. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/14/11/115023>
53. Phys. AI training method can drastically shorten time for calculations in quantum mechanics. – 2024. – URL: <https://phys.org/news/2024-10-ai-method-dramatically-shorten-quantum.html>
54. Rupec. В 2023 году "Сибур" инвестировал в исследования 5,5 млрд рублей. – 2024. – <https://rupec.ru/news/53591/>

55. Сибур. СИБУР разработал полимеры для упаковки медицинских растворов. – 2022. – <https://www.sibur.ru/ru/press-center/news-and-press/sibur-razrabotal-polimery-dlya-upakovki-meditsinskikh-rastvorov/>
56. Enabling the next frontier of quantum computing // McKinsey & Company. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/tech-forward/enabling-the-next-frontier-of-quantum-computing>
57. The Current and Future State of Quantum Computing // QuEra Computing. – 2024. – URL: <https://www.quera.com/blog-posts/current-and-future-state-of-quantum-computing>
58. Timelines: When can we expect a useful quantum computer? // Introduction to Quantum Computing for Business. – URL: <https://introtoquantum.org/essentials/timelines/>
59. IBM Quantum Pricing // IBM Quantum Computing. – URL: <https://www.ibm.com/quantum/pricing>
60. Quantum uncertainty: Is quantum computing really ready for action in business? // Tech Monitor. – URL: <https://www.techmonitor.ai/technology/emerging-technology/quantum-computing-investment-hype>
61. «Росатом» в российском квантовом проекте. «Квантовая» дорожная карта: результаты и перспективы // AtomMedia. – 2025. – URL: <https://atommedia.online/reference/rosatom-v-rossijskom-kvantovom-proek/>
62. That Is The Price of a Quantum Computer in 2024 // The Quantum Insider. – 2023. – URL: <https://thequantuminsider.com/2023/04/10/price-of-a-quantum-computer/>
63. Microsoft. New study validates the business value and opportunity of AI. – 2023. – URL: <https://blogs.microsoft.com/blog/2023/11/02/new-study-validates-the-business-value-and-opportunity-of-ai/>
64. Sircar A. et al. Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry // Petroleum Research. – 2021. – Т. 6. – №. 4. – С. 379-391.

ANALYSIS OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF APPLICATION OF QUANTUM COMPUTING IN OIL AND GAS INDUSTRY PROCESSES

Lobov, Daniil Sergeevich

Candidate of Sciences in Economics

St. Petersburg State University, Laboratory of new semiconductor materials for quantum information science and telecommunications; research fellow

St. Petersburg, Russian Federation

Kept LLC

Moscow, Russian Federation

d.lobov96@yandex.ru

Sadova, Daria Mikhailovna

National Research University Higher School of Economics, Faculty of Higher School of Business, educational program "Management and Digital Innovations", student

Moscow, Russian Federation

daria_sadova@bk.ru

Shumkov, Vyacheslav Vladislavovich

Candidate of Sciences in Economics

Innopraktika, head of the Intellectual property management department

Moscow, Russian Federation

vyacheslav.shumakov@innopraktika.ru

Abstract

Quantum computing is one of the promising high-tech areas, the development of which is aimed at accelerating the solution of complex computational problems due to the functional properties of a quantum computer. The purpose of this work is to assess the economic feasibility of using quantum computing and algorithms in the business processes of the oil and gas industry. A review of materials on the use of quantum algorithms for optimization has been conducted, on the basis of which hypotheses about operational efficiency have been formulated and an indicative forecast of economic effects has been made. The limitations of the work are based on the assumption of the actual possibility of creating a quantum computer and the validity of the technological research presented by the authors in the literature review. According to estimates, the potential economic effect will be up to 500% in the baseline scenario, significant benefits are expected as a result of optimizing the solution of logistical problems. In this regard, it is considered reasonable to continue financing developments by government organizations, taking into account the risks associated with a decrease in ROI and the attractiveness of cloud quantum services tariffs for potential consumers beyond the 15-year horizon. It is proposed to consider the possibility of creating an ecosystem of organizations participating in the quantum computing market, including oil and gas companies, responsible for publishing reporting forecasts of the likelihood of creating a truly functional quantum computer in Russia, as well as the expected tariffs for connecting the companies to such a computer. The proposed report will allow companies to predict potential economic effects in order to further justify the inclusion of quantum computing in innovative development programs.

Keywords

quantum computing, quantum algorithms, return on investment, innovation, oil and gas industry, Rosneft, Gazprom

References

1. Osnovy kvantovykh vychisleniy . I.D. Shulga, E.A. Yurchenko, M.L. Gromov: uchebnoe posobie. – Tomsk : STT, 2020 – P.88.
2. Munoz J. Garcia-Castro R., Mugal S. Quantum Computing and the Business Transformation Journey // California Management Review. – 2023. – URL: <https://cmr.berkeley.edu/2023/12/quantum-computing-and-the-business-transformation-journey/>
3. Aljaafari M. Quantum computing for social business optimization: a practitioner's perspective // Soft Computing. – 2023. – Vol 27. – N 11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08764-y>

4. Shirinkina, E. V. Kvantovyy iskusstvennyy intellekt kak tekhnologiya, sposobnaya izmenit rynki i biznes-modeli / E. V. Shirinkina, A. A. Volkrez // Nauchnoe obozrenie. Seriya 2: Gumanitarnye nauki. – 2023. – № 6. – P. 168-176. – DOI 10.26653/2076-4685-2023-6-15. – EDN HMWCCCH
5. Räsänen M., Mäkynen H., Möttönen M., Goetz J. Path to European quantum unicorns // EPJ Quantum Technol. – 2021. – Vol. 8. – N 5. – DOI: <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00095-x>
6. Azad N. Quantum computing: A concept and business perspective // The International Conference on Software Business. – 2024. – Lahti, Finland. DOI: 10.13140/RG.2.2.15183.87201.
7. Li X., Chen W. Economic Impacts of Quantum Computing: Strategies for Integrating Quantum Technologies into Business Models // Eigenpub Review of Science and Technology. – 2023. – Vol. 7. – N 1. – P. 277-290.
8. Bayerstadler A., Becquin G., et al. Quantum Technology and Application Consortium – QUTAC., Industry quantum computing applications // EPJ Quantum Technol. – 2021. – Vol 8. – N 25. – P. 3-17. – DOI: <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00114-x>
9. Srivastava R., Choi I., Cook T. The Commercial Prospects for Quantum Computing // Networked Quantum Information Technologies. – 2016. – N 1. – P. 48.
10. Bova F., Goldfarb A., Melko R. Commercial applications of quantum computing // EPJ Quantum Technol. – 2021. – Vol 8. – N 2. – P. 1-13. – DOI: <https://doi.org/10.1140/epjqt/s40507-021-00091-1>
11. Sáez-Ortuño L., Huertas-García R., Forgas S., Sánchez-García J., Puerta E. Quantum computing for market research // Journal of Innovation & Knowledge. – 2024. – N 9. – DOI: 10.1016/j.jik.2024.100510
12. Ozerov, A. V. Kvantovye vychisleniya i zheleznye dorogi / A. V. Ozerov, V. A. Perednev, A. L. Okhotnikov // Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog. – 2020. – T. 4, № 1(13). – С. 69-77. – EDN IFKBSZ
13. Polikarpov, P. V. Ekosistemy kvantovykh vychisleniy i perspektivy ispolzovaniya ikh na transporte / P. V. Polikarpov, N. K. Uvarov, A. D. Khomonenko // Intellektualnye tekhnologii na transporte. – 2021. – № 3(27). – С. 52-60. – DOI 10.24412/2413-2527-2021-327-52-60. – EDN KQNVUN
14. Deodoro J., Gorbanyov M., Malaika M., Saadi T. Quantum Computing and the Financial System: Spooky Action at a Distance? // IMF Working Paper. – 2021. – 33 P. – DOI: 10.5089/9781513572727.001
15. Rebstrost P., Luongo A., Cheng B., Bosch S., Lloyd S. Quantum computational finance for martingale asset pricing in incomplete markets // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – N 1. – P. 1-15. –DOI:110.1038/s41598-024-68838-1
16. Stamatopoulos N., Mazzola G., Woerner S., Zeng, W. Towards Quantum Advantage in Financial Market Risk using Quantum Gradient Algorithms // Quantum. – 2022. – Vol. 6. – P. 770. – DOI: 10.22331/q-2022-07-20-770
17. Chou Y., Chang M., Jiang Y., Kuo S., Kung S., Sheu B. An Investigation on Quantum-Inspired Algorithms for Portfolio Optimization Across Global Markets // IEEE Nanotechnology Magazine. – 2024. – Vol. 18. – N 4. – P. 1-8. – DOI: 10.1109/MNANO.2024.3402755
18. Vaddy, R., Dhamodharan B., Jain A. Quantum Computing Applications in Real-Time Route Optimization for Supply Chains // Quantum Computing and Supply Chain Management. – Hershey: IGI Global, 2024. – 310 p. – DOI: 10.4018/979-8-3693-4107-0.ch008
19. Prakash P. Enhancing business performance through quantum electronic analysis of optical data // Optical and Quantum Electronics. – 2023. – Vol. 55. – N 1056. – DOI: 10.1007/s11082-023-05347-x
20. Dutta S., Innan N., Marchisio A., Ben S., Shafique M. QADQN: Quantum Attention Deep Q-Network for Financial Market Prediction // arXiv preprint. – 2024. – DOI: 10.48550/arXiv.2408.03088
21. Krasnoselskiy, B. V. Primenenie algoritmov kvantovogo mashinnogo obucheniya na fondovom rynke / B. V. Krasnoselskiy // Nauka. Tekhnologii. innovatsii: Sbornik nauchnykh trudov XVII Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh. V 11-ti chastyakh, Novosibirsk, 04-08 dekabrya 2023 goda. – Novosibirsk: Novosibirskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2024. – С. 145-147. – EDN QVKDAS

22. Krepyshev D.A. Rol kvantovykh vychisleniy v ekonomicheskom analize / D. A. Krepyshev, N. N. Lytnev, M. S. Kosnikov, V. E. Burusova // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – № 194. – С. 59-73. – DOI 10.21515/1990-4665-194-006. – EDN IWHIVZ
23. Guarda T., Torres W., Augusto M.F. The Impact of Quantum Computing on Businesses. In: Gervasi, O., Murgante, B., Misra, S., Rocha, A.M.A.C., Garau, C. (eds) Computational Science and Its Applications // ICCSA 2022 Workshops. ICCSA 2022. Lecture Notes in Computer Science. – 2022. – Vol. 13380. – P. 3-14. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-10542-5_1
24. Elyakim V. & Nursalim N., Budiaji I., Arina F., Susilo, D. The Impact of Cloud Computing, Quantum Computing, and Blockchain on Data Security and Business Efficiency // Journal of Social Science. – 2024. – N 1. – P. 610-623. – DOI: 10.59613/1wghav64
25. How M-L., Cheah S-M. Business Renaissance: Opportunities and Challenges at the Dawn of the Quantum Computing Era // Businesses. – 2023. – Vol. 3. – N 4. – P. 585-605. – DOI: <https://doi.org/10.3390/businesses3040036>
26. Bova F., Goldfarb A., Melko R. Quantum Economic Advantage // Management Science. – 2022. – Vol 69. – N 2. – P. 1116 - 1126.
27. Bova F., Goldfarb A., Melko R. The Business Case for Quantum Computing // Managing Technology. – 2023. – Vol 64. – N 3. – URL: <https://shop.sloanreview.mit.edu/store/the-business-case-for-quantum-computing>
28. Fedorov A. K. et al. Quantum computing at the quantum advantage threshold: a down-to-business review // arXiv preprint arXiv:2203.17181. – 2022.
29. Bajric S. Interplay of Quantum Technology and Free Market Principles - Insights from Friedman and Rand. – 2023. – DOI: 10.13140/RG.2.2.23764.37761
30. Priyadarshy S. Guest Editorial – Quantum Computing: A Beacon of Transformation for the Oil and Gas Industry // JPT. – 2024. – URL: <https://jpt.spe.org/guest-editorial-quantum-computing-a-beacon-of-transformation-for-the-oil-and-gas-industry>
31. Lawal A. et al. Machine Learning in Oil and Gas Exploration-A Review // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 19035-19058. – doi: 10.1109/ACCESS.2023.3349216
32. Liu N. et al. Quantum-enhanced deep learning-based lithology interpretation from well logs // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2021. – T. 60. – C. 1-13.
33. Souza A. M. et al. An application of quantum annealing computing to seismic inversion // Frontiers in Physics. – 2022. – T. 9. – C. 748285.
34. Coastal Review. An Offshore Timeline. – 2015. – URL: <https://coastalreview.org/2015/06/an-offshore-timeline/>
35. Rosneft. Vnedrenie otechestvennykh innovatsii pozvolit «Rosnefti» na 35% sokratit zhatry na geofizicheskie issledovaniya. – 2020. – URL: <https://www.rosneft.ru/press/news/item/204537/>
36. Islam J. et al. Quantum-based analytical techniques on the tackling of well placement optimization // Applied Sciences. – 2020. – T. 10. – №. 19. – C. 7000.
37. Kumar A. Quantum Computation for End-to-End Seismic Data Processing with Its Computational Advantages and Economic Sustainability // Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference. – SPE, 2022. – C. D021S037R002
38. Semnani A., Xu Y., Ostadhassan M. Joint optimization of constrained well placement and control parameters with a quantum-inspired cell-based quality gate function // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2022. – T. 209. – C. 109854.
39. Rambler. "Rosneft" napravit bolee 3 milliardov rubley na burenie skvazhin v NAO. – 2015. – URL: https://finance.rambler.ru/economics/30864850/?utm_content=finance_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink
40. Pfister R., Schubert G., Kröll M. Transfer of Logistics Optimizations to Material Flow Resource Optimizations using Quantum Computing // Procedia Computer Science. – 2024. – T. 232. – C. 32-42.
41. Jahin M. A. et al. QAmplifyNet: pushing the boundaries of supply chain backorder prediction using interpretable hybrid quantum-classical neural network // Scientific Reports. – 2023. – T. 13. – №. 1. – C. 18246.
42. Correll L. et al. Quantum Neural Networks for a Supply Chain Logistics Application // Advanced quantum technologies. – 2023. – <https://doi.org/10.1002/qute.202200183>

43. Phillipson F. Quantum computing in logistics and supply chain management-an overview // arXiv preprint arXiv:2402.17520. – 2024.
44. Azzaoui A. E. et al. A quantum approximate optimization algorithm based on blockchain heuristic approach for scalable and secure smart logistics systems // Human-centric Computing and Information Sciences. – 2021. – Т. 11. – №. 46. – С. 1-12.
45. Gabbassov E. Transit facility allocation: Hybrid quantum-classical optimization // Plos one. – 2022. – Т. 17. – №. 9. – С. e0274632.
46. Weinberg S. J. et al. Supply chain logistics with quantum and classical annealing algorithms // Scientific Reports. – 2023. – Т. 13. – №. 1. – С. 4770.
47. ZDnet. IBM and ExxonMobil are building quantum algorithms to solve this giant computing problem. – 2021. – URL: <https://www.zdnet.com/article/ibm-and-exxonmobil-are-building-quantum-algorithms-to-solve-this-giant-optimization-problem/>
48. Neftegaz. Gazprom neft sokratila raskhody na morskuyu logistiku arkticheskoy nefti na 12% za schet sistemy «Kapitan». – 2021. – URL: <https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/673118-gazprom-neft-sokratila-raskhody-na-morskuyu-logistiku-arkticheskoy-nefti-na-12-za-schet-sistemy-kapi/>
49. McKinsey. The next big thing? Quantum computing's potential impact on chemicals. – 2019. – URL: <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/the-next-big-thing-quantum-computings-potential-impact-on-chemicals>
50. Elfving V. E. et al. How will quantum computers provide an industrially relevant computational advantage in quantum chemistry? // arXiv preprint arXiv:2009.12472. – 2020.
51. Andersson M. P. et al. Quantum computing for chemical and biomolecular product design // Current Opinion in Chemical Engineering. – 2022. – Т. 36. – С. 100754.
52. Jones N.C. et al. Faster quantum chemistry simulation on fault-tolerant quantum computers // New J. Phys. – 2012. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/14/11/115023>
53. Phys. AI training method can drastically shorten time for calculations in quantum mechanics. – 2024. – URL: <https://phys.org/news/2024-10-ai-method-dramatically-shorten-quantum.html>
54. Rupec. V 2023 godu "Sibur" investiroval v issledovaniya 5,5 mlrd rubley. – 2024. – <https://rupec.ru/news/53591/>
55. Sibur. SIBUR razrabotal polimery dlya upakovki meditsinskikh rastvorov. – 2022. – <https://www.sibur.ru/ru/press-center/news-and-press/sibur-razrabotal-polimery-dlya-upakovki-meditsinskikh-rastvorov/>
56. Enabling the next frontier of quantum computing // McKinsey & Company. – URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/tech-forward/enabling-the-next-frontier-of-quantum-computing>
57. The Current and Future State of Quantum Computing // QuEra Computing. – 2024. – URL: <https://www.quera.com/blog-posts/current-and-future-state-of-quantum-computing>
58. Timelines: When can we expect a useful quantum computer? // Introduction to Quantum Computing for Business. – URL: <https://introtoquantum.org/essentials/timelines/>
59. IBM Quantum Pricing // IBM Quantum Computing. – URL: <https://www.ibm.com/quantum/pricing>
60. Quantum uncertainty: Is quantum computing really ready for action in business? // Tech Monitor. – URL: <https://www.techmonitor.ai/technology/emerging-technology/quantum-computing-investment-hype>
61. «Rosatom» v rossiyskom kvantovom proekte. «Kvantovaya» dorozhnaya karta: rezultaty i perspektivy // AtomMedia. – 2025. – URL: <https://atommedia.online/reference/rosatom-v-rossijskom-kvantovom-proek/>
62. That Is The Price of a Quantum Computer in 2024 // The Quantum Insider. – 2023. – URL: <https://thequantuminsider.com/2023/04/10/price-of-a-quantum-computer/>
63. Microsoft. New study validates the business value and opportunity of AI. – 2023. – URL: <https://blogs.microsoft.com/blog/2023/11/02/new-study-validates-the-business-value-and-opportunity-of-ai/>
64. Sircar A. et al. Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry // Petroleum Research. – 2021. – Т. 6. – №. 4. – С. 379-391.