

На правах рукописи

Давардуст Хади



**ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ КОМПАНИИ
ИРАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
СИСТЕМНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

*Специальность 2.3.1. Системный анализ, управление и
обработка информации, статистика*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2025

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Первухин Дмитрий Анатольевич

Официальные оппоненты:

Чернышев Александр Борисович

доктор технических наук, доцент, Пятигорский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», кафедра систем управления и информационных технологий, профессор;

Костикова Елена Валентиновна

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», кафедра математического моделирования и прикладной информатики, доцент.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится **4 декабря 2025 г. в 13:30** на заседании диссертационного совета ГУ.12 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2, **аудитория № 1171а**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 3 октября 2025 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ВАСИЛЬЕВА
Наталья Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Современное развитие нефтегазовой отрасли требует научного сопровождения на основе применения и совершенствования методов системного анализа для повышения эффективности деятельности государственных нефтегазовых компаний. В условиях сложной геополитической и экономической обстановки особую значимость приобретает применение методов оптимизации и прогнозной аналитики для стратегического планирования и управления ресурсами.

Государственная нефтегазовая компания Ирана играет ключевую роль в национальном энергетическом секторе страны, обеспечивая значительную долю добычи и экспорта углеводородов. Однако в современных условиях компания сталкивается с рядом серьезных вызовов, включая необходимость адаптации к изменениям глобального энергетического баланса, модернизации производственных мощностей, управления рисками, связанными с волатильностью рынка, и повышения эффективности использования ресурсов. Одной из наиболее актуальных проблем является задержка реализации нефтегазовых проектов, оказывающая значительное влияние на экономическую эффективность, сроки исполнения и стратегическое развитие отрасли.

Одним из важных направлений повышения устойчивости компании является применение методов регрессионного анализа и прогнозирования, позволяющих оценивать ключевые показатели эффективности и оптимизировать процессы принятия решений. Кроме того, анализ задержек в реализации проектов и их последствий дает возможность разработать более эффективные механизмы управления проектными рисками и ресурсами. С учетом высокой степени неопределенности в нефтегазовом секторе, вызванной перебоями в цепочках поставок, изменениями в регулировании и колебаниями цен, критически важным становится использование методов оптимизации и принятия решений в условиях неопределенности.

Настоящая диссертационная работа посвящена системному применению указанных методов, включая многокритериальную оптимизацию, регрессионный анализ, оценку последствий задержек, прогнозирование и моделирование неопределенности, для выявления оптимальных направлений развития государственной нефтегазовой

компании Ирана. Интеграция методов анализа в условиях неопределенности позволит повысить адаптивность и устойчивость стратегического планирования как непосредственно в государственной нефтегазовой компании Ирана, так и в целом в отрасли.

Степень разработанности темы исследования.

Концептуальные основы анализа деятельности государственной нефтегазовой компании Ирана как сложной организационно-технической системы в условиях неопределенности базируются на междисциплинарном подходе, охватывающем положения общей теории систем и системного анализа. Существенный вклад в развитие данных направлений внесли такие ученые, как Л. фон Берталанфи, Р. Акофф, С. Бир, а также отечественные исследователи системного подхода.

Модели и подходы к принятию решений в условиях неопределенности и риска рассмотрены в трудах Дж. Неймана, О. Моргенштерна (аксиомы ожидаемой полезности), а также в рамках поведенческой экономики в работах Д. Канемана и А. Тверски (теория перспектив). Теоретические основы рационального выбора дополнены критериями Вальда и Лапласа, применяемыми для стратегического планирования в энергетическом секторе.

Методы экспертных оценок, в том числе метод ДЕЛЬФИ и аналитический иерархический процесс Т. Саати, рассматриваются как эффективные инструменты обоснования многоцелевых управленческих решений в нефтегазовой отрасли. Значительный вклад в развитие этих методов внесли О. Хелмер, Т. Саати, Дж. Нейман, С.И. Шапиро, Р.А. Фишер и др.

Для выявления и моделирования системных взаимосвязей применяются когнитивные методы, включая когнитивные карты Р. Аксельрода и их дальнейшее развитие в виде нечетких когнитивных карт, предложенных Б. Коско. Применение таких моделей освещено в работах Н.А. Абрамовой, С.В. Коврига, В.И. Максимова, А.А. Кулинича, Д.А. Новикова, Э.А. Трахтенгерца и других исследователей.

Объектом исследования является государственная нефтегазовая компания Ирана как сложная система, представляющая собой крупное промышленное предприятие минерально-сырьевого комплекса страны, и протекающие в ней процессы.

Предметом исследования являются методы системного анализа, моделирования сложных систем, качественные и количественные показатели деятельности государственной нефтегазовой компании Ирана и их применение для стратегического планирования и оптимизации деятельности компании, с акцентом на производственные процессы, реализацию проектов и оценку качественных и количественных показателей эффективности с учетом неопределённости.

Цель исследования – разработка и обоснование направлений развития государственной нефтегазовой компании Ирана, обеспечивающих повышение эффективности ее процессов на основе применения методов системного анализа с учетом задержек в реализации проектов в условиях неопределенности, а также принципов устойчивого развития, включающих технические, технологические, экономические, экологические, социальные и рисковые факторы.

Идея работы заключается в использовании методов системного анализа и робастной многокритериальной оптимизации для обоснования направлений развития государственной нефтегазовой компании Ирана, с учётом факторов неопределённости, рисков и устойчивого развития на примере реализации проектов на фазе 14 месторождения «Южный Парс».

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решены следующие основные **задачи**:

1. Проведен анализ результатов теоретических и практических исследований по применению методов системного анализа в нефтегазовой отрасли.

2. Разработана многоцелевая модель системной оценки эффективности функционирования государственной нефтегазовой компании Ирана, учитывающая ключевые показатели в условиях неопределённости с целью поддержки управленческих решений и стратегического планирования.

3. Проведен корреляционно-регрессионный анализ ключевых показателей компании и выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на ее развитие.

4. Разработана методика прогнозирования ключевых показателей деятельности государственной нефтегазовой компании Ирана, основанная на корреляционно-регрессионном анализе и применении

современных программных средств, с целью повышения точности стратегического планирования в условиях неопределённости.

5. Разработаны рекомендации по внедрению методов системного анализа в стратегическое планирование и управление государственной нефтегазовой компанией Ирана.

Научная новизна результатов исследования заключается в разработке и обосновании интегрированного подхода к системному анализу и поддержке принятия решений при управлении деятельностью государственной нефтегазовой компании Ирана в условиях неопределенности. Впервые предложена робастная модель многоцелевой оптимизации, обеспечивающая аналитическое обоснование стратегических управленческих решений с учётом рисков, задержек и факторов устойчивого развития.

В результате диссертационного исследования:

1. Разработана многоцелевая модель оценки эффективности деятельности государственной нефтегазовой компании Ирана, учитывающая ключевые технические, производственные, технологические, технико-экономические и другие устойчивые параметры.

2. С применением корреляционно-регрессионного анализа выявлены и обоснованы основные факторы, влияющие на динамику развития компании.

3. Разработана и предложена методика прогнозирования объемов добычи и экспорта углеводородов с использованием аналитического пакета Statgraphics и современных инструментов обработки данных.

4. На основе применения принципов системного анализа и результатов исследования сформулированы рекомендации по стратегическому управлению ресурсами и инвестициями.

5. Впервые разработана и апробирована робастная модель многоцелевой оптимизации, ориентированная на планирование и выполнение нефтегазовых проектов в условиях неопределённости и риска, с учётом критериев устойчивого развития (технических, технологических, экономических, экологических, социальных факторов и факторов риска).

6. Разработанная математическая модель позволяет учитывать последствия задержек в реализации проектов, адаптировать планирование к изменяющимся внешним условиям и обеспечивает

устойчивость решений при управлении проектами. Предложенная математическая модель апробирована в процессе реализации фазы 14 Газового Месторождения «Южный Парс» (ГМЮП).

Соответствие паспорту специальности - содержание диссертации соответствует пунктам 3, 10, 11 паспорта научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии научно-методического аппарата системного анализа и прогнозирования деятельности государственной нефтегазовой компании Ирана с применением корреляционно-регрессионных моделей и современных аналитических инструментов, обеспечивающих повышение точности стратегического планирования в условиях неопределённости. Также обоснована и реализована робастная модель многокритериальной оптимизации, ориентированная на поддержку принятия решений в условиях рисков, задержек и ограниченности ресурсов.

Практическая ценность заключается в том, что результаты исследования могут быть использованы для оценки текущей деятельности, повышения эффективности стратегического планирования и управления государственной нефтегазовой компанией Ирана. Практические рекомендации по управлению нефтегазовыми проектами в условиях неопределённости имеют прикладное значение. Предложенная автором робастная модель многоцелевой оптимизации позволяет учитывать риски, рационально распределять ресурсы и принимать обоснованные решения при обеспечении текущей деятельности компании, планировании и развитии нефтегазовых проектов (акт внедрения от 21.04.2025 г.).

Методология и методы диссертационного исследования базируется на системном анализе и системном подходе к управлению деятельностью государственной нефтегазовой компании Ирана в условиях неопределённости. В работе использованы методы системного анализа, корреляционно-регрессионного анализа, математического моделирования, статистического прогнозирования, структурно-параметрического анализа, синтеза и теории принятия решений. Для оценки реализации проектов применён системный анализ производственных процессов на примере фазы 14 месторождения «Южный Парс». Разработана и протестирована

робастная модель многоцелевой оптимизации, обеспечивающая устойчивое стратегическое планирование в нефтегазовых проектах. Для моделирования использованы программные инструменты: Statgraphics Centurion 19, IBM® ILOG® CPLEX® Optimisation Studio, GAMS - Cutting Edge Modeling, GAMS/CPLEX, а также Microsoft Project 2019.

Защищаемые положения, выносимые на защиту

1. Разработанный метод прогнозирования объемов добычи и экспорта иранской государственной нефтегазовой компании, а также расчета наклона прогресса проектов на основе корреляционного и регрессионного анализа позволяет повысить точность стратегического планирования, способствуя устойчивому развитию и укреплению конкурентных позиций компании на международном энергетическом рынке.

2. Предложенная робастная модель многоцелевой оптимизации, предназначенная для поддержки принятия решений в условиях рисков, задержек и ограничений ресурсов при реализации нефтегазовых проектов, апробированная на примере модели фазы 14 месторождения «Южный Парс», позволяет повысить точность и эффективность принятия решений.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обусловлена: комплексным и детальным анализом предметной области, корректным использованием общепризнанных теорий, апробированных методов системного исследования и моделирования, близкими к реальным исходным данным, сходимостью результатов моделирования с натурными данными объекта исследования. **Достоверность полученных результатов** подтверждается их внедрением в практическую деятельность государственной нефтегазовой компании Ирана.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 6 научных конференциях, в том числе на 2 конференциях, индексируемых в системе РИНЦ: International Conference on Innovation in Business Administration and Economics (г. Тегеран, 2023), X Международной научно-практической конференции «Инновационные перспективы Донбасса» (2023), Международной конференции «Экономика устойчивого развития и глобальные инвестиционные тренды» (г. СПб,

2023), VIII Международной конференции (г. СПб, 2022), Международной конференции «Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородного сырья» (2022), XIX Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. СПб, 2023).

Личный вклад автора заключается в формулировке цели и задач исследования, разработке структуры диссертации, сборе и анализе аналитических и статистических данных по деятельности государственной нефтегазовой компании Ирана, а также в обосновании применения методов системного анализа, моделирования и принятия решений в условиях неопределённости. Автор самостоятельно выполнил корреляционно-регрессионный анализ ключевых показателей деятельности государственной нефтегазовой компании Ирана, разработал метод прогнозирования объёмов добычи и экспорта углеводородов с применением программных средств Statgraphics, провёл системный анализ деятельности проекта фазы 14 ГМЮП. На основе полученных данных автором разработана и апробирована робастная модель многоцелевой оптимизации, предназначенная для поддержки принятия решений в условиях рисков, задержек и ограничений ресурсов. Научные результаты, выносимые на защиту, получены автором лично.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных статей, в том числе 2 статьи - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, 2 статьи - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025615499.

Гипотеза исследования – применение методов системного анализа, прогнозирования и робастной многоцелевой оптимизации при стратегическом планировании и управлении государственной нефтегазовой компанией Ирана позволит повысить эффективность принятия управленческих решений, снизить риски, связанные с задержками и неопределённостью в реализации проектов, и тем самым обеспечить устойчивое развитие компании на мировом и внутреннем рынках.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырёх глав с выводами по каждой из них, за-

ключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 118 наименований и 5 приложений. Диссертация изложена на 180 страницах машинописного текста, содержит 84 рисунка и 48 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет, изложены научная новизна, практическая значимость, гипотеза, положения, выносимые на защиту, а также структура диссертации.

В первой главе представлен обзор современного состояния мировой и внутренней нефтегазовой отрасли, дана характеристика минерально-сырьевой базы Ирана, проанализированы производственные и экспортные показатели государственной нефтегазовой компании, а также определены геоэкономические и инфраструктурные факторы, влияющие на развитие отрасли.

Во второй главе изложены методологические основы системного анализа и управления в нефтегазовом секторе, выполнена классификация и ранжирование ключевых показателей эффективности (KPI) с применением диаграммы Парето, построены причинно-следственные зависимости между параметрами системы и обосновано применение методов структурно-параметрического синтеза для дальнейшего моделирования.

В третьей главе представлены результаты анализа практической реализации проектов по фазам освоения газового месторождения “Южный Парс”, включая структуру поставок, показатели производительности, переработки, производства и хранения, а также дана оценка производственной инфраструктуры на суше. На основании анализа обоснована необходимость оптимизации на уровне буровых работ и наземных нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ).

В четвёртой главе представлена робастная модель многоцелевой оптимизации, учитывающая риски и принципы устойчивого развития. Представлены результаты моделирования, графический анализ чувствительности к параметрам неопределённости, а также рекомендации по использованию модели для стратегического управления проектами в условиях риска и ограниченности ресурсов.

В заключении приводятся общие выводы и рекомендации.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Разработанный метод прогнозирования объемов добычи и экспорта иранской государственной нефтегазовой компании, а также расчета наклона прогресса проектов на основе корреляционного и регрессионного анализа позволяет повысить точность стратегического планирования, способствуя устойчивому развитию и укреплению конкурентных позиций компании на международном энергетическом рынке.

Для прогнозирования объемов поставок иранской нефтегазовой продукции на международный рынок предложена математическая модель, представляющая собой комбинацию анализа временных рядов и регрессионного моделирования, учитывающая как временные тенденции, так и влияние внешних факторов. Ниже представлена модель, сочетающая в себе элементы обоих подходов. Концептуальный план модели выглядит следующим образом:

Компонент временных рядов: Эта часть модели отражает историческую тенденцию и сезонность в объемах экспорта. Общим подходом является использование модели ARIMA, которая может быть представлена как (1):

$$\text{ARIMA}(p, d, q), \quad (1)$$

где p порядок члена авторегрессии, d степень дифференцирования, и q порядок члена скользящего среднего. Данная модель подобрана на основе исторических временных рядов объемов экспорта нефти и газа Ирана.

Регрессионный компонент: чтобы учесть влияние внешних факторов, таких как мировые цены на нефть, санкции и мировой спрос, в концептуальный план добавляется регрессионный компонент. Предполагая для простоты линейную зависимость, регрессионный компонент можно представить в виде (2):

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{2,t} + \dots + \beta_n X_{n,t} + \epsilon_t, \quad (2)$$

где Y_t прогнозируемый объем экспорта в момент времени t и $X_{1,t}, X_{2,t}, \dots$ и $X_{n,t}$ представляют собой независимые переменные в момент времени t такие, как мировые цены на нефть (X_1), индекс санкций (X_2), и показатели мирового спроса (X_3) и т.д. и $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ коэффициенты, подлежащие оценке и ϵ_t член ошибки в момент времени t .

Комбинированная модель прогнозирования: Окончательная модель прогнозирования объединяет компоненты временного

ряда и регрессии, корректируя прогноз в зависимости от внешних факторов. Концептуально это можно представить следующим образом (3):

$$\hat{Y}_t = ARIMA(p, d, q) + \beta_0 + \beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{2,t} + \dots + \beta_n X_{n,t}; \quad (3)$$

данная модель позволяет спрогнозировать $\hat{Y}_t$ объемов экспорта, отражая как исторические тенденции с помощью компонента ARIMA, так и корректируя влияние внешних факторов с помощью регрессионного компонента. Исходя из модели ARIMA (1, 0, 1), рассчитаны коэффициенты:

- коэффициент $AR(1)(\phi_1) : 0.6889$; коэффициент $MA(1)(\theta_1) : 0.1119$; среднее значение (μ): 0.

Для модели ARIMA(1,0,1) математическое уравнение рассчитывается следующим образом (4):

$$Y_t = 0.6889 * Y_{\{t-1\}} + 0.1119 * \epsilon_{\{t-1\}} + \epsilon_t, \quad (4)$$

где Y_t — это объем экспорта в момент времени t , $Y_{\{t-1\}}$ — это объем экспорта в момент времени $t - 1$, ϵ_t — это член ошибки (ошибка прогноза) в момент времени t , $\epsilon_{\{t-1\}}$ — это член ошибки в момент времени $t - 1$.

В таблице 1 представлены результаты моделирования временного ряда, полученные с использованием модели ARIMA в программном пакете Statgraphics 19. В период с 2005 по 2014 год наблюдается положительная динамика показателя, отражающая рост объёмов до уровня свыше 17 млн долларов. Данный период может быть охарактеризован как стабильный с точки зрения экономических показателей. Начиная с 2015 года прослеживается тенденция снижения, что может быть связано с влиянием макроэкономических и геополитических факторов. Прогнозные значения на 2023–2027 годы указывают на постепенную стабилизацию в пределах 10–11 млн долларов, что, однако, остаётся ниже уровней, достигнутых в предыдущем благоприятном цикле. Эта модель представляет собой фундаментальную основу.

Прогнозирование объемов продукции и услуг на внутреннем рынке: Внутреннее потребление природного газа в Иране представляет собой сложную и многогранную проблему, переплетающуюся с государственной энергетической политикой, а также экономи-

ческими и экологическими целями страны. Формирование устойчивых стратегий в этой области требует глубокого понимания динамики потребления, баланса между экономическим ростом и охраной окружающей среды. Прогнозирование объемов поставок на внутренний рынок выполнено с применением пакета Statgraphics 19 и базируется на результатах временного моделирования.

На рисунке 1 и в таблице 2 представлены расчеты на период 2025–2029 гг., согласно которым ожидается рост поставок газа с 268,9 до 302,0 млрд м³, что отражает тенденцию к восстановлению и стабилизации внутреннего спроса на фоне предполагаемых технологических улучшений и адаптации государственной политики. Таким образом, разработанная модель внутреннего прогнозирования учитывает структурные, политические и рыночные особенности и может быть использована как инструмент для оценки перспектив устойчивого развития газовой отрасли Ирана в условиях изменяющейся внешней и внутренней среды.

2. Предложенная робастная модель многоцелевой оптимизации, предназначенная для поддержки принятия решений в условиях рисков, задержек и ограничений ресурсов при реализации нефтегазовых проектов, апробированная на примере модели фазы 14 месторождения «Южный Парс», позволяет повысить точность и эффективность принятия решений.

Анализ условий реализации 14-й фазы проекта «Южный Парс», включая масштаб проекта, стратегическую значимость для энергетического сектора Ирана, а также влияние ограничений по времени, ресурсам и требованиям заинтересованных сторон, обосновывает необходимость разработки математической модели. В рамках настоящего исследования предложена многоцелевая робастная математическая модель, разработанная с учётом неопределённости внешних и внутренних факторов. Модель интегрирует риски, временные задержки, экономические, экологические и социальные ограничения в единую систему оптимизации, адаптированную к задачам проектного планирования в нефтегазовой отрасли и направленную на повышение эффективности управленческих решений.

Математическая модель робастной многоцелевой оптимизации проектного планирования с учётом рисков и устойчивого развития (5) – (31) (таблица 3):

$$\text{Min } Z_1 = \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^{TR_j^{max}} (t \cdot Cost_{jn} \cdot X_{jtn}) + \lambda_1 U_1 + \sum_{i=1}^J \sum_{t=1}^{TR_j^{max}} U_{1jt}, \quad (5)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} (t \cdot ENV_j \cdot X_{jt}) + \lambda_2 U_2 + \sum_{i=1}^J \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} U_{2jt}, \quad (6)$$

$$\text{Min } Z_3 = \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} (t \cdot SOC_j \cdot X_{jt}) + \lambda_3 U_3 + \sum_{i=1}^J \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} U_{3jt}, \quad (7)$$

$$\text{Min } Z_4 = \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^{TR_j^{max}} \sum_{r=1}^R RP_{jt} \cdot RE_{jrt} \cdot X_{jrt} + \lambda_4 U_4 + \sum_{i=1}^J \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} U_{4jt} \quad (8)$$

в зависимости от.

$$LT_1 = FT_0, \quad (9)$$

$$\sum_{t=1}^{TR_j^{max}} X_{jt} \leq 1, \quad \forall j \in J, \quad (10)$$

$$LT_j - ET_j \geq \left(T_j - \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} t \cdot X_{jt} \right), \quad (11)$$

$$ES_j - ET_j \geq \left(T_j - \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} t \cdot X_{jt} \right) + ADfS_{ij}^{min}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall n \in N, \quad (12)$$

$$LT_k - LT_j \geq \left(T_k - \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} t \cdot X_{jt} \right) + ADfS_{ij}^{min}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall n \in N, \quad (13)$$

$$ET_j - ET_i \geq SS_{ij}^{min}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \quad (14)$$

$$LT_k - LT_j \geq \left(T_k - \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} t \cdot X_{jt} \right) - \left(T_k - \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} t \cdot X_{jt} \right) + SS_{jk}^{min}, \quad \forall j \in J, \forall k \quad (15)$$

$$ET_j - ET_i \geq \left(T_i - \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} t \cdot X_{jt} \right) - \left(T_j - \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} t \cdot X_{jt} \right) + FF_{jk}^{min}, \quad \forall j \in J, \forall k \quad (16)$$

$$\begin{matrix} \in K, \\ LT_k - LT_j \geq ADff_{ij}^{min}, \end{matrix} \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (17)$$

$$ET_j - ET_i \geq ADSS_{ij}^{min} - \left(T_j - \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} t \cdot X_{jt} \right), \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \quad (18)$$

$$LT_k - LT_j \geq ADSf_{ij}^{min} - \left(T_j - \sum_{t=1}^{MD_j^{max}} t \cdot X_{jt} \right), \quad \forall j \in J, \forall k \in K, \quad (19)$$

$$t \cdot \widehat{Cost}_j \cdot X_{jt} + U_1 + U_{1jt} \geq 0, \quad (20)$$

$$U_{1jt} \geq 0, \quad (21)$$

$$U_1 \geq 0, \quad (22)$$

$$t \cdot \widehat{ENV}_j \cdot X_{jt} + U_2 + U_{2jt} \geq 0, \quad (23)$$

$$U_{2jt} \geq 0, \quad (24)$$

$$U_2 \geq 0, \quad (25)$$

$$t \cdot \widehat{SOC}_j \cdot X_{jt} + U_3 + U_{3jt} \geq 0, \quad (26)$$

$$U_{3jt} \geq 0, \quad (27)$$

$$U_3 \geq 0, \quad (28)$$

$$t \cdot \widehat{RP}_{jt} \cdot X_{jt} + U_4 + U_{4jt} \geq 0, \quad (29)$$

$$U_{4jt} \geq 0, \quad (30)$$

$$U_4 \geq 0. \quad (31)$$

Ограничение (9) определяет временные рамки, установленные заказчиком для проекта. Это ограничение, по сути, гарантирует, что весь проект будет завершен до истечения максимального времени, указанного заказчиком. Ограничение (10) гарантирует, что если какая-то деятельность задержится, то эта задержка произойдет только в одном из временных интервалов, определенных для проекта. Ограничения (11) - (19) рассчитывают критическое время проекта и назначают подходящее время начала и окончания каждого вида деятельности в каждом проекте. Ограничения (20)–(31) моделируют робастную структуру целевых функций, обеспечивая учёт неопределённости в стоимостных, экологических, социальных и рискованных показателях при выборе проектных решений и распределении ресурсов.

Исходные данные и результаты вычислений. Для апробации предложенной модели использован фактический материал по строительству наземного газоперерабатывающего завода на 14-й фазе месторождения «Южный Парс». Задача, включающая 21 вид деятельности, решалась с применением программы CPLEX и метода ε -ограничений. В таблице 3 представлены ключевые параметры по каждому этапу: стоимость задержки, длительность выполнения и максимально допустимое отклонение. Общая продолжительность

проекта составила 1203 дня, что требует сокращения на 120 дней в соответствии с требованиями заказчика. Диаграмма Ганта и сетевой график позволили выявить критические операции и взаимосвязи между ними. Моделирование показало, что сокращение сроков отдельных работ приводит к росту проектных рисков, что учтено в разработанной робастной модели оптимизации. Представленный анализ демонстрирует высокую значимость сбалансированного управления временем, затратами и рисками при реализации крупных инфраструктурных проектов в условиях неопределённости (Таблица 4 и Рисунок 2).

Метод ε -ограничений для оптимизации нефтегазовых проектов

В рамках исследования была разработана и апробирована робастная многоцелевая математическая модель проектного планирования в условиях неопределённости, реализованная методом ε -ограничений и программой CPLEX. В модели учитываются четыре целевые функции: минимизация времени выполнения проекта, снижение рисков, экологических и социальных последствий. В трёх сценариях с различными уровнями неопределённости параметров проведён анализ множества Парето. В первом $[(\lambda_1 = 10.5), (\lambda_2 = 210), (\lambda_3 = 10.5), (\lambda_4 = 10.5)]$ (средние значения параметров) получено 50 допустимых решений, каждое из которых обеспечивает сокращение сроков минимум на 4 единицы (Рисунок 3). Во втором $[(\lambda_1 = 21), (\lambda_2 = 210), (\lambda_3 = 21), (\lambda_4 = 10.5)]$ (наихудшие значения по первой и третьей функциям) наблюдается сужение множества до 46 решений, обусловленное ограничением гибкости модели (Рисунок 4). В третьем сценарии (наихудшие значения по затратам и рискам и средние — по устойчивому развитию) увеличивается разнообразие решений, особенно по функциям устойчивости, что подчёркивает их приоритет в принятии решений (Рисунок 5). Таким образом, результаты подтверждают высокую адаптивность модели к условиям неопределённости и её применимость для оптимизации графика выполнения проектных работ в нефтегазовой отрасли с акцентом на устойчивое развитие.

Анализ чувствительности робастных параметров при получении решений Парето: для оценки устойчивости и эффективности разработанной робастной многоцелевой модели оптимизации выполнен анализ чувствительности с использованием пяти сценариев, варьирующих уровни неопределённости параметров целевых функций (Рисунок 6). Сравнение фронтов Парето показало, что сценарий 1 (средние значения параметров) обеспечивает

наиболее равномерное распределение решений и наибольшее разнообразие альтернатив, что повышает гибкость управления проектом. Напротив, в сценарии 5 (все параметры в наихудшем состоянии) наблюдается высокая концентрация решений в узком диапазоне, ограничивающая возможности выбора. С помощью метода поверхности отклика и функции значимости проведена количественная оценка влияния отдельных параметров на устойчивость модели. Установлено, что изменения в параметрах первой и третьей целевых функций существенно снижают значимость и качество решений, тогда как вариации параметров второй и четвёртой функций оказывают менее критичное влияние. В результате выявлен компромисс между устойчивостью и результативностью модели, подчёркивающий необходимость точной настройки уровней неопределённости для обеспечения сбалансированного подхода к управлению проектами в условиях рисков и ограничений.

Оценка качества решений и верификация модели робастной оптимизации методом отклика поверхности: в рамках диссертации разработан и апробирован комплексный критерий оценки качества решений, основанный на евклидовом расстоянии между Парето-оптимальными точками и усреднённой границей решений, что позволило количественно измерить разнообразие и устойчивость получаемых альтернатив (32).

$$\text{Измерение Качества (ИК)} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} |d_{\text{среднее}} - d_i|}{(N-1) \times d_{\text{среднее}}} \quad (32)$$

С использованием метода поверхности отклика (RSM) [$N = 2k(k-1) + C_0$], на основе дизайна Бокса-Бенкена были проведены 29 экспериментов по подбору оптимальных уровней робастных параметров, влияющих на четыре целевые функции модели (Таблица 5). Статистический анализ (ANOVA) показал высокую достоверность модели: скорректированный коэффициент детерминации составил 0,974, предсказанный — 0,926, что подтверждает сильную прогностическую способность модели (Таблица 6), $Y = 11.807 + 0.440A - 0.407B - 0.967C + 0.451D + 0.692AB + 1.242BC - 1.0706BD + 1.116CD + 0.328B^2 - 0.037C^2$, где Y — индекс качества, A, B, C и D — $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, и λ_4 соответственно.

Установлено, что наибольшее влияние на индекс качества оказывают параметры первой и третьей целевых функций, в то время как четвёртая — наименьшее. Применение ε -ограничений и робастного программирования позволило учесть как временные, так

и социо-экологические критерии при формировании сбалансированного фронта Парето. Полученные оптимальные значения параметров $[(\lambda_1 = 12.8), (\lambda_2 = 155), (\lambda_3 = 2.8), (\lambda_4 = 5.3)]$ обеспечили сокращение продолжительности реализации проекта на 120 дней в первом сценарии, соответствуя требованиям заказчика (Рисунок 7). Кроме того, анализ сценариев подтвердил, что устойчивые решения достигаются за счёт учёта не только временных и стоимостных факторов, но и критериев устойчивого развития (ЦУР 7, 9, 12, 13), в том числе сокращения выбросов, оптимизации потребления ресурсов и улучшения доступа к инфраструктуре. Это подчёркивает как научную новизну модели, так и её прикладную значимость для повышения эффективности управления крупными энергетическими проектами в условиях неопределённости и внешних ограничений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой научное исследование, в котором на основе комплексного системного анализа и методов робастной многоцелевой оптимизации обоснованы направления стратегического развития государственной нефтегазовой компании Ирана. В работе предложены научно обоснованные подходы к повышению эффективности управления газовыми проектами в условиях неопределённости, с учётом производственных, экологических, социальных и рисков факторов.

Основные научные и практические выводы, сделанные в результате выполненных исследований, заключаются в следующем:

1. В рамках диссертационного исследования обоснована необходимость применения системного анализа для управления развитием государственной нефтегазовой компании Ирана, с учетом сложности её организационной структуры, взаимосвязанности функциональных блоков и внешнеэкономических ограничений.

2. Проведён комплексный анализ мирового и внутреннего рынка природного газа, в результате которого выявлено, что несмотря на наличие одних из крупнейших в мире запасов, Иран реализует лишь часть своего экспортного потенциала, что требует пересмотра стратегий развития, инфраструктурных инвестиций и международного взаимодействия.

3. Разработан системный подход к определению ключевых показателей эффективности (KPI), построена причинно-следственная модель, а также выполнено их ранжирование по степени значимости

с использованием диаграммы Парето. Это позволило структурировать приоритетные направления для улучшения деятельности компании.

4. Проанализирована 14-я фаза разработки газового месторождения «Южный Парс», включая четыре основных сектора: морские платформы, подводные трубопроводы, береговые объекты и бурение. Установлено, что наиболее значительные задержки связаны с закупками и строительством, особенно в наземной части и НПЗ.

5. Установлены основные факторы отставания от графика реализации проекта, включая санкционные ограничения, слабую координацию между участниками консорциума, несогласованность поставок и слабую управляемость отдельных подрядчиков. Эти выводы подтверждаются графиками физического прогресса и сравнением темпов выполнения по секторам.

6. В работе предложена оригинальная робастная модель многоцелевой оптимизации проектного планирования с учетом рисков и принципов устойчивого развития. Модель обеспечивает нахождение сбалансированных решений, минимизирующих задержки, риски, экологические и социальные воздействия.

7. Анализ чувствительности показал, что параметры устойчивости (λ) существенно влияют на эффективность решений, при этом наибольшее влияние оказывают социальные и экологические факторы. Это подчёркивает важность их включения в систему оценки эффективности при стратегическом управлении.

8. Результаты моделирования позволяют применять предложенную методику в практической деятельности отделов планирования, в том числе для бурения, строительства и переработки, особенно в рамках освоения фазы 14. Модель может быть адаптирована под аналогичные проекты в нефтегазовой отрасли.

9. Вклад работы заключается в научном обосновании необходимости интеграции устойчивых и адаптивных подходов к управлению крупными газовыми проектами в условиях неопределённости. Полученные результаты способствуют достижению нескольких Целей устойчивого развития (ЦУР), включая доступную энергию, инновационную инфраструктуру, ответственное потребление и борьбу с изменением климата.

10. Результаты исследования показывают, что предложенная робастная многоцелевая модель оптимизации существенно повышает эффективность календарного планирования проектов в условиях неопределённости. Надёжность решений возрастает до 92–97 %, что подтверждается высокими значениями коэффициентов детермина-

ции (R^2), полученными с использованием метода отклика поверхности. В рамках практического примера модель позволила сократить общую продолжительность проекта примерно на 15 % при сохранении выполнения всех целевых показателей. Кроме того, была обеспечена высокая степень разнообразия и качества решений Парето, особенно в сценариях со сбалансированными значениями робастных параметров, а также достигнуто улучшение экологических и социальных показателей на 20–30 % по стандартизированным значениям целевых функций.

Результаты проведённого исследования создают основу для дальнейших научных и прикладных разработок в области стратегического планирования и оптимизации деятельности государственных нефтегазовых компаний.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Первухин, Д. А. Методы разрешения конфликта организационно-технических систем в нефтегазовой отрасли / Д. А. Первухин, **Х. Давардуст**, Д. Д. Котов // Современная наука и инновации. – 2023. – № 2(42). – С. 71-82. – DOI 10.37493/2307-910X.2023.2.7.

2. Pervukhin, D. A. Modeling and analysis of the utilization of common gas resources between Iran and Qatar, considering various scenarios of resource distribution and extraction power: a game theory approach / D. A. Pervukhin, **D. Hadi**, D. D. Kotov // Modern Science and Innovations. – 2024. – No. 1(45). – P. 8-24. – DOI 10.37493/2307-910X.202411.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Pervukhin, D. A. A sustainable development goals-based mathematical model for selecting oil and gas investment projects under uncertainty and limited resources / Pervukhin D., **Davardoost H.**, Kотов, D., Ilyukhina, Y., & Hasanov, K. // Advanced Mathematical Models & Applications. – 2023. – Т. 8. – № 3.

4. Pervukhin, D.A. Optimizing multimodal logistics in petroleum supply chains using linear goal programming: a case study on South Pars Gas Field Development / Pervukhin D. A., **Davardoost H.**, Gasimov E., Hawezzy A. L. J // International Journal of Engineering. – 2025. – Vol. 38, No. 8. – P. 1909–1921. – DOI 10.5829/ije.2025.38.08b.15.

Свидетельство на объект интеллектуальной собственности:

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025615499 Российская Федерация. Программа для численного моделирования течения вязкой жидкости в сетевых структурах с использованием уравнений Стокса : заявл. 19.02.2025 : опубл. 05.03.2025 / Д. А. Первухин, **Х. Давардуст** ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

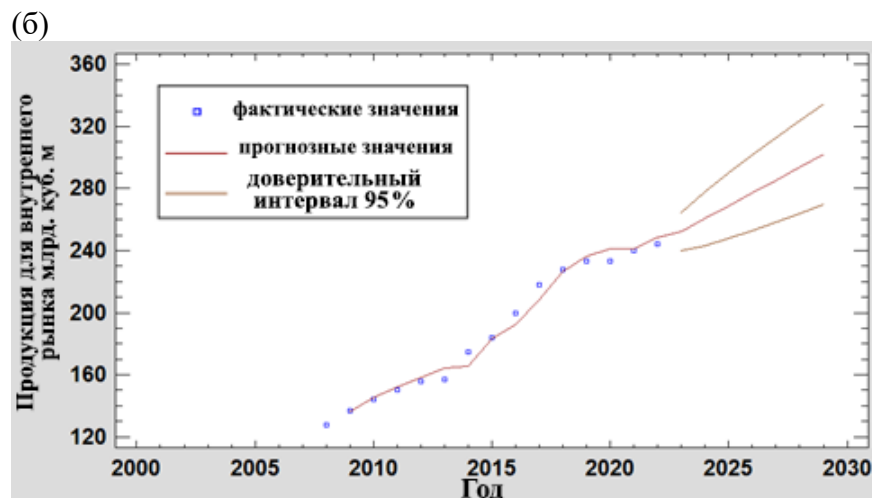
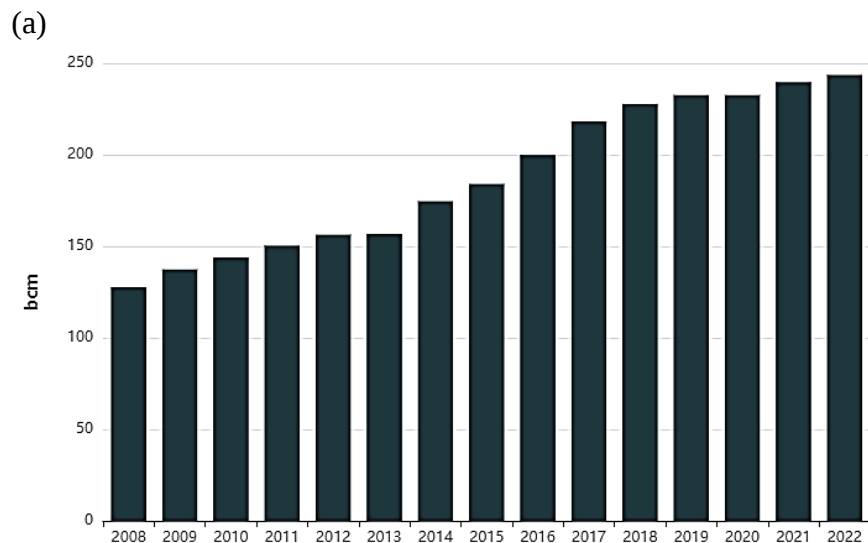


Рисунок 1 - Прогнозирование объемов производства на внутреннем рынке с помощью Excel (a) и Statgraphics 19 (б) (млрд м³)

Таблица 1 – Динамика доходов от реализации продукции нефтегазовой отрасли Ирана в 2005–2024 гг.

Год	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
млрд \$	1.90	4.35	6.37	7.20	7.75	11.60	18.50	13.80	14.35	18.00
Год	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
млрд \$	12.00	15.00	15.10	13.55	8.23	5.40	7.45	10.00	10.97	10.21

Таблица 2 - Прогнозирование объема продукции и услуг на внутреннем рынке с помощью Statgraphics 19 (млрд м³)

Период	Прогноз	Нижняя граница доверительного интервала (95%)	Верхняя граница доверительного интервала (95%)
2025	268,857	247,668	290,046
2026	277,143	252,676	301,61
2027	285,429	258,074	312,784
2028	293,714	263,748	323,68
2029	302	269,633	334,367

Таблица 3 – Расшифровка показателей математической модели

Индексы:		Переменные решения:	
i :	Индекс активности предшественника.	X_{jt} :	Если деятельность j поддерживает единицу, то она будет равна 1, в противном случае - 0.
j :	Индекс активности.		
k :	Успешная деятельность k index.		
r :	Индекс деятельности, подверженной риску.		
t :	Количество отложенных единиц времени индекса деятельности.	ET_j :	Самое раннее начало деятельности j .
l :	Индекс последней активности.		
N :	Общее количество бинарных переменных решения	LT_j :	Последнее завершение деятельности j .
Параметры:			
$Cost_j$:	Стоимость увеличения или уменьшения задержки единовременной единицы в деятельности j .		
ENV_j :	Воздействие на окружающую среду увеличения или уменьшения задержки единовременной единицы в деятельности j .		
SOC_j :	Социальные последствия увеличения или уменьшения задержки единовременной единицы в деятельности j .		
T_j :	Время выполнения деятельности j .		
MD_j^{max} :	Максимально допустимая единица времени задержки для деятельности j .		
FT_0 :	Время завершения проекта, определяемое заказчиком.		
$ADfS_{ij}^{min}$:	Минимальное время между временем окончания работы i и временем начала работы j .		
$ADSS_{ij}^{min}$:	Минимальное время между временем начала деятельности i и временем начала деятельности j .		
$ADff_{ij}^{min}$:	Минимальное время между временем окончания работы i и временем окончания работы j .		
$ADSf_{ij}^{min}$:	Минимальное время между временем начала деятельности i и временем окончания деятельности j .		
RP_{jt} :	Вероятность риска проекта за счет сокращения времени в деятельности j .		
RE_{jrt} :	Влияние риска на деятельность j , на которую влияет r с t единицей задержки.		

Таблица 4 - Информация о строительстве НПЗ на 14-й фазе газового месторождения «Южный Парс»

Номер деятельности	Название деятельности	$Cost_j$ (\$)	T_j (день)	MD_j^{max} (день)
№ (3)	Технико-экономическое обоснование	2,000	30	54
№ (4)	Выбор участка и приобретение земли	4,000	30	54
№ (5)	Оценка воздействия на окружающую и социальную среду «ОВОСС» (ESIA)	3,000	210	54
№ (7)	Концептуальный проект нефтеперерабатывающего завода	1,000	150	54
№ (8)	Детальное инженерное проектирование	4,000	30	54
№ (9)	Планирование проекта и разработка бюджета, и Планирование закупок	2,000	270	54
№ (11)	Закупка и доставка оборудования	10,000	120	0
№ (12)	Строительство нефтеперерабатывающего завода	15,000	180	0
№ (13)	Установка инженерных сетей и систем электроснабжения	3,000	120	4
№ (14)	Установка приборов и систем управления	2,000	150	4
№ (15)	Тестирование качества и безопасности 1	1,000	240	28
№ (16)	Тестирование качества и безопасности 2	13,000	300	0
№ (17)	Тестирование качества и безопасности 3	2,000	600	4
№ (19)	Пусконаладочные работы и испытания при вводе в эксплуатацию	16,000	150	0
№ (20)	Обучение и наращивание потенциала	15,000	450	0
№ (21)	Полная эксплуатация и передача оборудования	14,000	120	0

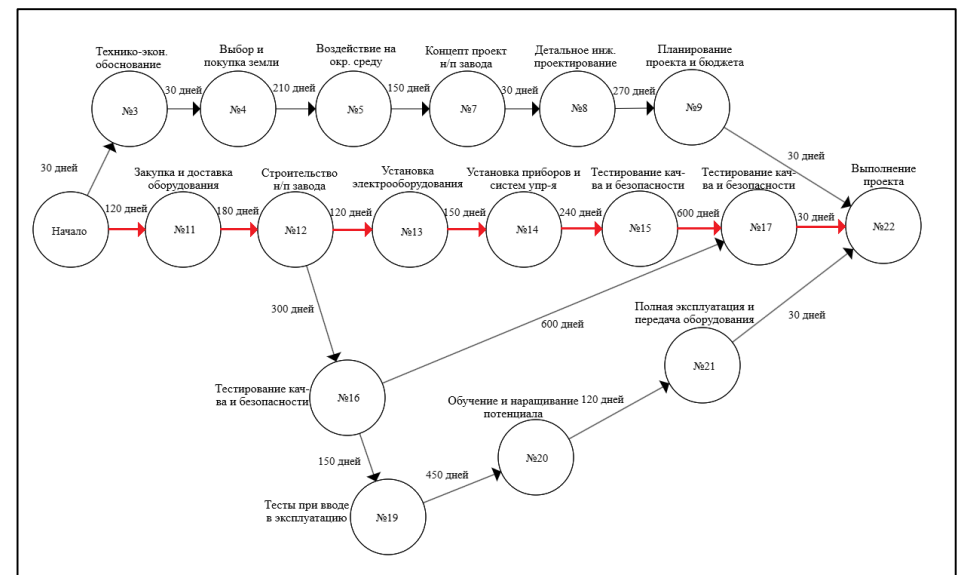
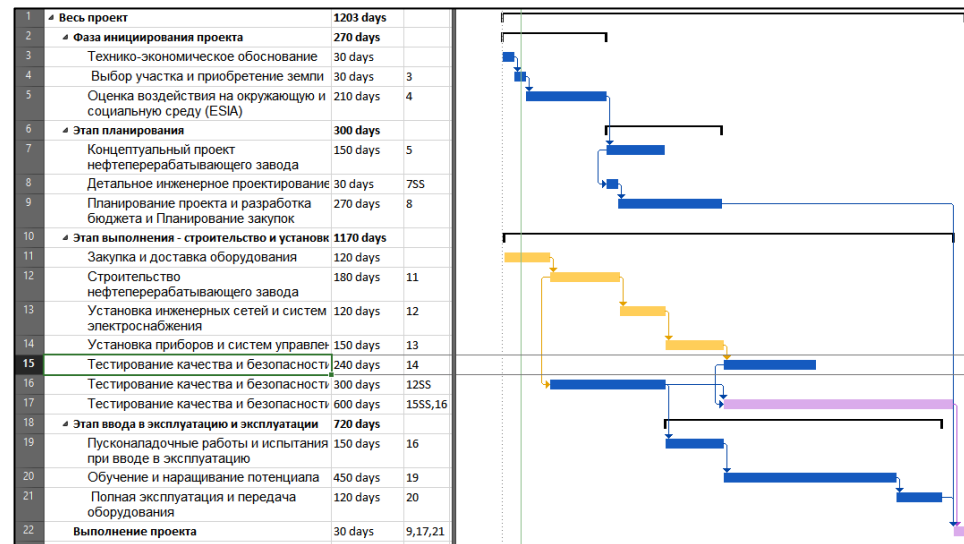


Рисунок 2 - Диаграмма Ганта и сетевой анализ реализации проектных мероприятий

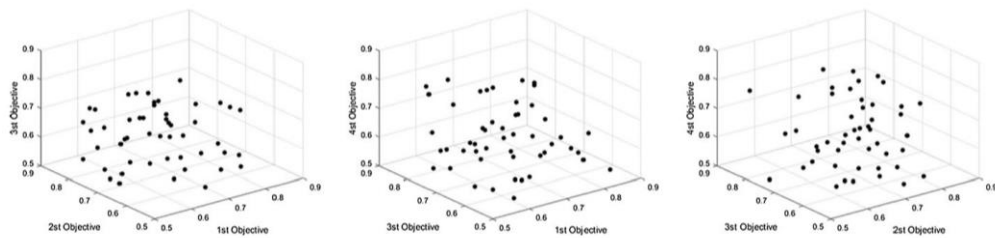


Рисунок 3 - Тройные соединения из сценария 1 с фронтом Парето

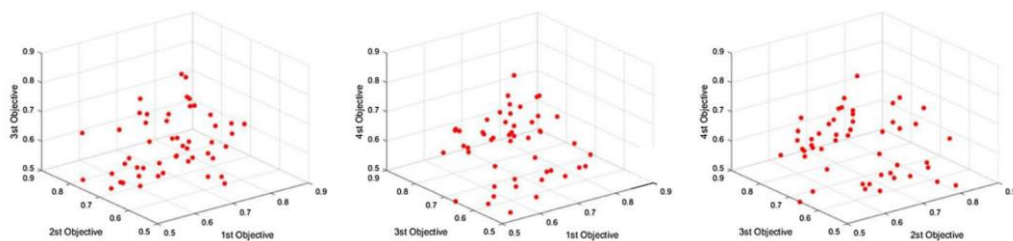


Рисунок 4 - 3D-компоненты фронта Парето для сценария 2

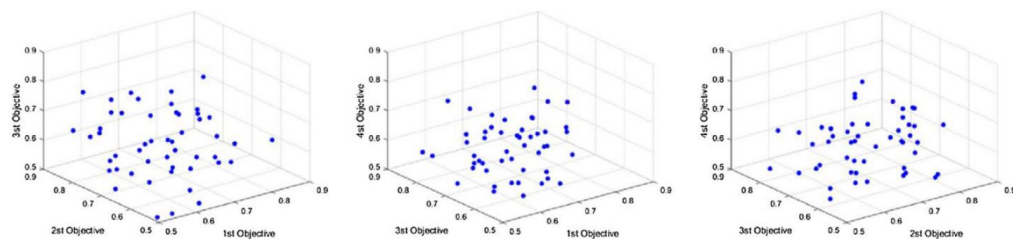


Рисунок 5 - 3D-компоненты фронта Парето для сценария 3

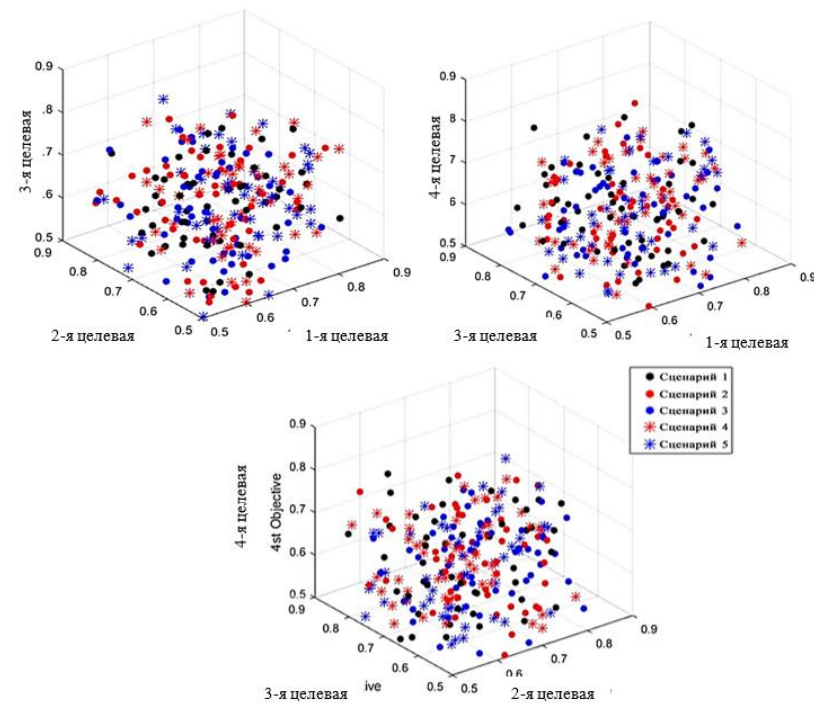


Рисунок 6 - Сравнение фронта Парето, созданного по различным сценариям

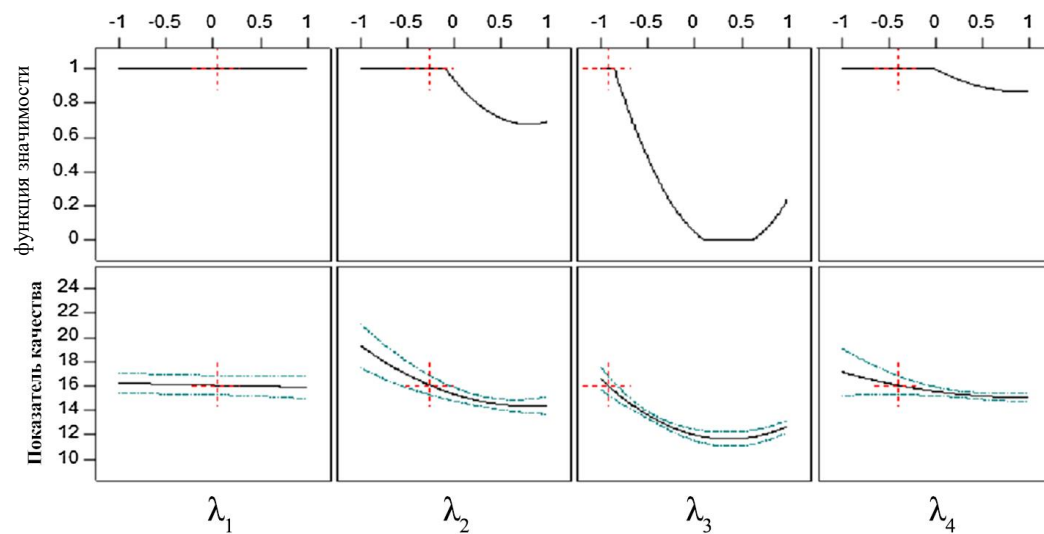


Рисунок 7 - Оптимальный уровень для параметров прочности

Таблица 5 – Эксперименты, разработанные методом Бокса-Бенкена, и значения поверхности отклика

Образец	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	Измерение Качества (ИК)	Образец	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	Измерение Качества (ИК)
1	1	-1	0	1	0.442	16	0	-1	0	0	0.539
2	1	-1	1	0	0.556	17	0	0	0	-1	0.567
3	0	1	1	-1	0.573	18	0	-1	1	0	0.326
4	-1	0	0	-1	0.585	19	-1	-1	0	0	0.320
5	0	0	-1	1	0.441	20	0	-1	0	0	0.344
6	0	0	-1	0	0.380	21	0	0	0	-1	0.465
7	0	-1	0	0	0.526	22	-1	-1	1	0	0.383
8	0	1	-1	1	0.539	23	1	1	0	0	0.447
9	0	-1	0	1	0.306	24	-1	-1	1	-1	0.538
10	0	-1	1	0	0.572	25	0	0	1	-1	0.435
11	-1	-1	0	0	0.574	26	1	0	-1	1	0.401
12	0	-1	0	0	0.315	27	-1	0	-1	0	0.144
13	0	1	0	-1	0.572	28	1	0	0	-1	0.543
14	0	0	-1	0	0.473	29	0	-1	0	0	0.368

Таблица 6 - Дисперсионный анализ (ANOVA) для поверхности отклика квадратичной модели консистенции прядения

Источник	Сумма квадратов	d_f	Средний квадрат	F – значение	Вероятность $> F$
Модель	35.7564	14	2.5540	45.6740	*3.117E-90
$A - \lambda_1$	0.4696	1	0.4696	8.3980	*96110
$B - \lambda_2$	0.4038	1	0.4038	7.2218	*96710
$C - \lambda_3$	1.2132	1	1.2132	21.6949	*73000
$D - \lambda_4$	0.3124	1	0.3124	5.5867	*290330
AB	0.3727	1	0.3727	6.6652	*737120
BC	1.3158	1	1.3158	23.5309	*752000
BD	0.5765	1	0.5765	10.3099	*382600
CD	0.3996	1	0.3996	7.1452	*191810
B^2	2.4674	1	2.4674	44.1250	*1.11E-50
C^2	3.6347	1	3.6347	64.9999	*474210
Отсутствие соответствия	0.4540	5	0.0908	2.4845	**164111
Чистая ошибка	0.3289	9	0.0365		

*Статистически значимо при доверительном уровне 95% ($p_{\text{значение}} < 0.05$);

**Статистически незначимо при доверительном уровне 95% ($p_{\text{значение}} \geq 0.05$)