

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

Семенов Семен Владимирович

Роль искусственного интеллекта в исследовании экономических кризисов XXI века

Специальность 5.2.1. Экономическая теория

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель:
доктор экономических наук, профессор
Пороховский Анатолий Александрович

Москва – 2025

Содержание

Введение	4
Глава 1. Экономическая теория и вызовы искусственного интеллекта	16
1.1. Экономические и социальные перспективы развития искусственного интеллекта	17
1.2. Потенциал ИИ для решения задач теории экономических циклов и кризисов	27
1.2.1. Общая характеристика	27
1.2.2. Искусственный интеллект и анализ современной экономики.	33
1.2.3. Искусственный интеллект как инструмент анализа экономических кризисов и циклического поведения	36
1.3. Теории экономических циклов и системно-воспроизводственный подход.	42
1.3.1. Из истории современных теорий циклического развития	42
1.3.2. Развитие системно-воспроизводственного подхода	56
1.4. Определение связи теории цикличности экономического развития и применения технологий искусственного интеллекта	71
1.5. Выбор факторов для моделирования с помощью ИИ	73
Вывод	75
Глава 2. Практическая реализация методов ИИ и системно-воспроизводственного подхода для анализа кризисов	77
2.1. Использование машинного обучения для эмпирического анализа роли нормы прибыли в циклическом развитии	77
2.1.1. Релевантные научные разработки	77
2.1.2. Описание модели машинного обучения для исследования влияния нормы прибыли	80
2.1.3. Данные для моделирования	81
2.1.4. Результаты моделирования	85
2.2. Многоагентные системы для моделирования экономической динамики	88
2.2.1. Текущий статус методов моделирования динамики нормы прибыли	88
2.2.2. Базовая многоагентная модель	92
2.2.3. Многоагентная модель обучения с подкреплением для моделирования поведенческой компоненты	99
Вывод	102
Глава 3. Современная конфигурация мировой экономики как фактор циклического развития	105
3.1. Институциональные процессы первой четверти XXI века	106
3.2. Рост санкционного давления и торговых войн	108
3.3. Влияние современной конфигурации на моделирование циклического развития	115
Вывод	121
Заключение	123
Список использованных источников	128

Приложение А. Экономические кризисы США с 1980 по 2020 год	143
Приложение Б. Норма прибыли нефинансового сектора США с 1951 по 2024 год	144
Приложение В. Математическое описание релевантных моделей ИИ	146

Введение

Изучение экономических кризисов остаётся актуальным с теоретической и практической точек зрения и в XXI веке, когда экономическая теория дополняется новыми методами исследования. Нередко экономические кризисы рассматриваются с позиции междисциплинарного подхода для выявления роли и взаимодействия различных политических, экономических и социальных факторов. В качестве дополнительных методов, направленных на раскрытие понимания этих взаимосвязей, используются статистические и макроэкономические модели с учётом особенностей исторического процесса. За прошедшие несколько десятилетий активно внедряются методы на основе искусственного интеллекта (ИИ), которые открывают новые возможности для повышения практической значимости и глубины исследования предпосылок кризисов, их последствий и динамики.

В диссертации рассматривается внедрение методов искусственного интеллекта в методический арсенал экономической теории. Искусственный интеллект с его возможностью обработки больших объёмов данных и поиска нелинейных закономерностей позволяет проводить изучение экономических явлений в условиях повсеместного внедрения цифровизации во все сферы жизни.

Искусственный интеллект как часть современного междисциплинарного подхода вносит также вклад в теоретические и прикладные аспекты анализа экономических кризисов. Исследование показывает, что ИИ предоставляет мощные инструменты для анализа и оценки экономических кризисов. Однако его применение должно критически оцениваться в более широких политических и институциональных контекстах, которые и формируют принятие соответствующих экономических решений.

Несмотря на то что искусственный интеллект может использоваться для прогнозирования экономических кризисов, это направление исследования не входит в предмет диссертации по двум причинам. Во-первых, фокус данной диссертации направлен на выявление факторов, влияющих на кризисы, их цикличность и динамическое развитие. Во-вторых, использование ИИ для прогнозирования экономических кризисов является чрезвычайно нетривиальной задачей из-за того, что кризисы представляют из себя хотя и периодически встречающиеся, но имеющие сильное влияние на экономику события с ограниченным количеством аналогичных исторических примеров. При этом структура экономики не является стационарной, но зависит от множества факторов, а её участники, включая государственные органы и корпорации, склонны изменять

своё поведение, базируясь на моделях и прогнозах, при этом производный цикл между прогнозами и реакциями на них трудно верифицировать.

Актуальность исследования

XXI век всё активнее утверждает себя как эпоха всеобщей цифровизации, ядром которой выступает искусственный интеллект (ИИ). При этом технологии ИИ с одной стороны формируют масштабные и глубокие вызовы человеку, его способностям и его роли в экономике и обществе, а с другой – создают новые возможности в развитии методов исследования в естественных и гуманитарных науках, в особенности при обработке растущего массива больших данных. Этот процесс в полной мере можно отнести и к анализу параметров экономических кризисов и циклов, имеющих свои особенности в текущем столетии. Важно отметить, что деловые циклы по-прежнему остаются неотъемлемой частью рыночной экономики, предметом экономической теории и междисциплинарного подхода.

Теории циклических кризисов развиваются в рамках разных школ экономической теории. Происходят изменения в оценке источников кризисов и преобладающих концепций о природе кризисов и типах антикризисной политики.

По данным Национального бюро экономических исследований США (НБЭИ)¹, с 1980 по 2020 год в американской экономике образовалось шесть кризисных периодов (периодов деловых циклов). В Приложении А указаны даты высших и низших точек каждого кризиса, длина подъёмов и спадов в месяцах.

Исследование в диссертации исходит из двух определений экономических кризисов: первое – в рамках экономической теории, второе – прикладное, используемое для моделирования количественных факторов.

Широко известно энциклопедическое определение: «Кризис – частичная или общая дестабилизация экономической системы, проявляющаяся в разбалансированности составляющих её подсистем, нарушении воспроизводственных связей и механизмов согласования интересов, обострении социально-экономических противоречий»². Определение с позиции экономической теории раскрыто в первой главе диссертации.

В диссертации преимущественно используются технологии искусственного интеллекта, которые сочетаются со вторым определением экономического кризиса для проведения численных экспериментов.

¹ US Business Cycle Expansions and Contractions // National Bureau of Economic Research — URL: <https://www.nber.org/research/data/us-business-cycle-expansions-and-contractions> (дата обращения: 19.08.2025).

² Кризис (в экономике) // Портал. Большая российская энциклопедия URL: <https://bigenc.ru/c/krizis-v-ekonomike-ef2761> (дата обращения: 05.07.2025).

Национальное бюро экономических исследований даёт следующее определение кризиса (рецессии): «Традиционное определение рецессии заключается в том, что это значительный спад экономической активности, который распространяется по всей экономике и длится более нескольких месяцев. Хотя каждый из трех критериев – глубина, распространение и продолжительность – должен в определенной степени соответствовать определению сам по себе, экстремальные условия, выявленные одним критерием, могут частично компенсировать более слабые признаки другого. Подъем – это период, когда экономика не находится в состоянии рецессии. Подъем представляет из себя нормальное состояние экономики, так как большинство рецессий кратковременны. Однако время, необходимое экономике для возвращения к предыдущему пиковому уровню активности, может быть довольно продолжительным»³.

В первой главе диссертации детально рассматривается указанное определение в рамках системно-воспроизводственного подхода, а также демонстрируется, какие именно аспекты этого подхода используются для формулирования алгоритмов искусственного интеллекта и каким образом доступно интегрировать эти аспекты с практическим определением рецессий.

В конце XX века, начиная с энергетического кризиса 1970-1980 гг., мировая экономика находилась в относительно стабильном состоянии. Однако проблемы воспроизводства и экономических кризисов в капиталистической экономике продолжали активно исследоваться учёными-экономистами академических институтов и вузов СССР. Широкую международную известность получили монографии С.М. Меньшикова. К примеру, в его книге «Инфляция и кризис регулирования экономики» дано существенное развитие теории кризисов и циклов. Новый поворот в этой тематике сделал В.В. Попов в своей монографии «Экономический цикл и норма прибыли в США». Профессоры МГУ имени М.В. Ломоносова М.Г. Щепинов «Капиталистическое воспроизводство и экономические кризисы» и Г.М. Куманин «Капиталистический цикл» в своих исследованиях применили математические методы для анализа капиталистического воспроизводства.

Учёные западных стран исходили из того, что краткосрочные экономические кризисы, происходившие в тот период, были локализованы в отдельных секторах экономики, поэтому изучение природы экономических кризисов не привлекло широкого внимания. Считалось, что современная рыночная экономическая система способна либо самостоятельно избегать кризисов, либо экономика в состоянии способствовать быстрому разрешению возникших кризисных явлений. С точки зрения практики бизнеса, была распространена уверенность в том, что

³ Business Cycle Dating Procedure // NBER URL: <https://www.nber.org/research/business-cycle-dating/business-cycle-dating-procedure-frequently-asked-questions> (дата обращения: 25.03.2025).

центральные банки освоили инструменты для предотвращения глубоких рецессий или финансовых обвалов с помощью таргетирования инфляции, корректировки процентных ставок и других инструментов экономической политики.

Положение дел существенно изменил мировой экономический кризис 2007-2009 гг. Экономический кризис начался с ипотечного кризиса, а к 2009 году уровень просрочки по платежам ипотеки достиг 14.4%⁴. Впоследствии кризис распространился на мировые финансовые рынки и реальный сектор. С декабря 2007 по июнь 2009 реальный ВВП в США уменьшился на 4.3%, а уровень безработицы вырос с 5 до 9.5%⁵.

Ипотечный кризис в США спровоцировал кризис ликвидности, который распространился по всему миру. МВФ оценил объем потерь активов банков США и Европы более чем в 1 триллион долларов в период с января 2007 по сентябрь 2009⁶. Глобальная рыночная капитализация компаний снизилась почти на 50% с октября 2007 по март 2008 года.⁷

Кризис 2007-2009 годов существенно повлиял на все основные экономические показатели мировой экономики, подчеркнув актуальность и необходимость продолжения углубленного изучения механизма рыночного развития.

Данное исследование фокусируется на изучении экономических кризисов XXI века. Степень научной разработанности, цели, задачи, предмет и объект данного исследования приведены ниже.

Степень научной разработанности проблемы

Несмотря на важность изучения экономических кризисов и циклов в формировании современной экономической теории, тема цикличности редко обсуждалась в научных исследованиях после 1980-х до кризиса 2007-2009 гг.

С середины 1980-х гг. многие западные экономисты и политики считали, что развитие экономики вступило в период стабильного роста, низкой инфляции и отсутствия существенных периодов колебаний экономической активности. Основные подходы экономики, особенно неоклассические DSGE (динамическое стохастическое общее равновесие) модели, как правило,

⁴ U.S. Mortgage Delinquencies Reach a Record High / David Streitfeld — Текст: электронный // The New York Times. — 2009. — 19 ноября — URL: <https://www.nytimes.com/2009/11/20/business/20mortgage.html> (дата обращения: 07.03.2025)

⁵ Great Recession/ Brian Duignan — Текст: электронный // Britannica. — 2023. — 27 декабря — URL: <https://www.britannica.com/money/topic/great-recession> (дата обращения: 07.03.2025).

⁶ FACTBOX-U.S., European bank write downs, credit losses — Текст: электронный // Reuters. — 2009. — 5 ноября — URL: <https://www.reuters.com/article/banks-writedowns-losses-idCNL554155620091105/?rpc=44> (дата обращения: 07.03.2025).

⁷ Stock Prices in the Financial Crisis/Gerald P. Dwyer — Текст: электронный // Federal Reserve Bank of Atlanta. — 2009. — сентябрь — URL: <https://www.atlantafed.org/cenfis/publications/notesfromthetvault/0909> (дата обращения: 07.03.2025).

предполагали эффективные рынки, рациональные ожидания и самокорректирующиеся системы. Эти модели часто исключали или преуменьшали роль финансовой нестабильности, иррационального поведения или долговых пузырей – основных элементов последних реальных кризисов.

В настоящее время мировая экономика характеризуется повышенной волатильностью, контрастируя с динамичными периодами до кризиса 2007-2009 годов. Реалии периода после мирового экономического кризиса неоднозначны, множество стран не в состоянии полностью использовать производственные мощности и поддерживать макроэкономическую стабильность. Также значительную роль играет изменение международной ситуации и различных институциональных факторов.

Такая обстановка привела к возвращению теорий экономической цикличности и экономических кризисов в научный дискурс. В последний период существенно возрос интерес к направлениям, выходящим за рамки неоклассики. Так возрос интерес к объяснению экономического кризиса через призму финансовой нестабильности (гипотеза Мински) или с помощью ограниченной рациональности в рамках поведенческой экономики. На противоположном полюсе по отношению к неоклассике произошёл существенный рост интереса в научном сообществе к марксистской теории цикличности и кризисов.

Современное изучение кризисов отличается подходом, акцентирующим внимание на решении социальных проблем, обеспечении социальной справедливости, рассмотрении альтернативных экономических моделей и применении междисциплинарных методов. Этот синтез концепций порождает различные толкования причин и последствий экономических кризисов. Известные зарубежные исследователи, среди которых Фриман А. (Freeman A.)⁸, Котц Дэвид М. (Kotz D. M.), Десаи Р. (Desai R.) и Моусли Ф. (Moseley F.), активно вовлечены в анализ экономических кризисов. В постсоветский период в России отечественные ученые, в том числе А.В. Бузгалин, Р.С. Дзарасов, А.И. Колганов, А.А. Пороховский, К.А. Хубиев также занимались и продолжают заниматься изучением этой темы с позиций современной политической экономии.

Российская школа использует разнообразные методы, включая подробный анализ причин и следствий, а также мир-системный подход.

На сегодняшний день в научной среде нет четкого консенсуса относительно природы и способов разрешения экономических кризисов, продолжают активно обсуждаться как фундаментальные причины, так и конкретные факторы, влияющие на развитие кризиса. Отсутствие такого консенсуса представляет собой плодородную почву для дальнейшего

⁸ Библиографические ссылки на работы авторов приведены в списке источников.

теоретического изучения экономических кризисов, а также для эмпирического анализа и компьютерного моделирования факторов и процесса протекания кризисов.

Цель работы – применение форм и методов технологий искусственного интеллекта и возможностей компьютерного моделирования для анализа экономических кризисов.

Объект исследования: цикличность экономической динамики.

Предмет исследования: циклические экономические кризисы начала XXI века.

Основной задачей является выявление эффективности искусственного интеллекта для анализа экономических кризисов.

Задачи исследования:

1. Раскрыть связь теоретической базы в области теории экономических циклов и кризисов и использования искусственного интеллекта.
2. Основываясь на теориях экономической цикличности, выявить основные современные факторы, влияющие на возникновение и протекание кризисов.
3. Разработать модель с использованием машинного обучения для проведения эмпирического анализа факторов, влияющих на экономическую цикличность в условиях повсеместной цифровизации.
4. Создать многоагентную систему для компьютерного моделирования динамики экономики.
5. Обосновать авторские предложения по оптимизации моделей для практического применения в условиях геополитических реалий XXI века.

Гипотеза: модель, включающая в себя данные о норме прибыли, прогнозирует кризисные фазы значительно лучше, чем модель без таких данных.

Научная новизна результатов исследования

1. Показано применение современных методов машинного обучения для анализа рецессий с использованием широкого спектра данных экономики и финансовых рынков. Проведён анализ научных работ в сфере применения машинного обучения для изучения рецессий. Выявлена эффективность разных методов машинного обучения. Путём создания модели, подбора параметров и анализа результатов было показано, что современные методы машинного обучения позволяют провести анализ рецессий и факторов, влияющих на их возникновение на системном уровне. В результате раскрыта нелинейная значимость выбранных теоретических факторов.

2. Обоснована важность использования показателя нормы прибыли для анализа кризисов с помощью методов искусственного интеллекта. Анализ актуальных публикаций на тему цикличности экономического развития показал, что норма прибыли занимает важное место в анализе кризисных явлений. Использование технологий искусственного интеллекта позволило раскрыть значимость нормы прибыли с двух сторон. Во-первых, модели машинного обучения эмпирически подтвердили нелинейную значимость фактора нормы прибыли. Во-вторых, компьютерное моделирование динамики показало, что взаимодействия на основе влияния нормы прибыли создают циклическую динамику, схожую с реальными значениями.

3. Раскрыта и продемонстрирована возможность использования сложной многоагентной системы с поведенческой компонентой для компьютерного моделирования экономической динамики. Использование многоагентных систем позволяет провести моделирование экономической динамики снизу вверх, начиная с мельчайших элементов системы – агентов. Продемонстрированы два типа систем: система агентов-предприятий и модифицированная версия с поведенческой компонентой на основе обучения с подкреплением. Обе системы показали адекватную способность к моделированию динамики ВВП, но система с поведенческими компонентами смогла более реалистично воспроизвести редкие периоды кризисных явлений.

4. Систематизированы основные аспекты теорий циклической динамики. С помощью теоретического анализа актуальных современных исследований показаны релевантные концепции основных направлений теорий циклической динамики. Обзор основных теоретических аспектов проведён в рамках современных научных разработок системно-воспроизводственного подхода. Показано, какие именно компоненты в рамках системно-воспроизводственного подхода позволяют адекватно анализировать кризисы XXI века.

5. Выявлены особенности влияния реалий санкционного давления и торговых войн на анализ с помощью искусственного интеллекта. Продемонстрированы изменения в структуре институциональных отношений и международной политики, начиная с начала XXI века. Изучение дальнейших тенденций экономики предполагает критическую оценку влияния таких изменений на практическое применение моделей. В результате предоставлен ряд авторских рекомендаций по применению ИИ в условиях, обусловленных турбулентностью современной экономики и фундаментальным изменением международных связей.

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования

Теоретическая значимость результатов исследования состоит в дополнении современной теории кризисов и её кросс-дисциплинарной разработке на стыке вычислительных методов и экономической теории. Нарботки исследования могут быть в дальнейшем использованы для развития вычислительных методов в этой сфере и прогнозирования экономической динамики.

Практическая значимость: результаты исследования могут использоваться в качестве дополнения к официальным антикризисным документам РФ, включая в себя Указы Президента, Постановления Правительства и решения Банка России. Результаты данного исследования могут послужить основой методического обеспечения научных исследований в области теории кризисов, а также найти применение в образовательном процессе. Полученные выводы приобретают практическое значение в контексте формирования государственной антикризисной политики. Использование результатов исследования позволит более четко и эффективно определить меры государственного регулирования экономики.

Методологическая и теоретическая база исследования

Работа основывается на международных и отечественных исследованиях в области теории циклического развития, а также на работах в сфере применения методов искусственного интеллекта для моделирования экономических кризисов.

Методы исследования: метод анализа и синтеза, системно-воспроизводственный метод, метод компьютерного моделирования на базе технологий искусственного интеллекта.

Уникальность исследования проявляется в комплексном подходе к изучению и применению фундаментальных теорий кризисных явлений с использованием современных методов анализа данных.

Информационная база исследования

В работе используются статистические данные по экономике США. В качестве источника данных о датах начала и конца рецессий используется Национальное бюро экономических исследований, НБЭИ⁹ (National Bureau of Economic Research, NBER), все остальные данные собираются из открытых источников и включают в себя исследования Федерального резервного банка Сент-Луиса, ФРЕД¹⁰ (Federal Reserve Bank of St. Louis, FRED), Организации

⁹ Национальное бюро экономических исследований URL: <https://www.nber.org> (дата обращения: 11.03.2025).

¹⁰ Федеральный резервный банк Сент-Луиса URL: <https://www.stlouisfed.org/> (дата обращения: 11.03.2025).

экономического сотрудничества и развития, ОЭСР¹¹ (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD), Яху¹² (Yahoo) и Института энергии, ИЕ¹³ (Energy Institute, EI).

Положения, выносимые на защиту

Основные теоретические и практические достижения, обладающие элементами научной новизны, выносятся на защиту в виде следующих положений:

1. Основные современные теории циклической динамики основаны на фундаментально различающихся позициях в исследовании экономических кризисов и циклов. Рассмотренный исторический контекст позволяет оценить базовое положение различных школ и выбрать системно-воспроизводственный подход как наиболее подходящий для данного исследования. С помощью системно-воспроизводственного подхода выявлен набор причинно-следственных связей, который позволяет выбрать адекватные факторы для дальнейшей эмпирической части исследования.

2. Современные методы машинного обучения позволяют эмпирически проанализировать рецессии с использованием широкого спектра данных экономики и финансовых рынков. Созданные модели позволяют проанализировать факторы, влияющие на возникновение рецессий. Показано, что методы машинного обучения позволяют провести анализ рецессий и их факторов на системном уровне, раскрывая нелинейную значимость выбранных теоретических факторов.

3. Норма прибыли является ключевым фактором для анализа кризисов с помощью методов искусственного интеллекта. Анализ актуальных публикаций на тему цикличности экономического развития показал, что норма прибыли занимает важное место в анализе кризисных явлений. Использование технологий искусственного интеллекта позволило раскрыть значимость нормы прибыли с двух сторон. Во-первых, модели машинного обучения эмпирически подтвердили нелинейную значимость фактора нормы прибыли. Во-вторых, компьютерное моделирование динамики показало, что взаимодействия на основе влияния нормы прибыли создают цикличную динамику, схожую с реальными значениями.

4. Сложные многоагентные системы, применяемые для компьютерного моделирования экономической динамики, позволяют провести моделирование экономической динамики снизу вверх, начиная с мельчайших элементов системы, агентов. Продемонстрированы два типа систем: система агентов-предприятий и модифицированная версия с поведенческим

¹¹ Организация экономического сотрудничества и развития URL: <https://www.oecd.org/> (дата обращения: 11.03.2025).

¹² Yahoo Finance URL: <https://finance.yahoo.com/quote> (дата обращения: 11.03.2025).

¹³ Energy Institute URL: <https://www.energyinst.org/> (дата обращения: 11.03.2025).

компонентом на основе обучения с подкреплением. Обе системы показали адекватную способность к моделированию динамики ВВП, а система с поведенческими компонентами смогла более реалистично воспроизвести редкие периоды кризисных явлений.

5. Современные реалии санкционного давления и торговых войн оказывают существенное влияние на анализ с помощью искусственного интеллекта. Показано, что современная конфигурация и её ожидаемое развитие в ближайшем будущем приведёт к изменению различных факторов, учитываемых в моделях искусственного интеллекта. Среди множества изменений основное влияние на текущие модели оказывает изменение прибыльности и нормы прибыли, изменение распределения данных, изменение важности переменных для моделирования и увеличение волатильности. Показано, каким образом модели могут учитывать данные изменения для сохранения актуальности в ближайшем будущем.

Степень достоверности результатов

Достоверность результатов проведённого исследования обусловлена набором методологических, теоретических и эмпирических факторов, обеспечивающих высокое качество полученных данных и их интерпретацию.

Надёжность выводов обеспечивается выбором адекватного методологического аппарата, соответствующего цели и задачам исследования. Использование сочетания качественных и количественных подходов позволило получить всестороннюю картину изучаемого объекта и минимизировать риск односторонних трактовок. Теоретическая база формировалась на основе трудов ведущих российских и зарубежных специалистов, что обеспечило корректность постановки проблемы и интерпретации результатов.

Для эмпирической части исследования использовались данные ведущих исследовательских институтов и баз данных. Подбор материалов осуществлялся в строгом соответствии с требованиями научной выборки: учитывалось разнообразие источников, временные рамки, а также специфические характеристики исследуемого объекта. Для анализа собранных данных использовались современные алгоритмы, что позволило выявить устойчивые зависимости и закономерности. Дополнительным основанием достоверности служит сопоставление полученных результатов с данными предшествующих исследований.

Результаты исследования обсуждались на научных семинарах и конференциях, что позволило учесть критику и предложения коллег. Результаты исследования были опубликованы в рецензируемых журналах и прошли проверку через процедуру научного рецензирования.

Соответствие диссертации научной специальности

Исследование соответствует научной специальности 5.2.1. Экономическая теория, направлению исследования 16. Теоретические подходы к исследованию экономического роста, экономического развития и экономических колебаний.

Апробация результатов диссертации

По теме исследования автором опубликованы 4 работы, все 4 - в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова по специальности и отрасли наук, общим объёмом 2,18 печатных листа.

1. Семенов С.В. Сравнительный анализ теорий внешних факторов экономического цикла // Проблемы современной экономики. — 2023. — №. 3(87). — С. 100-102
2. Семенов С.В. Финансовый кризис 2008 года с позиции радикальной политической экономии // Вопросы политической экономии. — 2024. — №. 1. — С. 152-166
3. Семенов С.В. Институциональные изменения на рубеже кризисов первой четверти XXI века // Проблемы современной экономики. — 2024. — №. 2(90). — С. 59-61
4. Семенов С.В. Применение машинного обучения для анализа значимости факторов кризисных явлений // Искусственные общества. — [Электронный ресурс]. — 2024. — Т.19. — №. 3. — URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800030844-7-1/> (дата обращения: 30.09.2024)

Результаты исследования представлены на конференциях:

- Обзор внешних теорий экономических циклов, Ломоносовские чтения 2023, Москва, Россия, 4-14 апреля 2023.
- Первый финансово-экономический кризис 21 века в зеркале классической политической экономии, VII Международный Политэкономический Конгресс (МПЭК-2023), Москва, Россия, 8-9 июня 2023.
- Выявление факторов экономического кризиса с помощью машинного обучения, VIII Международный политэкономический конгресс имени А.В. Бузгалина (МПЭК-2024), Москва, Россия, 16-17 мая 2024.
- Моделирование динамики колебаний ВВП с помощью многоагентной модели, XV Международная научно-практическая конференция студентов и аспирантов «Математика и ее приложения в современной науке и практике», Курск, Россия, 12 апреля, 2025.
- Влияние современных международных реалий на экономическую цикличность, IX Международный политэкономический конгресс имени А.В. Бузгалина (МПЭК–2025) Москва, Россия, 5–6 июня 2025 г.

Структура диссертации

Диссертация включает в себя введение, три главы, заключение, список использованных источников и приложения.

Глава 1. Экономическая теория и вызовы искусственного интеллекта¹⁴

В этой главе представлен анализ взаимодействия теорий экономических циклов и кризисов и искусственного интеллекта. В ней показываются способы взаимодействия технологий искусственного интеллекта с традиционными подходами теории. В главе описываются подходы искусственного интеллекта, приводится детальный обзор современных подходов теории к изучению природы экономической цикличности и кризисов, далее обосновывается использование искусственного интеллекта в качестве инструмента для улучшения анализа экономических кризисов в рамках теорий экономических циклов и кризисов.

Существует множество определений ИИ, дополняющих друг друга. В рамках диссертационного исследования в качестве основного определения используется определение Межгосударственного стандарта «Концепции и терминология искусственного интеллекта»¹⁵: «ИИ – область науки и техники, рассматривающая технические системы, которые порождают такие результаты, как контент, прогнозы, рекомендации или решения для заданного набора поставленных человеком задач».

Такие задачи варьируются от базового распознавания образов и обработки данных до сложного принятия решений, анализа естественного языка и даже решения некоторых задач, которые часто воспринимаются как творческие, например, создание изображений, рисунков или текстов.

В диссертации искусственный интеллект не рассматривается с позиции имитации естественного интеллекта, а рассматривается как гетерогенный набор алгоритмов, математических моделей и вычислительных методологий. Концептуальные и технические основы современного искусственного интеллекта уходят корнями в различные науки – информатику, математику, статистику и нейробиологию.

¹⁴ В данной главе использованы материалы, опубликованные в авторских статьях: Семенов С.В. Финансовый кризис 2008 года с позиции радикальной политической экономии // Вопросы политической экономии. — 2024. — Т. 37. — №. 1. — С. 152-166 и Семенов С.В. Применение машинного обучения для анализа значимости факторов кризисных явлений // Искусственные общества. — [Электронный ресурс]. — 2024. — Т.19. — №. 3. — URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800030844-7-1/> (дата обращения: 30.09.2024).

¹⁵ ГОСТ Р 71476-2024 Искусственный интеллект. Концепции и терминология искусственного интеллекта // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=263925> (дата обращения: 23.06.2025).

Существует множество областей применения искусственного интеллекта, например, компьютерное зрение, обработка естественного языка, робототехника. Каждая из этих областей использует различные классы алгоритмов и теоретических оснований. Искусственный интеллект лучше всего определять не как устоявшуюся сущность, а как динамичную составную научную дисциплину. Эта составная дисциплина строится на пересечении использования разнообразных алгоритмов, моделей и вычислительных стратегий. Поэтому тонкое понимание искусственного интеллекта должно учитывать эту структурную сложность и специфическую применимость каждого компонента.

Согласно отчёту института искусственного интеллекта МГУ, произошёл колоссальный рост научного интереса к теме ИИ за последнее десятилетие. Так, число научных публикаций в рецензируемых журналах на тему искусственного интеллекта и связанных тем компьютерных наук выросло более чем в четыре раза с 2014 по 2023 гг.¹⁶. Последние технологические прорывы в генеративном искусственном интеллекте только сильнее усиливают этот тренд.

Искусственный интеллект является обширной отраслью современного научно-технического развития и включает в себя различные направления¹⁷. В диссертации основной фокус направлен на два из этих направлений: машинное обучение и многоагентные системы.

1.1. Экономические и социальные перспективы развития искусственного интеллекта

Национальное бюро экономических исследований (НБЭИ) организовало в сентябре 2024 года конференцию, собрав ведущих исследователей в области оценки влияния искусственного интеллекта на экономику, политику и общество. Основная цель была сформулирована следующим образом: «определить исследовательскую повестку для экономики, учитывая влияние ИИ на экономические системы, их управление и относительную власть отдельных лиц и стран».

На конференции обсуждались три большие темы (Agrawal и др., 2025). Во-первых, политическая экономия регулирования ИИ. Искусственный интеллект создаёт принципиально новые конфликтные зоны, связанные с такими понятиями и явлениями как генеративный ИИ в виртуальном пространстве и использование беспилотных аппаратов в физическом пространстве. Отдельно подчеркиваются проблемы определения прав собственности на информацию и

¹⁶ Годовой отчёт 2023 // Институт искусственного интеллекта МГУ URL: https://iai.msu.ru/upload/Results_2023.pdf (дата обращения: 23.06.2025).

¹⁷ Здесь и далее используются общепринятые определения методов и технологии искусственного интеллекта

присутствие асимметричной информации между политиками и инновационными фирмами в мире искусственного интеллекта.

Во-вторых, военное применение ИИ. Основы применения ИИ в военном деле строятся на четырёх столпах: данные, оборудование, специалисты, институты.

В-третьих, ИИ и политическая идентичность. Персонализированное образование, управляемое ИИ, может влиять на общество, автоматизация производства способствует росту популизма из-за экономических последствий оптимизации, а таргетированная реклама и распространение информации в социальных сетях усиливают поляризацию.

Участники конференции пришли также к выводам по развитию взаимодействия ИИ и современных общественных наук. Согласно этим выводам, требуется активная интеграция новых понятий из других дисциплин в экономику, а быстрое и широкое распространение ИИ требует от экономистов настойчивого взаимодействия с идеями из политологии, военных исследований и науки о данных. Далее необходимо улучшать подходы к оценке новых данных, а понимание политико-экономического влияния ИИ зависит от больших данных. Высокочастотные измерения обмена данными между компаниями и государством, детальные записи о поведении человека, внедрение автоматизации являются примерами данных, которые играют важную роль в выявлении причинно-следственных связей.

Остановимся на особенностях взаимодействия искусственного интеллекта с экономикой и политикой. С точки зрения рациональности применения ИИ (Agrawal и др., 2022, с. 13), основной финансовой мотивацией использования искусственного интеллекта является прогнозирование. Данная финансовая мотивация должна привести к кратному увеличению прогнозирования и его появлению в новых сферах и отраслях. Прогнозирование определяется в широком смысле как процесс накопления новой информации на основе имеющейся. Оно включает в себя как прогнозирование будущего, так и получение дополнительной информации в настоящем времени. Несмотря на преимущество методов искусственного интеллекта, в некоторых задачах прогнозирования существует несколько серьёзных ограничений и рисков.

Так, ограничения способности технологий ИИ оценивать человеческие суждения и принимать решения, похожие на решения людей, связаны с несколькими техническими и концептуальными проблемами. К примеру, такие ограничения связаны с отсутствием необходимых данных. Есть некоторые данные, которыми располагают люди, но они не попадают в базу данных. Сюда входят индивидуальные, нецифровизованные предпочтения (Agrawal и др., 2022, с. 102). Более того, искусственный интеллект плохо предсказывает редкие события. В корпоративном мире менеджеры принимают решения о слияниях, инновациях и партнерствах,

часто базируясь на интуиции, а на уровне государств принимаются решения, основанные на закрытой информации и сложном анализе. Как известно, люди используют систему аналогий и опыта для принятия решений в таких ситуациях. Алгоритмы и модели не могут анализировать обстоятельства, когда такая ситуация не возникала много раз в прошлом. Наконец, существуют типы человеческого мышления, которые современный искусственный интеллект не в состоянии моделировать.

Помимо ограничений самого искусственного интеллекта возникает ряд технических компромиссов и концептуальных противоречий в развитии технологии искусственного интеллекта. Технологические компромиссы включают в себя три элемента (Agrawal и др., 2022, с. 4). Увеличение количества данных означает уменьшение приватности. Увеличение скорости принятия решений ведёт к уменьшению точности. Усиление автономности системы напрямую уменьшает контроль за принятиями решений со стороны человека.

Однако наиболее важным являются концептуальные противоречия, создаваемые усилением роли искусственного интеллекта. Разберём три вида противоречий (Agrawal и др., 2022, с. 224).

Первое противоречие – производительность против распределения. Использование искусственного интеллекта несомненно повышает производительность труда. Потенциальная проблема строится не в создании богатства путём увеличения производительности и снижения издержек, а в распределении произведённого продукта. Искусственный интеллект потенциально только усугубляет современную проблему неравенства доходов по двум причинам.

Во-первых, взяв на себя определенные задачи, ИИ может увеличить конкуренцию между людьми за оставшиеся задачи, снижая заработную плату и еще больше сокращая долю дохода, получаемую трудом, по сравнению с долей, получаемой владельцами капитала. Во-вторых, инструменты ИИ ориентированы на навыки интеллектуального труда, непропорционально повышая производительность высококвалифицированных работников.

Второе противоречие – инновации против конкуренции. Как и большинство технологий, связанных с программным обеспечением, использование искусственного интеллекта подвержено эффекту масштаба. Инструменты ИИ характеризуются некоторой возрастающей отдачей, лучшая точность прогнозирования приводит к большему количеству пользователей, большее количество пользователей генерирует больше данных, а больше данных приводит к лучшей точности прогнозирования. Такая особенность внедрения технологий ИИ может привести к монополизации пространства разработки решений.

Третье противоречие – производительность против конфиденциальности. Искусственный интеллект работает лучше с большим количеством данных. В частности, методы лучше способны

персонализировать свои прогнозы, если у них есть доступ к большому количеству персональных данных. Доступ к большому количеству данных ведёт к снижению общего уровня конфиденциальности. Тем не менее, создание количественной оценки влияния внедрения ИИ на изменения ВВП, производительности, заработной платы и неравенства не является тривиальной задачей.

Мнения ведущих институтов, аналитиков и учёных в этом вопросе расходятся. Так, Голдман Сакс (Goldman Sachs)¹⁸ прогнозирует увеличение глобального ВВП на 7% со скоростью роста 1,5% в год. Исследование сотрудников МакКензи и Компани (McKinsey & Company) предполагает, что генеративный ИИ может принести в мировую экономику от 17.1 до 25.6 триллионов долларов в ближайшие годы (Chui и др., 2023). Однако ведущие исследователи в сфере оценки экономического эффекта от внедрения ИИ ставят под сомнения настолько амбициозные цифры.

Нобелевский лауреат по экономике Аджемоглу Д. (Acemoglu D.) создаёт строгую экономическую модель для оценки влияния искусственного интеллекта на изменения ВВП и производительности труда (Acemoglu, 2025). ВВП и совокупный прирост производительности за счёт внедрения ИИ можно оценить по тому, какая доля задач в экономике затронута внедрением ИИ, и по степени влияния на сокращение издержек на уровне каждой задачи.

Если вывести такое уравнение, включающее в себя сумму сокращения издержек, то оно включит в себя любые эффекты от увеличения производительности за счёт внедрения ИИ. Тем не менее, создание такого уравнения является весьма сложной и неоднозначной задачей из-за присутствия сильного фактора неопределённости в оценке того, какие конкретные задачи могут быть автоматизированы с помощью искусственного интеллекта и до какой степени.

Автор использует свой подход для вычисления макроэкономического влияния ИИ. Аджемоглу Д. считает изменения выпуска экономики на основе работы Хультена Ч. (Hulten, 1978), который выводил формулу для конкурентоспособной экономики с постоянной отдачей от масштаба. Такая формула определяет, как повышение производительности на микроуровне преобразуется в макроэкономические изменения. Далее автор аккумулирует ряд новых идей, создавая свою модель влияния ИИ на макроэкономические показатели.

ИИ сильно влияет на автоматизацию, усиливает продуктивность труда, но также может создать и новые трудоемкие сферы, увеличивая количество задач в экономике.

¹⁸ Generative AI could raise global GDP by 7% // Goldman Sachs URL: <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/generative-ai-could-raise-global-gdp-by-7-percent.html> (дата обращения: 04.07.2025).

При этом новые задачи бывают двух типов. Первые, повышающие производительность, эффект от которой больше, чем экономия средств за счет автоматизации. Вторые увеличивают доход, а не потребительскую полезность, например, совершение преступных действий с использованием ИИ. Таким образом, иногда новые задачи увеличивают ВВП, но не имеют положительного эффекта на благосостояние.

Задачи, повышающие производительность, в свою очередь делятся на простые и сложные. Простые в освоении задачи, которые относительно просты также для изучения и реализации ИИ, определяются двумя характеристиками: существует простое соответствие между действием и результатом, и существует надежная, наблюдаемая метрика результата.

Сложные задачи обычно не имеют простого сопоставления между действием и желаемым результатом. В сложных задачах то, что приводит к желаемому результату в данной задаче, обычно неизвестно и сильно зависит от контекста.

Аджемоглу Д. использует эмпирические и оценочные данные о реальном проценте использования технологий ИИ в экономике и информацию об уменьшении издержек. В результате моделирования он приходит к следующей оценке влияния внедрения ИИ-технологий на рост ВВП. Исследование оспаривает мнение о том, что ИИ принесёт колоссальный рост мировой экономики в ближайшие годы. Согласно выводам модели, рост ВВП за 10 лет составит 0,9%-1,1% при условии консервативного роста инвестиций в результате внедрения ИИ и 1,6%-1,8%, если ИИ породит новый инвестиционный бум.

Согласно Аджемоглу, так как задачи, подвергающиеся воздействию ИИ, более равномерно распределены среди населения, чем задачи, подвергающиеся автоматизации до появления ИИ, модель не ожидает отрицательных эффектов заработной платы для любой образовательной группы. Тем не менее оценки также не указывают на снижение неравенства, наоборот, разрыв между капиталом и трудовым доходом еще больше увеличится.

Другие учёные, в том числе Бринолфссон Э. (Brynjolfsson E.), рассматривают влияние ИИ на экономику под другим углом зрения (Brynjolfsson и др., 2019). Рассматривая разрыв между значительными прорывами в технологиях ИИ с высоким экономическим потенциалом и замедления совокупного роста производительности с середины 2000-х годов, авторы приходят к *«современному парадоксу производительности»*.

Исследователи приводят четыре потенциальных объяснения этому парадоксу:

- Переоценка потенциала ИИ. Здесь можно провести исторические параллели с развитием технологий в недавнем прошлом, таким как развитие космоса во второй половине прошлого века. Долгосрочные реалии развития космических технологий не соответствуют

ожидаемым. Аналогичная ситуация может складываться с технологиями ИИ из-за чрезмерно оптимистичной оценки их развития.

- Некорректная оценка роста производительности от внедрения ИИ, особенно тех его частей, которые связаны с нематериальными товарами и услугами, такими как социальные сети. Так, потребители проводят много времени в социальных сетях, при этом формальная финансовая оценка не соответствует проведённому времени.
- Концентрация выгоды от использования ИИ у небольшого числа компаний и лиц, в то время как основная масса людей получает непропорционально меньшую выгоду от внедрения технологий искусственного интеллекта.
- Рост производительности от технологий общего назначения, таких как ИИ, задерживается из-за времени, необходимого для дополнительных инноваций и реструктуризации процессов. Исторические примеры, такие как электроэнергетика, показывают, что технологиям часто требуются десятилетия для реализации их потенциала.

Авторы фокусируются на анализе ИИ как на технологии общего назначения. Примерами, подтверждающими эту позицию, служат усовершенствования, основанные на ИИ в здравоохранении, беспилотных транспортных средствах и оптимизации промышленности. Эти технологии обещают значительный рост производительности, но только после достаточной интеграции во все части экономики.

Они используют модель «J-кривой», которая предполагает, что производительность может изначально снижаться или стагнировать на этапе инвестиций в нематериальные активы, но резко возрастет, как только эти активы начнут производить измеримый результат. Текущие статистические инструменты могут недооценивать эти инвестиции, что приводит к недооценке истинного экономического прогресса. Таким образом, утверждается, что текущий низкий рост производительности не противоречит преобразующему потенциалу ИИ, а отражает естественное развитие технологических инноваций.

Другой подход (Ide, Talamas, 2025) заключается в рассмотрении роли искусственного интеллекта в современном обществе знаний. Искусственный интеллект позволяет выполнять сложную работу, такую как систематизация знаний. Хотя потенциал этой технологии неоспорим, ее точные последствия остаются предметом растущих споров. Эти споры возникают из-за двух факторов.

С одной стороны, определяющей характеристикой работы со знаниями является то, что производственные ноу-хау в основном неявны или неcodируемы, что усложняет их применение в технологиях. Эти компоненты должны быть полноценно изучены и воспроизведены человеком.

С другой стороны, в отличие от традиционных технологий автоматизации, ИИ учатся на примерах, раскрывая закономерности, которые не всегда закодированы в явные правила. Эта способность позволяет системам ИИ приобретать неявные знания и выполнять когнитивные, неcodифицируемые задачи. Автоматизируя такую работу, ИИ может устранить узкие места в знаниях, открывая путь к фундаментальной реорганизации производства.

Для моделирования влияния ИИ на экономику знаний исследователи создают экономическую модель, показывающую влияние ИИ на изменение равновесия рынка труда и распределение трудового дохода. При моделировании ИИ интерпретируется как технология, которая преобразует вычислительные ресурсы в агентов ИИ, которые работают автономно. Авторы используют два типа агентов: агенты-коллеги, работающие автономно, и агенты-вторые пилоты, работающие неавтономно. В результате моделирования исследование приходит к следующим выводам.

Моделирование показывает разницу между агентами-коллегами и агентами-вторыми пилотами для рынка труда. Вторые пилоты в первую очередь приносят пользу менее квалифицированным сотрудникам, уменьшая неравенство в производительности и доходах. Напротив, коллеги ИИ предлагают наибольшие преимущества экспертам, усиливая ценность их опыта.

Технологии автоматизации, оптимизирующие ручной труд, принципиально отличаются от ИИ технологий, которые оптимизируют умственный труд. Физические машины создаются для конкретной физической среды, в то время как ИИ-технологии являются универсальными, что позволяет использовать их в различных сферах и обстоятельствах путём копирования с минимальными затратами. Улучшение алгоритмов и структур технологий ИИ практически мгновенно могут быть распространены на все области применения.

Экономический шок, вызывающий внедрение ИИ в бизнес-процессы, принципиально отличается от классических шоков, с которыми сталкиваются рынки труда. Внедрение ИИ значительно отличается от найма сотрудников с более низкой заработной платой из других стран или регионов, а ключевое отличие заключается в масштабируемости ИИ. Такая масштабируемость основывается на введении большого числа однородных ИИ агентов. Противоположная ситуация складывается при найме сотрудников, так как большие группы людей по своей природе неоднородны с точки зрения знаний и поведения.

Исследования влияния ИИ на рынок труда активно проводятся, в том числе и государственными организациями. Так учёные НБЭИ (Hamrole и др., 2025) провели исследование, используя комбинацию методов, включая вышеупомянутый метод Асемоглу и

текстовый анализ миллионов вакансий за последние полтора десятилетия. В результате было выявлено три основных эмпирических факта.

Во-первых, внедрение ИИ сосредоточено в более крупных фирмах с большой эффективностью труда и с разноплановыми траекториями развития. В этом случае внедрение ИИ приводит к более высоким продажам и увеличению общей производительности.

Во-вторых, основное применение ИИ сосредоточено на должностях с более высокой заработной платой, а эффект внедрения ИИ на занятость зависит от степени разброса влияния эффективности ИИ для выполнения задач. Более высокая средняя эффективности снижает занятость внутри фирмы, в то время как больший разброс эффективности смягчает эти спады за счет перераспределения рабочей силы на дополнительные задачи.

В-третьих, внедрение ИИ в масштабах всей фирмы создает положительные эффекты занятости, увеличивая спрос на рабочую силу.

Результаты этого исследования показывают влияние ИИ на занятость и рабочую силу двояко. Хотя ИИ заменяет рабочую силу на уровне задач, его чистые эффекты занятости формируются компенсирующими силами.

Профессии, которые сильно подвержены влиянию ИИ, испытывают снижение спроса на рабочую силу, однако перераспределение задач внутри профессии и рост, обусловленный ИИ в масштабах всей фирмы, помогают поддерживать общий уровень занятости.

Более того, профессии с высоким разбросом эффективности ИИ испытывают относительно более высокий рост занятости, что подчеркивает важность взаимодополняемости задач внутри профессии.

Эмпирические оценки исследования показывают, что воздействие ИИ касается примерно 14% общего роста вакансий среди акционерных компаний. Однако в верхней части высокооплачиваемых профессий существует ограничение воздействия на занятость из-за перераспределения занятости внутри фирмы. В совокупности эти результаты предоставляют новые доказательства перераспределения рабочей силы между фирмами вместо потери рабочих мест.

Кроме взвешенных перспектив влияния на экономику, есть смысл рассмотреть маловероятные, но высокорисковые сценарии. Мы можем называть такие риски экзистенциальными (Kasirzadeh, 2025).

Традиционное рассуждение об экзистенциальных рисках от ИИ обычно фокусируется на внезапных катастрофических событиях, вызванных передовыми технологиями ИИ, особенно теми, которые могут достичь или превзойти уровень интеллекта человека. Автор называет набор

таких потенциальных событий совершенным штормом, состоящим из пяти элементов: манипуляция поддельной информацией, угрозы безопасности, наблюдение и подрыв доверия, экономическая дестабилизация и нарушение прав.

Манипуляция поддельной информацией. Злоупотребление и нецелевое использование систем искусственного интеллекта для создания убедительных правдоподобных поддельных изображений, видео и звука, и дезинформации с развитием технологии ИИ достигают критической точки. В момент достижения такого уровня присутствия поддельной информации, информационная среда настолько насыщается ложной информацией, что рациональный публичный дискурс становится практически невозможным. Кроме того, в отличие от классических методов, интеллектуальные системы могут поддерживать и постоянно усиливать манипуляции информацией, динамически адаптируясь к запросам через внедрения в рекомендательные системы.

Угрозы безопасности. Современные информационные технологии и искусственный интеллект используются не только в виртуальном пространстве, но уже давно заняли своё место в процессе управления различными реальными устройствами от датчиков на заводах до домашнего оборудования. Злоумышленники могут взламывать такие устройства, что приводит к широко распространенной краже личных данных и открывает эру цифрового шпионажа. Другой более серьёзной проблемой для безопасности является проблема интеграции искусственного интеллекта в сектора производства потенциально опасных веществ, таких как биологические исследовательские лаборатории. На данный момент лаборатории уже активно используют ИИ для анализа и разработки химических и биологических веществ, а улучшение и удешевление технологий позволит небольшим лабораториям вести такую разработку вне правового поля.

Наблюдение и подрыв доверия. Трансформация массового наблюдения с помощью ИИ породила уникальный сдвиг в отношениях между государственной властью и человеком. Использование технологий, встроенных во множество устройств от наружных камер до личных смартфонов, превратило наблюдение за человеком в глобальное явление. Данное явление выходит за традиционные рамки, фундаментально изменяя восприятие конфиденциальности и взаимодействие между человеком и государством.

Экономическая дестабилизация. Из-за внедрения искусственного интеллекта в текущие бизнес-процессы производительность труда растёт, потенциально увеличивая безработицу. И хотя текущий уровень увеличения производительности не позволяет говорить о серьёзных изменениях, потенциальный рост в течении нескольких десятилетий увеличивает риск

возникновения массовой структурной безработицы. Создание новых рабочих мест может не поспевать за увеличением безработицы, поскольку системы искусственного интеллекта сами могут научиться отвечать за собственное обслуживание и оптимизацию процессов.

Нарушение прав. Постоянный мониторинг подрывает право на неприкосновенность частной жизни. Ситуация усугубляется технологиями ИИ, которые допускают профилирование на основании решений системы. Такая практика, часто лишенная прозрачности и подотчетности, может привести к системной дискриминации и увеличить социальное неравенство. Таким образом происходит ущемление основных прав на неприкосновенность частной жизни и искажение объективных процессуально-правовых процедур.

Подытожим сказанное выше, добавим релевантную информацию для 2025 года в рамках обсуждения влияния ИИ на экономику и общество. Рассматривая общее в позициях ведущих исследователей взаимного влияния ИИ на экономику и общество, можно выявить общее понимание огромного потенциального воздействия искусственного интеллекта на общественные изменения, которые в свою очередь порождают новые тренды развития искусственного интеллекта, изменяют макроэкономические и микроэкономические показатели, влияющие на дальнейшие инвестиции и бизнес-стратегии развития ИИ. Тем не менее, оценка масштаба воздействия ИИ в ближайшие десятилетия остаётся открытой темой для дискуссий. Оценка разнится от минорного влияния на экономический рост, структурную безработицу и социальную структуру до катастрофических масштабов замены роли человека в обществе машинами и угрозой существования человечества. Взвешенный подход подсказывает, что реальное положение вещей расположено между этими двумя крайностями. Мы можем ожидать достаточно серьёзное влияние искусственного интеллекта на окружающий нас мир. Влияние ИИ поднимет или усилит ряд социальных и экономических вопросов в экономической и социальной сфере, на которые предстоит ответить исследователям в ближайшем будущем.

Интерес к таким исследованиям только усиливается в настоящее время. По состоянию на 2025 год искусственный интеллект превратился из узкоспециализированного технологического направления в важную часть глобальной экономической стратегии и социальной трансформации. Широкомасштабная интеграция передовых моделей, таких как ЧатГПТ (ChatGPT) от ОпенЭАй (OpenAI)¹⁹ и других вызывает как оптимизм, так и осторожность в равной степени.

Страны с развитой инфраструктурой ИИ, такие как США и Китай, конкурируют за то, чтобы стать мировыми центрами инноваций в области ИИ, рассматривая эту технологию как ключ к долгосрочной экономической устойчивости. Более того, искусственный интеллект стал

¹⁹ Introducing ChatGPT // OpenAI URL: <https://openai.com/index/chatgpt/> (дата обращения: 05.07.2025).

центральным элементом глобальной экономической конкуренции. В 2025 году национальные стратегии, связанные с инвестициями в ИИ, независимостью полупроводников и управлением данными, приводят к новой форме конкурентной борьбы между странами²⁰. Страны стремятся обеспечить приток экспертов в этой области и получить критически важные технологии и устройства для развития ИИ, что меняет приоритеты торговли и перестраивает глобальные цепочки поставок.

Общественное восприятие ИИ остается неоднозначным. Опросы, проведенные в начале 2025 года, показывают, что хотя большинство людей признают потенциальные преимущества ИИ, они также выражают беспокойство по поводу увеличения безработицы и злоупотреблений использованием цифровых технологий²¹.

Несмотря на то что влияние ИИ на экономику и общество будет усиливаться в ближайшее время, обеспечение стабильного роста потребует грамотных политических решений со стороны государств и взвешенных бизнес-стратегий со стороны частного сектора экономики. При разумном управлении искусственный интеллект может стать мощным инструментом не только для роста производительности, но и для расширения возможностей человека.

1.2. Потенциал ИИ для решения задач теории экономических циклов и кризисов

1.2.1. Общая характеристика

Область ИИ, ориентированная на разработку алгоритмов, которые позволяют системам обучаться на основе данных и со временем улучшать свою производительность при выполнении заданной задачи, называется машинным обучением. Согласно экспертной оценке ведущих специалистов (Воронцов, 2018) по искусственному интеллекту, «Машинное обучение – это наиболее успешное направление искусственного интеллекта, вытеснившее экспертные системы и инженерию знаний».

В этой области ИИ-акцент делается на обучающих моделях, которые могут делать численные прогнозы, относить объекты к тому или иному типу или принимать решения на основе закономерностей, с использованием данных из прошлого, так называемых исторических данных.

Основная цель машинного обучения заключается в построении предсказывающих моделей или моделей принятия решений, которые хорошо проецируют закономерности исторических

²⁰ US imposes export controls on chips for AI to counter China // Financial Times URL: <https://www.ft.com/content/f83f30be-d673-4f00-b9e5-9e9293512010> (дата обращения: 05.07.2025).

²¹ How the U.S. Public and AI Experts View Artificial Intelligence // Pew Research Center URL: <https://www.pewresearch.org/internet/2025/04/03/how-the-us-public-and-ai-experts-view-artificial-intelligence> (дата обращения: 05.07.2025).

данных на новые данные. Машинное обучение стремится минимизировать ошибки в прогнозах или оптимизировать определенные метрики в зависимости от целей конкретной задачи.

Системы машинного обучения обычно работают со статическими данными для построения модели, затем модель работает в контролируемой среде для составления прогнозов. Координация и коммуникация на уровне конкретных наблюдений обычно не играют значимой роли, поскольку большинство моделей машинного обучения функционируют независимо после обучения. Более сложные системы машинного обучения используют стратегию создания ансамбля моделей, которая позволяет наладить взаимодействие результатов нескольких небольших моделей, но тем не менее эти модели не общаются в традиционном понимании.

В целом, алгоритмы машинного обучения анализируют большие наборы данных для выявления закономерностей и составления прогнозов или принятия решений на основе этих данных. Все алгоритмы машинного обучения можно разделить на четыре части (Черкасов, Иванов, 2018).

Контролируемое обучение. Разновидность обучения называется контролируемым, поскольку модель обучается под контролем правильных выходных ответов, как учитель, обучающий ученика с помощью демонстрации правильных примеров. Другими словами, модель обучается на маркированных данных, что означает, что каждый пример включает как входные данные, так и выходные данные. Цель обучения состоит в том, чтобы помочь модели изучить сопоставление входных данных, представляющих собой факторы модели, с выходными данными, для того чтобы она могла предсказать неизвестные выходные данные по известным входным.

Процесс создания моделей в контролируемом обучении начинается с набора данных, содержащего пары «входные данные – выходные данные» или, другими словами, маркированные данные. В качестве примера контролируемого обучения часто проводят пример обнаружения нежелательных писем в электронной почте. В таком обучении набор данных будет состоять из входных данных, таких как используемые слова в письме, информация об отправителе, время отправки, и выходных данных, представляющих собой метку о том, является ли письмо нежелательным.

Следующий шаг в процессе направлен на выбор конкретной модели. Для контролируемого обучения существует множество моделей, однако наиболее популярными являются модели деревьев решений, градиентного бустинга и линейной регрессии.

После выбора конкретной модели происходит процесс обучения, качество которого можно измерить, используя одну из метрик, например, точность, представляющую из себя процент

корректного прогноза нежелательных писем. Наконец, обученная модель применяется для обнаружения нежелательных писем.

Контролируемое обучение может обрабатывать такие задачи, как классификация, где целью является прогнозирование категории (обнаружение нежелательных писем или классификация изображений), и прогнозирование непрерывных значений (цены на дома или температура на следующий день).

Полуконтролируемое машинное обучение. Следующим направлением, наиболее близким к контролируемому обучению, является полуконтролируемое обучение. Главным концептуальным отличием от контролируемого обучения является то, что в контролируемом обучении все данные в наборе включают в себя выходные данные. Проводя аналогию, учитель обучает машину на примерах с некоторыми недостатками, так как этот подход подразумевает смесь некоторого количества маркированных данных с большим количеством немаркированных данных во время обучения. Чаще всего этот подход используется, когда обнаружение категории выходных данных затруднено или такой поиск категорий является очень трудозатратной операцией.

Одним из примеров полуконтролируемого обучения является распознавание изображений. Очень часто для работы с распознаванием изображений требуются проанализировать миллионы изображений, и только небольшая часть из этих изображений содержит в себе выходные данные — категорию изображения. Распознавание марок и моделей автомобилей является одним из примеров таких задач. Маркировка всех выходных данных всех изображений является дорогостоящей и трудоемкой операцией, поэтому вместо этого часто маркируется небольшое подмножество данных.

Полуконтролируемое обучение применяется в разных сферах, например в сфере медицинской диагностики. Медицинские учреждения могут собрать большие базы записей пациентов, но только часть из них будет содержать корректные выходные данные, поскольку выявление корректного диагноза требует сложной, экспертной оценки.

В случае полуконтролируемого обучения модель строится на маркированных данных, создавая систему базового понимания, далее анализируются закономерности в немаркированных данных для улучшения качества прогнозов. В целом этот подход очень близок к контролируемому машинному обучению, но представляет собой более сложную итеративную систему, которая позволяет использовать различные предположения о реальных выходных данных и применять технически похожие на контролируемое обучение методы.

Данный подход можно интерпретировать как обучение с подсказкой, где на первом этапе применяются методы машинного обучения для маркированных данных, а затем используются результаты модели для предположения о маркировке для всех остальных. Дальнейшие шаги такой модели схожи с контролируемым обучением.

Неконтролируемое обучение. В неконтролируемом обучении не используются маркированные данные, для обучения используются только входные данные без соответствующих выходных данных. Такой подход кардинально отличается от контролируемого обучения, так как вместо изучения взаимосвязи между входными и выходными данными, модель фокусируется на структуре, аномалиях и закономерностях исключительно во входных данных.

Одним из главных методов неконтролируемого обучения является кластеризация, в которой модель разделяет входные данные на группы. В качестве примера можно привести кластеризацию клиентов для анализа поведения и дальнейшую группировку клиентов на отдельные сегменты.

Другим примером применения неконтролируемого обучения является обнаружение аномалий. Модель берёт за основу нормальную структуру данных и, сравнивая все данные с этой структурой, находит отклонения. Так, при обнаружении мошенничества с кредитными картами, модель отмечает необычные траты клиентов. Обнаруженные случаи сильно отличаются от поведения типичного клиента, что и позволяет выявить случаи потенциального мошенничества.

Модели неконтролируемого обучения полезны в случаях, когда фокус направлен на изучения структуры данных, выявление взаимосвязей или сжатие информации. Множество моделей используется для решения задач неконтролируемого обучения, например метод k-средних для кластеризации данных и метод опорных векторов для поиска аномалий.

Обучение с подкреплением. Обучение с подкреплением фокусируется на взаимодействии с изменяющейся средой, в которой агент учится принимать решение, получая обратную связь о взаимодействии со средой.

В отличие от контролируемого или неконтролируемого обучения, обучение с подкреплением подразумевает обучение методом проб и ошибок. Во время каждого раунда система выполняет действия в среде, получает обратную связь в виде вознаграждения или штрафа и обратную связь для улучшения своих будущих метрик.

Обучение с подкреплением включает несколько основных компонентов: агент, среда, состояния и действие. Агент — это субъект, принимающий решения, который взаимодействует со средой, выполняя действия. Среда предоставляет из себя текущее состояние системы и выдаёт вознаграждение или наказание за действия агента. Вознаграждение представляет из себя

числовые значения, положительные вознаграждения поощряют определенные действия, в то время как отрицательные вознаграждения препятствуют им. Основная цель агента заключается в максимизации кумулятивного вознаграждения с течением времени.

Обучение с подкреплением активно используется во множестве задач, где требуется эволюционный подход к поведению системы (Neftci, Averbek, 2019). Наиболее очевидные сферы применения включают в себя различные роботизированные комплексы, но весь спектр применения покрывает различные задачи от изучения естественного языка до финансов. Так модели обучения с подкреплением могут оптимизировать торговые стратегии, обучаясь максимизировать доходность при управлении риском. Моделируя рыночные условия (Zhang и др., 2020), агенты могут тестировать различные торговые подходы и вносить изменения в стратегию для улучшения производительности.

Ключевые алгоритмы обучения с подкреплением включают в себя маркированные процессы принятия решений, Q-обучение, методы градиента политики. Каждый из этих подходов обеспечивает различные преимущества в зависимости от конкретной задачи.

Несмотря на некоторые схожести, обучение с подкреплением существенно отличается от многоагентных систем, так как агент в обучении с подкреплением представляет собой множество раундов обучения одной модели с целью максимизации метрики, в то время как многоагентные системы строятся на сложном взаимодействии множества агентов друг с другом и с окружением. Тем не менее, обучение с подкреплением может быть применено в многоагентной системе для улучшения методов взаимодействия агентов друг с другом и с окружающей средой.

В исследовании основную направленность играют алгоритмы контролируемого обучения, поскольку его цель заключается в определении основных факторов входных данных при наступлении кризисного события.

Многоагентные системы представляют собой другую область ИИ с фокусом на создании искусственной системы автономных сущностей, в которой сущности взаимодействуют друг с другом и с окружением (Abbas и др., 2015). Автономные сущности называются агентами, агенты взаимодействуют в среде для достижения индивидуальных или коллективных целей. В зависимости от логики и структуры системы агенты могут сотрудничать, конкурировать или действовать согласно независимым алгоритмам. Многоагентные системы относятся к ИИ, поскольку системы включают в себя сложные процессы принятия решений и координации, требующие интеллектуального поведения от каждого агента.

Многоагентные системы и машинное обучение представляют собой отдельные области искусственного интеллекта, хотя они могут пересекаться в определенных приложениях.

Машинное обучение в первую очередь направлено на нахождение особенностей структуры данных и прогнозирование. Модели машинного обучения используют данные обучения, но не включают в себя сложные взаимодействия между частями модели.

Многоагентные системы применяются для решения задач, которые одному агенту трудно или невозможно решить в одиночку. Сюда входит распределение ресурсов или децентрализованное управление. Примеры (Falco, Robiolo, 2019) включают в себя управление логистикой или роботизированными системами.

Исследования многоагентных систем часто фокусируются на общении между агентами. Агенты ведут переговоры и планируют свои действия, что является важнейшими компонентами интеллектуального поведения. На примере мультиагентной системы в трейдинге основные компоненты многоагентной системы могут быть описаны следующим образом.

Агенты: автономные сущности, способные воспринимать окружающую среду и предпринимать действия для достижения определенных целей. Они могут быть реактивными, проактивными или ориентированными на достижение формальной цели. В финансовой системе это может быть трейдер, который взаимодействует с финансовым рынком для совершения сделок, оптимизации доходности портфеля или снижения риска. Трейдер получает рыночные данные, анализирует данные и использует технический или фундаментальный анализ для оценки стоимости.

Окружение: общий контекст или пространство, где агенты действуют и взаимодействуют. В контексте примера окружением является финансовый рынок. Окружение формирует данные в реальном времени: о цене, экономических индикаторах и новостях, а также включает в себя ограничения, например, транзакционные издержки.

Механизм взаимодействия: структуры, определяющие, как агенты общаются и взаимодействуют. Логика, которая позволяет описать взаимодействие трейдера с другими трейдерами. Такое взаимодействие заключается в анализе действий (например, через изучение аналитических материалов) и общении путём мониторинга действий других игроков.

Цели и задачи: цели или задачи, которых стремятся достичь агенты. Они могут быть индивидуальными, коллективными или конкурентными. С точки зрения участника рынка возможно несколько целей для агента, например, максимизация прибыли или уменьшение рисков.

Архитектура управления: структура, управляющая поведением системы. Трейдер может получать информацию централизованно, например, работая в компании, либо децентрализованно, занимаясь торговлей на бирже независимо.

Обучение и адаптация: механизмы, которые позволяют агентам повышать свою производительность или адаптироваться к изменениям в окружающей среде. Примером обучения является анализ переключения рынка с периода падения цен на период роста.

Применение многоагентных систем многогранно. Эти методы исследования часто используются для проведения имитационных экспериментов, включающих в себя взаимодействие между людьми или институтами.

1.2.2. Искусственный интеллект и анализ современной экономики

Прежде чем описывать возможности применения техник искусственного интеллекта для практического анализа кризисов, необходимо в общих чертах рассмотреть более широкую тему, а именно – каким образом искусственный интеллект применяется для различных задач современной экономической науки.

Во-первых, стоит кратко описать применение моделирования в неоклассической экономической теории. Методологические основы ортодоксальной экономической теории включают в себя предположения о действии агентов. Во-первых, предполагается, что экономические агенты действуют рационально. Во-вторых, предполагаются, что предпочтения стабильны, а рынки стремятся к равновесию, где предложение равно спросу, и это равновесие служит точкой фокусировки для анализа.

Экономические теории этого направления проверяются на основе реальных данных. Эконометрика и статистические инструменты играют важную роль, а машинное обучение может использоваться в качестве альтернативного инструмента. С позитивистской точки зрения, теории ортодоксальной экономики оцениваются по их способности генерировать проверяемые гипотезы и делать точные прогнозы.

С точки зрения моделирования можно выделить две особенности. Большинство моделей этого направления строятся на эмпирических данных, а главный фокус направлен на поиск оптимальных параметров для нахождения равновесия того или иного рынка. Машинное обучение повлияло на такие экономические исследования, улучшив точность прогнозирования в определенных, нелинейных условиях. Модели машинного обучения используются для выявления закономерностей, обработки огромных наборов данных и повышения точности экономических прогнозов.

С другой стороны, модели, фокусирующиеся на шаблонах поведения без применения эмпирических данных, не распространены. Как результат, многоагентные модели применяются

ограничено, в основном для подтверждения уже эмпирически выявленных стилизованных фактов.

Международные организации, такие как организация Экономического сотрудничества и развития детально анализируют возможности и риски применения ИИ с точки зрения экономики и финансов. Так, согласно исследованию, проведённому в рамках ОЭСР²², независимо от типа модели существуют различные уровни взаимодействия ИИ с поставщиком финансовых услуг или конечным потребителем, и каждый из них сопряжен с разным уровнем риска. Эти различные уровни также могут обуславливать медленное внедрение ИИ в сфере экономики и финансов. ИИ может использоваться для помощи поставщикам услуг во взаимодействии с клиентами косвенным образом, например, для подготовки рекомендаций по распределению портфеля. Прямое участие в принятии решений, например, автоматическое выполнение рекомендации гораздо более рискованно, поскольку исключает человеческий фактор.

Внедрение искусственного интеллекта и цифровизации, их преимущества и риски, также можно рассмотреть с позиции национального суверенитета. Для российской экономики актуально следующее направление мысли при анализе взаимосвязи технологии и суверенитета (Пороховский, 2025): «Трудно также представить, как может в режиме реального времени функционировать российская экономика, объединяющая десяток часовых поясов, без национальной спутниковой и информационной системы, доступной в любом уголке страны. Между тем цифровизация наряду с технологической составляющей имеет немало других аспектов, среди которых выделяется финансовое ресурсное обеспечение, а также экономическое и социальное сопровождение. Роль этих сторон будет все больше возрастать по мере внедрения ИИ и других современных технологий.»

Рассмотрим основные современные направления использования машинного обучения и многоагентных систем, наработки которых могут быть применены для задач исследования кризисов.

Модели искусственного интеллекта объединяют различные источники больших данных, такие как новости, настроения в социальных сетях или спутниковые данные в высоком разрешении для улучшения прогнозов. Такие модели особенно интересны с точки зрения обработки больших потоков данных для отслеживания экономических изменений в реальном времени.

²² Generative artificial intelligence in finance (EN) OECD ARTIFICIAL INTELLIGENCE PAPERS December 2023 No. 9 // OECD URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/12/generative-artificial-intelligence-in-finance_37bb17c6/ac7149cc-en.pdf(дата обращения: 19.08.2025).

Первый блок применения искусственного интеллекта в экономическом моделировании строится на интеграции искусственного интеллекта для улучшения ядра современных экономических моделей и добавления поведенческого компонента в микроэкономические и макроэкономические модели. Примером здесь может служить обработка больших наборов данных, включающих в себя оценку ВВП (Yoon, 2021) и инфляции (Medeiros, 2021) для более точного прогнозирования тенденций по сравнению с традиционными эконометрическими моделями. Методы машинного обучения, например, случайный лес или байесовские методы, помогают найти улучшенные способы поиска причинно-следственной связи в экономических данных, особенно при работе с многомерными наборами данных. Модели могут использоваться для анализа влияния одних переменных на другие.

Микроэконометрические модели включают в себя оптимизацию различных моделей теории игр, включая модель аукциона (Hummel, 2016), поведение сотрудников компании и персонализацию поведения потребителя. Персонализация поведения (Shrirame, 2020) может фокусироваться на покупках, действиях в социальных сетях и данных опросов, помогая понять предпочтения потребителей и прогнозировать спрос на определённые товары и услуги.

Моделирование на основе многоагентных моделей даёт возможность учёным проверять различные сценарии изменения аспектов законодательства (Mamedov и др., 2020), наблюдать реакцию участников экономики на изменения и делать выводы исходя из поведения участников.

Следующее направление сфокусировано на анализе текстовых данных. Например, автоматический анализ финансовых отчётов и новостей для определения текущего настроения об экономике или финансах (Seng, Yang, 2017). Часто такие модели используются для оценки рыночной стоимости компании или для автоматической оценки влияния регуляторных или политических документов, таких как тексты пресс-конференций центрального банка или выступления политиков. Похожие модели используются для поиска эмпирических индикаторов более фундаментальных экономических моделей, например, анализ объявлений о вакансиях для выявления изменений спроса на труд, требований к навыкам и уровня заработной платы.

Далее идут финансовые модели для оценки риска или алгоритмической торговли. В этом направлении продвинутые модели машинного обучения используются при разработке адаптационных торговых алгоритмов (Bag, 2018), которые оптимизируют портфели и минимизируют риск. Также модели из этой категории используют исторические цены акций и финансово-бухгалтерскую отчетность, чтобы более эффективно оценивать риски.

Наконец, использование новых подходов к моделированию позволяет исследовать гораздо более сложные объекты исследования, покрывающие новые темы в экономической науке, а

также позволяющие взглянуть на текущие объекты с новой, мультидисциплинарной стороны. Например, анализ глобальных торговых потоков с помощью логистических моделей и спутниковых снимков (Gao и др., 2024) позволяет выявить тенденции в глобальной торговой политике и рассмотреть сбои в цепочке поставок. Анализ климатических изменений позволяет рассмотреть влияние климата, погодных изменений и катастроф на экономическую и социальную обстановку (Ko, Kwak, 2012), а также смоделировать выводы для экологической политики.

Список направлений исследования применения ИИ в экономических исследованиях можно продолжать, но в рамках данного исследования более актуально учитывать общие знания о применении ИИ в исследовании экономики и перейти к основным современным методам применения ИИ в исследовании цикличности и кризисов в экономике.

1.2.3. Искусственный интеллект как инструмент анализа экономических кризисов и циклического поведения

В этом разделе описываются основные современные подходы использования искусственного интеллекта для изучения циклического развития экономики.

Применение искусственного интеллекта для анализа экономических кризисов отличается от классических методов анализа цикличности своей способностью обрабатывать большие объемы данных, обнаруживать более сложные закономерности и анализировать динамические факторы, которые традиционные экономические методы могут упускать из виду.

Новые алгоритмы позволяют создавать системы раннего оповещения за счёт обработки большого объема данных в сжатые сроки, также они позволяют изучать плохо структурированные данные, такие как тексты, и извлекать важную информацию из них. Дополнительной особенностью применения алгоритмов искусственного интеллекта является возможность анализа данных в динамике с помощью динамического подхода к изменению структуры моделей в зависимости от новых данных.

Рассмотрим более подробно основные разделы для изучения циклического поведения и покажем основные современные научные доработки в каждом направлении.

Определение системного риска в экономике, моделирование процессов взаимосвязи финансового сектора и реальной экономики наиболее активно развивается во время и после кризиса 2007-2009 годов.

Используя для анализа большие, высокочастотные данные из множества источников, модели рассматривают цены на ключевые активы, данные по облигациям и задолжностям, а также показатели ликвидности финансовых учреждений для определения системных уязвимостей.

Самой очевидной областью применения моделей искусственного интеллекта является усиление моделей анализа циклов и макроэкономического прогнозирования.

Например, в этом контексте можно использовать метод (Pesaran, Smith, 2024), который проходит через большое количество потенциальных объясняющих переменных путем множественного тестирования по перебору коварианта (One Covariate at a time Multiple Testing, ОСМТ). В простейшей форме этот подход рассматривает статистическую значимость отдельных переменных по одной, выбирая те переменные, для которых соответствующие t-коэффициенты Стьюдента превышают заданный порог. Результаты ОСМТ легко интерпретируются, а сам алгоритм имеет общие основы с классическим статистическим анализом и быстр в вычислении. Исследователи (Chudik и др., 2018) провели большое количество экспериментов, сравнивая ОСМТ с линейными регрессиями с использованием функции штрафа (включая LASSO), и обнаружили, что ОСМТ хорошо работает по ряду измерений, особенно при устранении шумовых переменных, и уступает LASSO лишь в небольшой части экспериментов.

Сам выбор различных переменных варьируется в зависимости как от горизонта прогнозирования рецессии (Kiley, 2023), так и от рассматриваемой страны (Turner и др., 2018). Более современные подходы машинного обучения используют передовые вычислительные методы с обширными наборами данных, фокусируются не на том, как конкретные объясняющие переменные имеют значение, а выбирают необходимые переменные из большого объёма данных алгоритмически (Davis, Karim, 2008; Foulard и др., 2021; Holopainen, Sarlin, 2017; Hellwig, 2021).

Например, Алгоритм Doombot (Chaloux, Turner, 2024) напрямую проверяет множество комбинаций факторов. Такой алгоритм позволяет получить базовую оценку переменных для различных временных интервалов, используя меньшие затраты на обучение. Алгоритм Doombot обладает широким спектром методов машинного обучения, позволяющим рассматривать множество потенциальных объясняющих переменных, но также использует заранее определённые суждения для построения предпочтительных моделей, что улучшает их интерпретируемость.

Определённые типы нейронных сетей, рекуррентные нейронные сети и сети с долгой краткосрочной памятью хорошо подходят для анализа временных рядов и, следовательно, для анализа экономической цикличности. Такие модели позволяют оценивать и долгосрочные и

краткосрочные изменения, находя экономические подъемы и спады с большей точностью по сравнению с эконометрическими моделями, построенными на авторегрессии.

Для вычисления систематического риска для экономики активно используются нейронные сети, например с помощью интеграции нейронных сетей с VaR моделями (Keilbar, Wang, 2022). В качестве данных авторы используют ежедневную логарифмическую доходность акций выбранных системных банков с 4 января 2007 по 31 мая 2018, а также еженедельную доходность индекса S&P 500 и несколько значений облигаций Федерального резервного банка Сент-Луиса. Сравнивая полученные результаты с базовой моделью, авторы приходят к выводу что качество модели значительно улучшилось при добавлении компоненты искусственного интеллекта.

Одной из самых проработанных работ в этой сфере является работа Ванга и соавторов (Wang Z. и др). В работе используются данные национального бюро экономических исследований о рецессиях, данные Федерального резервного банка Сент-Луиса, данные о доходности Moody Aaa корпоративных облигаций, загрузке производственных мощностей в экономике, индексе промышленного производства, количестве людей, вовлечённых в сфере производства, а также цен на сырую нефть и индекс цен на ресурсы.

Используя эти данные, они создают продвинутую модель нейронных сетей BiLSTM-AA. С помощью этой модели авторы добились точности в 94.8% на своём наборе данных, более чем на 5% обгоняя классические алгоритмы выявления рецессий. Часть исследований фокусируется не только на предсказании наступления рецессии, но и на оценке значимости тех или иных факторов в наступлении рецессии.

Некоторые исследования фокусируются на изучении специфичных национальных систем, например, Аюдин и Кавдар (Aydin A. D., Cavdar S. C, 2015) анализируют турецкую экономику. Модель в статье использует данные за 298 месяцев с января 1990 г. по сентябрь 2014 г. В качестве баз данных используется система данных Национального банка Турции и Всемирного банка. Они демонстрируют эффективность нейронной сети в предсказании кризисных шаблонов турецкой экономики, используя семь различных переменных, включая курс доллара США, цены на золото, индекс Стамбульской фондовой биржи, индекс оптовых цен, денежную массу, объем внутреннего долга и композитный индекс экономических показателей.

Кроме нейронных сетей в анализе цикличности экономики активно используются древовидные модели машинного обучения, а именно деревья решений и бустинг. Такие модели позволяют проще определять значимость факторов и тратить меньше времени на обучение.

Деревья решений. Дерево – модель, которая рекурсивно разделяет пространство входных факторов, разбивая каждый фактор на определённые классы или отрезки значений. Одно из

ключевых преимуществ деревьев базируется на интерпретации входных факторов. Пути принятия решений можно показать графически, что улучшает понимание процесса принятия решений. Деревья активно применяются (Wang и др., 2020) для анализа экономических кризисов и часто комбинируются с другими моделями.

С технической точки зрения дерево решений представляет собой древовидную структуру, состоящую из:

- Внутренних узлов, представляющих из себя функцию преобразования данных.
- Ветвей, содержащих в себе результаты применения функций, правила принятия решений.
- Листовых узлов, включающих в себя метки классов или непрерывные значения регрессии.

Дерево начинается со всего набора данных в корневом узле. Далее набор данных разбивается на ветви. Процесс повторяется до выполнения критериев остановки.

Оптимизация деревьев решений в первую очередь фокусируется на выборе наилучшего разделения в каждом узле. Цель состоит в том, чтобы разделить данные таким образом, чтобы максимизировать однородность полученных узлов. Для оптимизации на каждом узле используются несколько алгоритмов на выбор: индекс Джини, теоретико-информационный критерий, основанный на изменении информационной энтропии, или уменьшение дисперсии выборки.

Для процесса обучения обычно используются жадный алгоритм или рекурсивное секционирование.

В случае жадного алгоритма лучшее разделение выбирается на каждом этапе без учета будущих разделений. Эта локальная оптимизация не гарантирует поиск оптимальных коэффициентов дерева, но весьма эффективна с вычислительной точки зрения. Рекурсивное секционирование рекурсивно разбивает набор данных на подмножества, создавая ветви и листовые узлы до тех пор, пока не будет выполнено условие остановки. Описывая деревья решений, нужно заметить важную роль в контроле параметров построения дерева с помощью различных процедур, а именно с помощью отсечения максимальной глубины и контроля минимального размера выборки на каждый узел и максимального количества узлов в дереве.

Бустинг. Представляет из себя комбинацию небольших моделей (слабых моделей), которые взаимодействуют друг с другом по принципу ансамблевого метода. Основная идея бустинга заключается в последовательном обучении небольших моделей, где каждая последующая модель фокусируется на улучшении худших результатов предыдущей модели, что постепенно

увеличивает общую производительность. Бустинг активно используется в сфере анализа кризисных явлений и позволяет достичь существенных результатов в точности предсказания. В частности показано, что RusBoost достигает лучших результатов для системы раннего обнаружения кризисов (Tarkocin, Donduran, 2024).

Оптимизация процесса построения моделей бустинга зависит от выбранного типа модели. Модели можно условно разделить на две части: выпуклые и невыпуклые алгоритмы бустинга. Выпуклые оптимизируют выпуклую функцию потерь. Сюда входят наиболее известные алгоритмы бустинга, такие как AdaBoost, оптимизирующий экспоненциальную функцию потерь, и XGBoost, оптимизирующий одну из выпуклых функций потерь на выбор. Основной плюс использования выпуклых алгоритмов заключается в достижении глобального минимума и более эффективной оптимизации, так как алгоритмы выпуклой оптимизации хорошо изучены и обеспечивают более быструю сходимость.

Невыпуклые алгоритмы более редки, включают в себя расширенный XGBoost, а также IPBoost. Плюсы применения невыпуклых алгоритмов заключаются в гибкости поиска решений в более сложном пространстве ошибок и хорошую устойчивость к выбросам и шуму в данных. Тем не менее, невыпуклая оптимизация может содержать локальные минимумы и неоптимально вести себя с точки зрения вычислительной эффективности.

Одним из наиболее важных аспектов ансамблевых моделей является механизм голосования. В бустинге используется взвешенное голосование, при котором каждой слабой модели присваивается вес, обусловленный её производительностью. В процессе обучения каждая модель получает вес в голосовании в зависимости от достигнутого значения ошибки, а финальное предсказание основывается на взвешенном предсказании всех моделей.

Для бустинга также важно ограничение максимальной глубины каждой слабой модели и размера выборки.

При использовании машинного обучения для анализа экономической цикличности большую роль играет важность переменных и относительная значимость переменных по отношению друг к другу. Один из способов градации переменных – ранжирование переменных по значимости с помощью статистических тестов и методов машинного обучения. Для экономики части стран ЕС (Bašić, Globan, 2023) в список значимых переменных входят: кривая доходности, отношение баланса счета текущих операций к ВВП, реальный индекс цен на недвижимость, коэффициент самофинансирования коммерческих банков, номинальный эффективный обменный курс, размер мирового экспорта и ставка LIBOR. Другие работы используют более широкое применение объясняющих переменных и расширенные источники данных. Авторы показывают (Tölö, 2020),

что цены являются ключевым фактором прогнозов модели при перекрестной проверке из рассматриваемого набора переменных: отношение кредита и ВВП, цены на акции, цены на жилье, отношение счёта текущих операций к ВВП и объём ВВП.

Более технологически сложный способ определения влияния конкретных входных показателей на результат для моделей строится на комплексных технологических методах, например LIME и SHAP. Одна из работ (Chung, 2023) показывает влияние переменных на предсказание рецессии и показывает, что для среднесрочной перспективы наибольшее влияние оказывает инверсия кривой доходности и индекс цен производителей.

Методы неконтролируемого обучения, такие как кластеризация, также используются для обнаружения кризисных явлений. Анализируя исторические данные, исследователи обнаруживают периоды сильного отклонения от фундаментальных значений на рынке ценных бумаг (Göbel, Araújo, 2020). Такие выбросы зачастую сигнализируют о сильной переоценке активов в экономике, которая может предшествовать краху.

Моделирование влияния регуляторных и политических изменений также позволяет тестировать эти изменения для оценки их потенциального воздействия на кризисы. Для проведения такого контрфактуального анализа используются различные методы продвинутого машинного обучения и многоагентных систем. Например, методы обучения с подкреплением позволяют применять динамичный подход (Hinterlang, Tänzer, 2021) к изменению денежно-кредитной или фискальной политики. Такой подход адаптивно реагирует на изменение экономических условий в реальном времени. Близким подходом является проведение стресс-тестов, машинное обучение используется в процессе моделирования устойчивости институтов к потрясению с фокусом на макроэкономические показатели, такие как резкий рост процентных ставок.

Следующим большим направлением, требующим использования сложных структур, является сетевой или графовый анализ, построенный на взаимодействии множества факторов экономики различного уровня. После международного финансового кризиса активно начали применяться модели анализа финансового риска, распространённого между финансовыми институтами (Cassioioli и др., 2018). Например, если банк объявляет дефолт, модель машинного обучения или многоагентная система может смоделировать влияние дефолта на другие банки в экономике, оценивая возможность каскадной реакции системы. Существуют похожие модели, оценивающие влияние международных потоков капитала, изменения международных регуляторных правил и курса валют для оценки глобальных экономических связей. Такие

системы особенно актуальны для кризисов, приобретающих международный характер, так как уязвимость во взаимосвязанных экономиках и позволяет оценить распространение эффектов между странами и регионами. Трансграничные модели позволяют понять, как тарифы, сбои в логистике и другие экономические потрясения могут влиять на международную экономику.

Несомненно, важным и новым для моделирования экономических явлений аспектом является возможность систем искусственного интеллекта получать информацию, анализировать и адаптировать свою структуру в режиме реального времени. В рамках исследования циклов и кризисов, таким направлением являются системы раннего оповещения и прогнозирования кризисов.

Многоагентные системы и машинное обучение используются для обнаружения ранних признаков экономических кризисов путем включения в свою структуру широкого спектра экономических показателей (Casabianca и др., 2019), таких как темпы роста ВВП, уровни безработицы, валютные резервы, уровень инфляции, индексы потребительской уверенности и деловых настроений, настроений новостей и социальных сетей и соотношение долга к ВВП.

Также, говоря о применении искусственного интеллекта, нельзя не упомянуть о неструктурированных данных, использование которых в рамках классических подходов практически невозможно. Методы обработки естественного языка (Chen и др., 2023) применяются к медиа, пресс-релизам компаний и социальным сетям для оценки настроений участников экономики. Такие оценки могут указывать на чрезмерный пессимизм или оптимизм, что может показывать потенциальные кризисы или спады. Кроме этого, иногда применяются даже такие нестандартные данные как изображения. Например, с помощью анализа изображений нейронные сети могут обрабатывать спутниковые снимки (Dasgupta, 2022) для оценки экономической активности.

1.3. Теории экономических циклов и системно-воспроизводственный подход

1.3.1. Из истории современных теорий циклического развития

Изучение цикличности в экономике являлось одной из образующих тем экономической науки с момента ее зарождения в XVIII веке. До создания экономической науки в современном её понимании идеи экономических кризисов и циклов широко обсуждались в рамках философских или практических рассуждений. Несмотря на то что такие идеи не имели проработанной теоретической базы, они демонстрировали первые наработки в понимании кризисных явлений.

На протяжении нескольких веков экономическая теория кризисов развивалась в различных конкурирующих направлениях (Цветков, 2020). Карл Маркс фокусировался на доминирующей роли кризисов перепроизводства. Согласно Марксу, частная собственность на средства производства вступает в усиливающееся противоречие с усилением общественного характера производства (Маркс, 1952, с. 764–767), кризисы наступают как результат этого противоречия (Маркс, 1951b, с.275-277). Джон Мейнард Кейнс, рассматривая проблему Великой депрессии XX века, пришел к выводу, что основным источником циклов являются неожиданные колебания спроса (Кейнс, 1948, с.309-314), вызванные ограниченной рациональностью инвесторов. В период кризиса спрос снижается, механизм ценообразования не способен обеспечить должную координацию, а потребители не могут приобрести все произведенные товары. Кейнс считал, что правительство должно компенсировать нехватку спроса в экономике, увеличивая государственные расходы. Альтернативное объяснение предложила теория монетаризма Милтона Фридмана. Согласно монетаризму, кризисы создаются резким сокращением денежной массы. Деньги используются как средство расчета и платежа в экономике. Если денежной массы недостаточно, то экономические агенты не могут совершать транзакции, что приводит к удорожанию кредита. Рост процентных ставок делает инвестиции более дорогими и в конечном итоге замедляет рост (Friedman, Schwartz, 1963, с.689-700).

В одном из своих исследований А.А. Пороховский рассматривает глубинные политико-экономические характеристики кризиса. Автор (Пороховский, 2009) выделяет несколько специфичных черт современного кризиса: распространение на всех уровнях национальной и глобальной экономики, неизменность политэкономических основ капитализма, ограниченность влияния информационных технологий и обособление роли и функции финансового сектора.

А.В. Бузгалин и А.И. Колганов рассматривают (Бузгалин, Колганов, 2009) кризис 2007-2009 гг. через призму основного противоречия капитализма. В современном мире перенакопление капитала приобретает новые формы. Перенакопление капитала возникает в обособленном финансовом секторе и переходит в сектор реальный. Развитие информационных технологий сделало возможным развитие финансового капитала и как виртуального капитала, динамично меняющего права собственности и создающего новые возможности для спекуляции. Значимая роль такого капитала и отличает природу кризиса от предыдущих.

К.А. Хубиев (Хубиев, 2009) оценивает системные особенности кризиса, фокусируясь на постсоветской экономике Российской Федерации. Поднимая вопрос сложностей и противоречий между различными группами интересов, автор предлагает ряд изменений для экономической политики. Предлагая новую стратегию модернизации, рассматривается тема неэффективности

текущей системы из-за чрезмерного влияния финансового капитала и неэффективной бюрократии. В рамках новой стратегии решением является проведение масштабных и эффективных изменений инновационной направленности, создающих социально-ориентированную экономику.

Ниже более подробно рассмотрим основные релевантные направления в рамках экономической теории.

Классическая политэкономическая теория была первой теорией, которая рассматривала кризис как один из самых значимых элементов в экономике.

Классические политические экономисты, такие как Адам Смит, Давид Рикардо и Жан-Батист Сэй, заложили основу для понимания того, как функционируют капиталистические экономики. Их работа была сосредоточена на производстве, распределении и роли труда и капитала в создании богатства. Однако они, как правило, не считали кризисы неизбежными. Вместо этого они считали, что рынки стремятся к равновесию посредством конкуренции и корректировки цен.

Зарождение теорий кризисов в рамках политической экономии можно проследить в работах Жана Шарля Сисмонди (Сисмонди, 1937, с.316), который опровергает закон автоматического балансирования спроса и предложения Жана-Батиста Сэя и приходит к выводу, что кризисы являются неотъемлемой частью процесса товарного производства. Согласно его утверждениям, одной из основных причин появления кризисов является нерациональное распределение доходов (Зыченко, 2013), так как уменьшение дохода уменьшает и спрос на товары.

Одновременно с Сисмонди активно работал Томас Мальтус (Malthus, 1836). Он поверхностно рассматривает роль непродуктивного труда и недостаточного потребления в качестве причин экономического кризиса. Однако его теория недопотребления не подчеркивала ограниченную покупательную способность рабочего класса или крестьянства. Вместо этого Мальтус считал, что необходимый спрос может быть поддержан «непроизводительным» потреблением непроизводящих классов, таких как военные, духовенство и государственные служащие. Более того, он считал, что без расходов этих непроизводящих классов полная реализация общественного продукта была бы невозможна.

В полноценном смысле теория кризисов с политэкономической точки зрения начала развиваться с работ Карла Маркса и Фридриха Энгельса. Данное направление предполагает с одной стороны – имманентность кризисов для капиталистической системы (Маркс, 1952, с.456-460), а с другой стороны – ставит во главу угла переход к бескризисному развитию путем смены общественно-экономической формации (Маркс, 1951b, с.789).

Н.А. Цаголов таким образом описывает неизбежность экономических кризисов: «Главная причина экономических кризисов и заключена в основном противоречии капитализма. <...> Противоречие между производством и потреблением неотделимо от капитализма» (Цаголов, 1973, с.551-553). Циклические кризисы капитализма рассматривались как результат перенакопления капитала и эксплуатации рабочих, свойственный капитализму из-за противоречия капиталистического производства между общественным характером производства и частным капиталистическим присвоением (Белоусов, Бирюков, 2011). Вытекающие из данного противоречия факторы выражены в тенденции нормы прибыли к снижению, перепроизводстве товаров и недопотреблении.

После Маркса фундаментальное развитие политэкономической интерпретации кризисных явлений продолжает развиваться. Например, Роза Люксембург рассматривает (Люксембург, 1934, с.259) необходимость постоянного присутствия некапиталистической компоненты в международных отношениях, так как часть прибавочной стоимости, предназначенной для капитализации, должна быть реализована на внешнем рынке. Таким образом, капиталистические страны одновременно усиливают свою конкуренцию за доступ к некапиталистическим регионам, а включение большего количества стран в капиталистическую систему усугубляет противоречия, усиливая кризисы.

Современным продолжением направления является мир-системный анализ, разработанный Иммануилом Валлерстайном (Wallerstein, 1974). С этой позиции, основные черты экономического кризиса, такие как финансиализация (Дзарасов, 2023), могут быть объяснены с помощью анализа дисбаланса спроса и предложения в глобализированном мире.

На сегодняшний день политэкономическое направление является самым фундаментальным с точки зрения оценки причин и последствий экономических кризисов. Оно активно развивается, включая в себя новые направления. Наработки данного подхода используются и в диссертации для описания теоретической части исследования.

Неоклассические теории конца XVIII и начала XX века продолжали развивать направление, постулируемое законом Сэя. К примеру, Альфред Маршалл фокусировался на анализе равновесия на рынках (Marshall, 2013, с.287), а цикличность воспринималась как временное явление.

Согласно позиции неоклассических экономистов, экономические колебания представляют собой в первую очередь результат внешних потрясений или временных противоречий рынка, а не внутренних недостатков самой капиталистической системы. Цены, заработная плата и процентные ставки являются гибкими, и при отсутствии государственного вмешательства или

внешних потрясений экономика естественным образом движется к полной занятости и равновесию.

Центральными идеями в неоклассической школе является акцент на рациональность индивидуума, а также на предельный анализ. Находясь в условиях совершенной конкуренции, потребители максимизируют полезность, а фирмы максимизируют прибыль. В такой системе ресурсы распределяются эффективно, а любое отклонение от оптимальных результатов считается временным. Экономические спады и подъёмы рассматриваются как краткосрочные нарушения равновесия, а не как долгосрочные системные сбои.

Методологический подход поиска равновесия (Сироткин, 2017), основанный в рамках данного направления, в дальнейшем стал основным подходом всей ортодоксальной экономической теории.

С точки зрения экономических колебаний, интересной представляется временная классификация рыночных периодов равновесия на мгновенные, краткосрочные и долгосрочные. В краткосрочной перспективе некоторые цены и объёмы производства могут не полностью адаптироваться из-за различных ограничений или задержек, но в долгосрочной перспективе считается, что силы спроса и предложения восстанавливают равновесие. Эта концепция способствовала формированию представления о самокорректирующихся экономических циклах, где спады естественным образом сменяются подъёмами.

Теория общего равновесия, разработанная Леоном Вальрасом (Вальрас, 2000), также имеет важное значение для неоклассической мысли и для анализа цикличности с позиции неоклассики. Согласно этой теории, рынки в экономике взаимосвязаны, а общее равновесие может быть достигнуто, когда рынки одновременно достигнут равновесия.

Кроме того, неоклассические экономисты обычно признают закон Сэя и считают, что производство изначально генерирует доход, достаточный для покупки произведенных товаров. Таким образом, устойчивое перепроизводство считается маловероятным в нормальных условиях. Такие аспекты кризиса как безработица или недопроизводство вызываются временными диспропорциями на рынках труда или товаров, а не дефицитом совокупного спроса.

Неоклассическая школа скептически относится к необходимости государственного вмешательства для управления экономическими циклами. Так как рынок изначально является эффективным и саморегулирующимся, большинство усилий государства по стабилизации экономики считаются либо чрезмерными, либо вовсе контрпродуктивными.

Австрийская школа начала XX века, яркими представителями которой являются Людвиг фон Мизес и Фридрих Хайек, возводит в абсолют идею неоклассической экономики о

автоматической регуляции рынка для избегания экономических кризисов. Представители данной школы считали, что самым главным противником в процессе ослабления кризисных явлений является некорректное поведение органов государства. Так теория торгового цикла Хайека предполагает (Науек, 1933, с.16-23; Хутидзе, 2015) некорректное распределение ресурсов во время кредитной экспансии. Распределение ресурсов и приводит к неизбежному спаду, следующему из устранения неустойчивых инвестиций. В качестве корня проблемы представители школы видели искажения в структуре капитала, вызванные искусственной процентной ставкой, некорректно выставленной центральным банком.

В основе австрийской теории экономических циклов лежит концепция ошибочных инвестиций, которые кажутся прибыльными только из-за искаженных процентных ставок, вызванных вмешательством центрального банка или кредитной экспансией банков.

Сторонники школы утверждают, что процентные ставки на свободном рынке служат важнейшим сигналом для координации решений о сбережениях и инвестициях в экономике. При увеличении сбережений откладывается потребление, что ведёт к освобождению большего капитала для долгосрочных инвестиций. Это естественным образом приводит к снижению процентных ставок, сигнализируя о готовности экономики поддерживать долгосрочные, более капиталоемкие производственные процессы. И наоборот, если люди предпочитают текущее потребление, процентные ставки остаются высокими, что препятствует долгосрочным инвестициям.

С точки зрения австрийской школы, кризис представляет из себя неизбежную фазу коррекции, в ходе которой рынок пытается перераспределить ресурсы в соответствии с реальными потребительскими предпочтениями и реальными сбережениями. Этот спад — не какой-то вызванный извне шок, а необходимая реакция рынка на предыдущие нерациональные ассигнования, вызванные искусственным кредитованием.

Такая фаза является очищающим периодом, неэффективные или неустойчивые проекты ликвидируются, компании с чрезмерной закредитованностью терпят крах, а рабочая сила и капитал перераспределяются в сторону более производительных и устойчивых целей. Попытки отсрочить или избежать этой коррекции, такие как дальнейшее стимулирование, финансовая помощь или кредитные вливания рассматриваются лишь как отсрочка, ведущая к ухудшению окончательного результата.

Экономисты австрийской школы особенно критически относятся к центральным банкам и фиатным деньгам. Они утверждают, что центральные банки, манипулируя процентными ставками и расширяя кредит без обеспечения реальными сбережениями, являются основной

причиной цикла бумов и спадов. Согласно австрийской школе, в свободной банковской системе без присутствия центральных банков и с товарами в качестве денег (например, золото), кредитная экспансия естественным образом ограничивается реальными сбережениями и предотвращает спекулятивные пузыри.

При этом сторонники этого направления отвергают контрциклическую политику, включая увеличение государственных расходов и смягчение денежно-кредитной политики во время рецессий. Они утверждают, что такая политика препятствует необходимому процессу коррекции, продлевая болезненные ощущения и часто создавая условия для будущих кризисов. Вместо этого австрийская школа выступает за политику невмешательства в рецессии, допуская банкротства и проводя свободную корректировку цен и заработной платы. Таким образом, согласно данному направлению, экономика должна сама вернуться на путь устойчивого роста благодаря естественным корректировкам.

Кейнсианская теория основана Джоном Мейнардом Кейнсом. Позиция Кейнса противопоставлялась позиции исследователей австрийской школы. Согласно этой позиции (Кейнс, 1948), современная экономика не в состоянии корректироваться самостоятельно, что приводит к затяжным периодам кризисов. Из-за колебаний совокупного спроса возникает кризис, но на совокупный спрос в свою очередь влияют изменения в инвестициях, потреблении и ожиданиях. Решением проблемы является активное вмешательство государства с применением динамической денежно-кредитной политики и фискальной политики.

В отличие от приверженцев классических идей, которые включают в себя применение закона Сэя, кейнсианцы отвергают представление о полной занятости как естественном состоянии экономики. Недостаточный совокупный спрос может привести к длительным периодам высокой безработицы и недостаточному использованию производственных мощностей.

На стадии роста потребители и предприятия настроены оптимистично. Инвестиции и потребление растут, ускоряя общий рост. Это приводит к росту занятости и доходов, а также к увеличению объёмов производства. Однако Кейнс признавал, что этот рост может быть нестабильным. Слишком быстрый рост спроса может привести к инфляции или чрезмерным инвестициям в определённые секторы, что в конечном итоге сделает бум неустойчивым. В отличие от неоклассической и австрийских школ, Кейнс не считал, что бум ведёт к неизбежному падению из-за структурных ошибок в инвестициях или внешних шоков. Вместо этого он фокусировался на психологических факторах поведения экономических агентов, которые он называл «жизненным духом» и которые являются движущей силой инвестиционных решений.

Так, оптимизм на рынке может внезапно смениться пессимизмом, что может спровоцировать спад.

В общем, экономический кризис у кейнсианцев возникает, когда происходит резкое падение совокупного спроса. Такое падение может быть вызвано рядом причин, включая сокращение инвестиций из-за пессимизма по отношению к будущему, снижение доверия потребителей или внешние потрясения. Во время падения спроса предприятия сокращают производство и увольняют сотрудников. Это снижает доходы, что ещё больше снижает спрос, создавая усиливающийся кризисный цикл.

Согласно Кейнсу, такой цикл усиливается и сохраняется в течение длительного времени без вмешательства. Более того, заработная плата и цены являются «липкими», то есть они не сразу и не полностью реагируют на изменения в спросе и предложении. Такая особенность препятствует автоматической коррекции рынка, которая могла бы восстановить полную занятость. В результате экономика может застрять в длительном периоде высокой безработицы и неэффективного использования ресурсов, попав в состояние рецессионного разрыва. Во время рецессий сохраняется уровень заработной платы, но количество рабочих мест уменьшается из-за дефицита совокупного спроса. Даже если предположить ситуацию гибкости заработной платы, в экономике произойдёт снижение заработной платы, что в свою очередь снизит покупательную способность работников, что ещё больше сократит спрос. Таким образом, гибкости заработной платы недостаточно для борьбы с безработицей.

Более того, кейнсианцы считают, что цикличность является неотъемлемой частью капиталистической экономики и обусловлена колебаниями совокупного спроса и ожиданий. Решение проблемы разрушительного воздействия экономических кризисов кейнсианцы находят в активном вмешательстве государства.

Используя понятие мультипликатора, они оценивают многократное увеличение объёма производства за счёт изменения расходов, например, государственных инвестиций. Этот мультипликативный эффект помогает объяснить, как небольшие изменения в инвестициях или политике могут оказывать значительное влияние на экономику в целом, особенно в периоды спадов.

Кейнс активно выступал за контрциклическую фискальную политику, увеличивая государственные расходы или снижая налоги во время падения, а также сокращая расходы или повышая налоги во время подъёмов.

Таким образом, существуют следующие направления действий во время спадов и роста. Во время фазы спада государство должно увеличивать траты, даже если это потребует увеличить

бюджетный дефицит, активно инвестировать в общественные работы (например, строительство дорог), а также снижать процентные ставки для стимулирования инвестиций. Во время подъёма государство может принять решение о сокращении расходов и повышении налогов для охлаждения экономики.

Одно из направлений развития кейнсианства называется посткейнсианством. Посткейнсианство сформировалось в 1970-х годах как ответ на новые вызовы кейнсианству в стагфляционной экономической ситуации. Характерным примером посткейнсианского направления, связанного с кризисами, является гипотеза финансовой нестабильности Мински. Согласно гипотезе финансовой нестабильности Хаймана М., спекулятивные пузыри и использование кредитного плеча порождают кризисные явления (Кулигин, 2012).

Монетаристские и новые классические взгляды

Милтон Фридман, основатель монетаристской школы, рассматривал основную причину возникновения кризиса в проблемной денежно-кредитной политике (Friedman, Schwartz, 1963, с.689-700; Rothbard, 2002), связанной с неэффективным управлением денежной массой. Согласно этому подходу, устойчивый рост денежной массы может предотвратить кризисы.

Для этого подхода деньги являются ключевым аспектом экономической динамики. Стабильное и предсказуемое увеличение денежной массы приводит к стабильному экономическому росту и низкой инфляции, некорректное изменение денежной массы, не соответствующее реальному росту производства, ведёт к усилению цикличности.

Когда центральный банк увеличивает денежную массу слишком быстро, в распоряжении потребителей оказывается повышенное количество денег. Люди увеличивают расходы, стимулируя спрос и выпуск в краткосрочной перспективе, увеличивая экономический рост и снижая уровень безработицы. Однако за повышением спроса следует повышение предложения. Далее происходит рост инфляции, а после корректировки инфляционных ожиданий стимулирующий эффект ослабевает и рост заканчивается. Дальнейшее сокращение денежной массы для борьбы с инфляцией может повернуть экономику в обратную сторону, спровоцировав рецессию.

Таким образом, с монетаристской позиции существует цикл неэффективного управления денежной массой, когда чрезмерное расширение денежной массы сменяется резким сокращением, что и приводит к подъемам и спадам цикла.

С точки зрения монетаристов, для предотвращения негативных аспектов цикличности государство должно фокусироваться на стабильной денежно-кредитной политике. Во-первых, центральный банк должен ежегодно увеличивать денежную массу по постоянной фиксированной

ставке, равной долгосрочным темпам роста реального ВВП. В этом случае рынки не будут постоянно адаптироваться к неожиданностям, связанным с политикой. Во-вторых, нужно ограничить роль фискальной политики, так как фискальная политика часто проводится несвоевременно и может вытеснять частные инвестиции. Наконец, пересматривая концепцию кривой Филлипса, монетаристы делают вывод, что любая попытка сократить безработицу ниже естественного уровня с помощью увеличения совокупного спроса приведет лишь к ускорению инфляции с течением времени, а не к устойчивому росту занятости.

Новые классические экономисты фокусируются на рациональных ожиданиях и продолжают поддерживать идею эффективности рынка. Они видят кризисы через призму ответа на неожиданные потрясения, а не как системные сбои.

Теории эндогенных циклов

Теории эндогенных экономических циклов объясняют цикличность как внутреннее свойство экономической системы, а не как следствие внешних факторов.

Эндогенный подход исходит из предпосылки, что источники колебаний заложены в самой структуре и динамике рыночной экономики. Такие факторы как инвестиционная активность, накопление капитала, амортизация, технологические инновации, производительность труда и изменение спроса формируют внутренние ритмы экономического роста. Эндогенные концепции стремятся выявить закономерности самовозобновляющихся флуктуаций, возникающих в процессе воспроизводства.

К числу наиболее влиятельных представителей этого направления относятся такие исследователи как Жюгляр К. (Juglar C.), Кузнец С. (Kuznets S.), Китчин Д. (Kitchin J.), Н.Д. Кондратьев, Шумпетер Й. (Schumpeter J.), Домар Е. (Domar E.) и Харрод Р. (Harrod R.). Каждый из них внёс вклад в понимание циклов разной природы и продолжительности от краткосрочных колебаний, связанных с изменениями в запасах и инвестициях, до долгосрочных технологических волн и структурных трансформаций.

Например, циклы Кондратьева (Канапухин, Масленников, 2010) основываются на долгих этапах технологических прорывов длиной 40-60 лет. Циклы Кузнеца (Болвачев, Кушнарев, 2020) построены на обновлении основных технологий. Строительные циклы и демографические изменения длятся 15-25 лет. Циклы Жюглара (Grinin и др., 2010) связаны с задержками в инвестициях в основной капитал с периодичностью от 7 до 11 лет. И, наконец, циклы Китчина (Kitchin, 1923) основаны на временных задержках в движении информации о запасах в частном секторе длиной в 3-5 лет.

Все эти факторы можно рассматривать отдельно, дополняя и совершенствуя каждое исследование. Например, стоит уделить особое внимание демографическим факторам, изменения которых за последние десятилетия оказывают большое влияние на цикличность (Хубиев, 2012).

Домар (Domar, 1947) рассматривает динамику как взаимодействие текущего потребления и инвестиций. Если производственные мощности растут быстрее, чем спрос, то возникает избыток предложения, спад активности и безработица. Напротив, избыточный спрос при недостатке мощностей может породить инфляционные перегревы. Таким образом, дисбаланс между функциями инвестиций и становится основным источником циклических колебаний в модели Домара.

Согласно теории экономической динамики Харрода (Харрод, 1999), три основные макроэкономические показателя формируют динамику экономики. Смещение равновесия между численностью рабочей силы, доходом на душу населения и величиной накопленного капитала создаёт колебания экономики.

Говоря о развитии теорий эндогенных циклов, нельзя не подчеркнуть роль С.М. Меншикова в развитии теории циклов Кондратьева. После участия в 1961 году в конференции по циклам в Праге (Клименко, 2015) он формирует новую трактовку изменения экономического цикла, считая, что цикл трансформируется под влиянием внутренних механизмов развития капитализма и структурных сдвигов в экономике: технической революции, роста монополизации, государственного регулирования и влияния рабочего движения.

Далее он совместно с Л.А. Клименко продолжает активно работать над моделями экономических циклов (Меншиков, Клименко, 2014). Разрабатывая эконометрическую модель длинного цикла, они связывают показатели темпов роста нормы прибыли, капиталовооруженности и производительности труда.

Рассматривая влияние нормы прибыли в производстве компании, они оценивают значение спекуляций, масштаб которых существенно возрос в силу развития коммуникационных технологий. Недостаток потребления в развитых странах замещается ростом потребления в развивающихся. Такая ситуация уменьшала мотивацию вкладываться в новые рискованные технологии и даже в улучшение текущих продуктов.

В целом, работы Меншикова во многом дополняют работы Кондратьева. Например, длинные волны рассматриваются как периоды глубинных структурных трансформаций, а смены технологических укладов, индустриальных моделей, институтов и социально-экономических форм можно проследить по базисным технологическим инновациям, фиксируемым

эмпирически. У Меншикова обновлённые товары длительного пользования являются маркерами технологических инноваций. Периодичность цикла привязана к конкретным инновациям и варьируется от периода к периоду. Наконец, сами инновации имеют сложную структуру классификации, а статистика патентов и нововведений прослеживается эмпирически.

В.В. Попов рассматривает особенность реалий развитых капиталистических экономик на изменения динамики нормы прибыли и отмечает роль монополизации (Попов, 1989, с.126-129) и активного государственного антициклического регулирования (Попов, 1989, с.151).

Некоторые современные авторы (Чалдаева, Килячков, 2012) предлагают нелинейную динамическую модель, базируясь на идеях волн. Исследование унифицирует различные экономические циклы и позволяет выявлять новые циклы с помощью компьютерного моделирования.

А.В. Коротаев и С.В. Цирель (Коротаев, Цирель, 2009) анализируют особенности применения волн Кондратьева и описывают взаимосвязь между количеством изобретений, выданных патентов и фазами волны. Таким образом, исходя из самой логики теории инноваций, имеются достаточные основания ожидать снижения относительного числа изобретений (и выданных патентов) на нисходящих фазах К-волн, и выраженного роста их числа на восходящих фазах, когда некоторое снижение числа прорывных инноваций с лихвой компенсируется колоссальным ростом числа улучшающих инноваций.

Актуальной трактовкой является и оценка нового цикла технологического развития, NBIC-конвергенции (N – нано, В – био, I – инфо, С – когно). Согласно этой интерпретации (Прайд, Медведев, 2008), происходит выход возможностей человека на следующий уровень с запуском активной фазы этого цикла.

В качестве идейного последователя теории длинных волн можно назвать Шумпетера (Загидуллина, Соболев, 2014). Для него инновации это – “вихрь созидательного разрушения”, а конкуренция и борьба за сферы влияния ускоряют долгосрочный процесс развития, при этом основным проводником этих изменений является предприниматель. Циклы Шумпетера предполагают, что инновации и новые технологии являются двигателем экономического роста и приводят к циклическим изменениям в экономике. Эта теория подчеркивает важность инвестиций в исследования и разработке, приводящих к созданию новых товаров и услуг и обеспечивающих долгосрочный рост экономики.

Актуальным дополнением к циклам технологического развития в цифровую эпоху являются наработки Л.В. Канторовича (Козырев, 2011). Рассматривая научно-технический прогресс через призму самоорганизации и нелинейной динамики, предлагается оригинальный подход к

моделированию прогресса с использованием понятий синергетики и концепций из теории информации. Особое внимание уделяется роли цифровых технологий, поскольку они выступают катализатором новых этапов развития. Также особая роль отводится цифровой экономике как особой фазе в динамике общественного развития.

В настоящее время продолжают проводиться исследования по изучению длинноволновых колебаний экономики и замещению технологических укладов. С.Ю. Глазьев вводит понятие технологического уклада как воспроизводственного контура, описывающего сложную структуру производств (Глазьев, 2012).

Современные теории, разработанные в последние десятилетия XX века, построены на интеграции идей различных направлений и мультидисциплинарности исследования цикличности.

Часто такие модели имеют выраженную эмпирическую компоненту и фокусируются на конкретных рынках.

Исследования организации экономического сотрудничества и развития представляют из себя широкие эмпирические исследования конкретных экономик. Так, журнал «Измерение и анализ делового цикла» (Journal of Business Cycle Measurement and Analysis) периодически показывает особенности исследования экономической цикличности для разных типов экономик. Рассматриваются и небольшие экономики стран, таких как Сингапур (Chow, Choy, 2009) и средние экономики таких стран как Корея (Sam, Joo, 2009) и Турция (Sahinoz, Cosar, 2010). Похожий, но имеющий принципиальные отличия подход заключается в использовании данных самой крупной экономики, США, для анализа мировых циклов и кризисов. Например, одно из исследований (Ba, Winescoff, 2024) показывает, что расширение американского финансового цикла непропорционально сильно влияет на глобальные условия кредитования, приводя к более частым скачкам притока капитала, которые впоследствии создают динамику роста с подъемами и спадами в мировой экономике. Схожий подход, фокусирующийся на данных США как наиболее репрезентативных данных, связанных с мировой экономической цикличностью, используется в дальнейшем в диссертации.

Хотя опора на данные по США аналитически оправдана благодаря масштабу американской экономики, по-прежнему важно оценить степень сопоставимости таких результатов в различных национальных и институциональных контекстах.

Соединённые Штаты занимают особое положение в области мировых финансов. Являясь экономикой, производящей резервную мировую валюту и обладающей самыми масштабными

рынками капитала, США выступает незаменимым источником данных для изучения глобальных циклов. Тем не менее, выводы, сделанные для США, могут быть сформированы специфическими институциональными механизмами. Таким образом, расширение рамок обсуждения за счет включения межстрановых сопоставлений не только повышает эмпирическую достоверность результатов, но и расширяет их концептуальную и политическую значимость.

Полезность такого сравнительного подхода обусловлена, прежде всего, тем, что институциональная архитектура, через которую передаются глобальные шоки, существенно различается в разных странах. В то время как финансовая система США преимущественно рыночная, а рынки ценных бумаг играют центральную роль в распространении кредита, многие другие развитые и развивающиеся экономики полагаются на различные механизмы банковской системы. Последствия экономических кризисов в системах, ориентированных на банки, не обязательно идентичны тем, которые наблюдаются в системах, ориентированных на рынок. Различия существуют из-за того что структура банков, их нормативно-правовая среда и степень государственного вмешательства разнятся от системы к системе. Кроме того, в экономиках, характеризующихся ограниченной открытостью счета движения капитала или высокой степенью политического давления, стоит ожидать некоторого изменения влияния тех или иных факторов.

Выводы, сделанные исключительно на примере США, часто предполагают наличие обширного инструментария политики, включая контрциклический потенциал, гибкий центральный банк и широкий спектр стабилизационных механизмов, подкрепленных глобальным спросом на долларовые активы. Для многих экономик, особенно развивающихся, такие предположения нереалистичны. Экономики меньшего размера и с более сильными внешними ограничениями часто испытывают нехватку пространства для фискальной политики. Они сталкиваются с повышенной уязвимостью к настроениям инвесторов и существуют в условиях специфичных валютных режимов, которые подвергают их значительным рискам в периоды глобальной нестабильности.

По всем этим причинам было бы весьма полезно расширить дискуссию, включив в нее сопоставимость результатов по широкому спектру стран и институциональных систем за пределами США. Такое расширение послужит не только повышению валидности результатов, но и позволит поместить их в более полное и детальное понимание функционирования глобальной экономики. Хотя данные США имеют огромное значение для анализа цикличности, неоднородность и всё более многополярный характер мировой экономики требуют более широкого сравнительного подхода.

1.3.2. Развитие системно-воспроизводственного подхода

Прежде чем перейти к наработкам современной науки в системно-воспроизводственном подходе изучения кризисов, кратко приведём основные аспекты системно-воспроизводственного подхода в изучении явлений экономики.

Системно-производственный подход представляет собой способ изучения экономических систем и развития социально-экономических объектов. Основу подхода можно выразить в следующем (Теняков, 2016): «В данном подходе особое внимание привлечено к выявлению «первоосновы» экономической системы, соответственно, и экономические отношения необходимо отображать во всей их многомерности, с выделением исходного, основного и производных отношений разграничения сущности экономических явлений и их форм».

Несмотря на свою фундаментальность и многообразие, необходимо правильно применять этот подход для решения задач исследования. Так, при использовании системно-воспроизводственного подхода категорий, от которых исследователь первоначально абстрагировался, должны обязательно получить определение в ходе синтеза (Теняков, 2015, с. 33)

Сущность системно-воспроизводственного подхода строится на взаимодействии понятий «система» и «воспроизводство». Под системой подразумевается объект, который рассматривается как совокупность взаимосвязанных категорий, объединённых законом этой взаимосвязи. Системный анализ учитывает систему соединений или структурность, иерархичность системы и подсистем.

Наиболее важным элементом является поиск ядра экономической системы и обнаружение взаимодействия первоосновы с другими элементами через призму экономических отношений. Концептуально такой подход приводит к концентрации исследования на воспроизводстве и накоплении капитала.

Второй частью такого подхода является воспроизводство. Воспроизводством в базовом понимании можно считать процесс описания всех основных стадий хозяйственной деятельности, включая само производство, распределение и обмен, а также потребление. Процесс воспроизводства и его изучения несёт в себе несколько критически важных аспектов.

Процесс воспроизводства в системно-воспроизводственном подходе представляет собой непрерывный, фундаментальный механизм. Эта характеристика процесса точно описана в первом томе «Капитала»: «Какова бы ни была общественная форма процесса производства, он во всяком случае должен быть непрерывным, т.е. должен периодически все снова и снова

пробегать одни и те же стадии. Так же как общество не может перестать потреблять, так не может оно и перестать производить. Поэтому всякий процесс общественного производства, рассматриваемый в постоянной связи и в непрерывном потоке своего возобновления, является в то же время процессом воспроизводства.» (Маркс, 1952, с.570).

С точки зрения структуры стоит рассмотреть несколько особенностей описания производства.

Во-первых, капитал несёт в себе постоянную и переменную составляющие. Стоимость постоянного капитала основана на покупке средств производства, оборудования или материалов, в то время как переменный капитал целиком зависит от труда. Именно переменный капитал создаёт прибавочную стоимость.

Во-вторых, всю экономику можно разделить на два сектора: производство средств производства и производство товаров потребления.

Наёмные рабочие используют весь доход на потребление, а воспроизводство стоит рассматривать с позиции владельцев средств производства. Согласно Марксу, существует две схемы воспроизводства: простое воспроизводство с личным потреблением всей прибавочной стоимости и расширенное воспроизводство с использованием части прибавочной стоимости в качестве источника накопления капитала. Ниже приведены цитаты из второго тома «Капитала», описывающие базовые особенности простого и расширенного производства.

«Простое воспроизводство, воспроизводство в неизменном масштабе, является абстракцией постольку, поскольку, с одной стороны, в условиях капитализма отсутствие всякого накопления или воспроизводства в расширенном масштабе является неправдоподобным предположением, а с другой стороны, отношения, в которых совершается производство, в различные годы не остаются абсолютно неизменными (а именно это и предполагается)» (Маркс, 1951а, с.395).

«Вследствие превращения в деньги товарного капитала превращается в деньги и прибавочный продукт, представляющий прибавочную стоимость. Эту прибавочную стоимость, превращенную таким образом в деньги, капиталист снова превращает в дополнительные натуральные элементы своего производительного капитала. При следующем кругообороте производства увеличенный капитал доставляет большее количество продукта. <...> Деньги на одной стороне вызывают при этом расширенное воспроизводство на другой стороне, потому что возможность расширенного воспроизводства имеется уже без денег, так как деньги сами по себе не составляют элемента действительного воспроизводства» (Маркс, 1951а, с.490-491).

Воспроизводство происходит в рамках любой экономической системы: от предприятия до региона или страны. Анализ воспроизводства позволяет изучать основные компоненты единого

процесса производства, распределения, обмена и потребления и позволяет понять поведение исследуемой экономической системы (Дятел, 2018).

В некоторых исследованиях, использующих системно-воспроизводственный подход, экономическая система рассматривается как объект исследования, а экономические отношения как предмет (Косолапова, Свободин, 2017). Здесь экономическая система отражает форму функционирования системы, а предмет показывает сущность через отображения процесса воспроизводства.

С точки зрения методологии подход рассматривает изучение системы от абстрактного к конкретному. Последнее существенно отличается от основного подхода ортодоксальной экономики, который базируется на эмпирическом анализе и позитивистском подходе.

Для исследования, сочетающего в себе поиск факторов теорий циклического развития и использование инструментальных математических методов, наиболее важно рассмотреть этапы исследования в рамках общего системно-воспроизводственного подхода.

Покажем, на каком этапе применяется качественный анализ, а на каком возможно применение математического и компьютерного моделирования. Изучение экономического явления в рамках системно-воспроизводственного подхода обычно состоит из следующих этапов:

- Постановка задачи, обозначение объекта и предмета исследования;
- Детальный анализ системы и соответствующих аспектов воспроизводства;
- Формирование гипотез на основе детальной оценки воспроизводства;
- Тестирование гипотез с помощью использования эмпирического анализа. Исторически этот анализ проводится с использованием статистических или эконометрических моделей, однако альтернативно могут быть использованы и модели машинного обучения в рамках современного исследования;
- Также могут быть использованы модели симуляции поведения, подчёркивающие выводы о тех или иных свойствах системы. В рамках данной работы для моделирования динамики поведения наиболее актуальным вариантом являются многоагентные системы;
- Исходя из знаний, полученных с помощью системно-воспроизводственного подхода, эмпирического анализа и компьютерного моделирования можно сформировать окончательное описание системы и взаимосвязей между элементами системы.

Современные направления изучения цикличности представляют собой междисциплинарные направления исследования. Имея под собой системно-воспроизводственную основу, эти

исследования интегрируют в себя идеи из институционального анализа и эволюционной экономики, посткейнсианской школы, а также некоторых аспектов политологии и социологии.

Интегрированный подход, включающий в себя практически все упомянутые аспекты, формально разделен на несколько школ. Так, в англоязычной науке, условно рассматривается деление такого подхода на неомарксизм, радикальную политическую экономию и критическую политическую экономию. Неомарксизм включает в себя современные социальные теории, такие как теория гегемонии Антонио Грамши (Грамши, 1959, с.214) и идеи Франкфуртской школы (Бронзино, 2007). Радикальная политическая экономия и критическая политическая экономия включают в себя идеи неомарксизма, но добавляют к нему множество других концепций из разных школ. Несмотря на то, что больший фокус радикальной политической экономики направлен на изучение структурных отношений и классовой динамики, в то время как критическая политическая экономия обычно рассматривает более широкие аспекты современной социологической, политической и культурной повестки, разделение этих течений очень условно. Они занимают практически одинаковую позицию в вопросах экономической цикличности и в дальнейшем рассматриваются как одно направление.

С точки зрения современного развития, ключевой точкой, демонстрирующей возникновение новых факторов, являлся международный финансовый кризис 2007-2009 годов. Кризис подчеркнул значимость глобальных факторов, финансиализации, а также роли международных институтов.

Подробно показывает причины и следствия кризиса с позиции системно-воспроизводственного подхода К.А. Хубиев (Хубиев, 2012). Согласно исследованию, современная рыночная модель основана на безграничном росте потребления, но натывается на ресурсные и экологические пределы. С точки зрения структуры, такое развитие выражается в усилении дисбаланса между финансовым и реальным секторами, чрезмерном развитии финансового сектора, росте фиктивного капитала и спекулятивных инструментов. Е.В. Красникова (Красникова, 2022) детально показывает, что растущие экологические проблемы, связанные с достижением предела текущей системы, вызываются чрезмерной монополизацией частных форм собственности.

Используя наработки российских и зарубежных учёных, покажем различные долгосрочные причины этого кризиса и выведем основные факторы, характерные не только для данного кризиса, но и для остальных современных кризисов.

На рисунке 1 схематично показаны причинно-следственные связи кризиса.

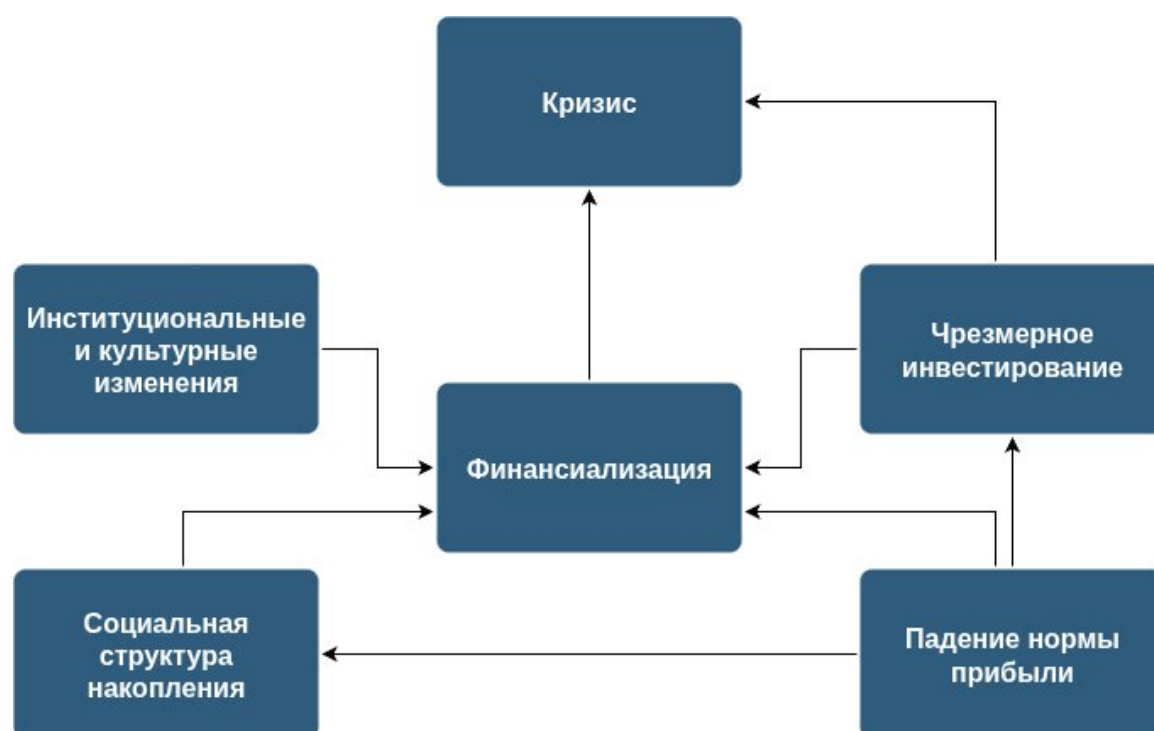


Рисунок 1. Причинно-следственные связи кризиса 2007-2009 годов.

Источник: разработка автора

Финансиализация

Финансиализация как процесс, в котором финансовые инструменты и рынки начинают занимать доминирующее положение в экономике, вытесняя производительный капитал, начала активно развиваться в 1970-1980-х годах.

После Второй мировой войны экономика восстанавливалась, поэтому основной акцент пришелся на производственную деятельность и материальный сектор. С течением времени материальный сектор столкнулся с избытком капитала и снижением нормы прибыли, что побудило инвесторов искать альтернативные пути получения дохода. С 1973 по 1979 годы реальная заработная плата снизилась на 4,4%, норма прибыли снизилась на 17,8%, а почасовая производительность несельскохозяйственного сектора росла скромными темпами всего на 1,1% в год (Котц, 2022, с. 77).

Решая экономические проблемы, крупный бизнес перешел от поддержки регулируемого капитализма к поддержке неолиберальной реструктуризации капиталистической экономики (Котц, 2022, с. 88). Финансиализация, спекулятивное разбухание финансовых пузырей, стала средством преодоления границ накопления капитала в производственной сфере (Дзарасов, 2013).

С другой стороны, стремление к восстановлению нормы прибыли привело к международной экспансии капитала. Беспрецедентное развитие международной коммуникации существенно изменило экономические отношения, многие процессы стали трансгранично развиваться, во многом игнорируя национальные границы. Не удивительно, что многие исследователи начали изучать возникновение кризисов, учитывая глобальность процессов.

Удвоение мирового рынка труда за счет работников из Китая, Индии и бывшего СССР в 1990-х годах способствовало существенному сокращению сферы материального производства в странах центра (Дзарасов, 2013).

Одновременно изменяется облик глобальных компаний, происходит перевод производственных активов за рубеж. В рамках перевода активов деятельность, приносящая существенную добавленную стоимость, остается в рамках родительской компании, в то время как деятельность с низкой добавленной стоимостью передается зарубежным подразделениям с более низким уровнем оплаты труда.

Несоответствие между динамикой заработной платы и эволюцией глобальных производительных сил привело к чрезмерному накоплению капитала в периферийных регионах. Попытки решения проблемы перенакопления привели к повышению спроса в странах центра, что в свою очередь поспособствовало увеличению инвестиций в более прибыльный финансовый сектор.

Комбинация усиления активности инвестиционного банкинга и закредитованность домохозяйств привели к возникновению пузырей на финансовом рынке (Lapavitsas, 2009). В рамках финансиализации финансовые институты фокусируются на новых типах активности, в то время как домохозяйства вынуждены все больше и больше обращаться к кредитованию. Это противоречие ведет к нестабильности экономических показателей и образованию финансовых пузырей. Более детально можно рассматривать влияние финансиализации на фундаментальные социально-экономические аспекты. С точки зрения представителей данного подхода (Bryan et al., 2009), критическое отличие финансового мира Маркса от современности заключается в том, что финансиализация не просто смещает баланс сил между классами и порождает экономическую нестабильность, но и переосмысливает само понимание класса и классовых отношений. Такой значимый, а в некотором смысле революционный переход базируется на ряде важных особенностей:

- Превращение секьюритизации и финансовых деривативов в меру стоимости. Современные финансовые модели расчета стоимости финансовых инструментов используются для оценки стоимости, подобно золотому стандарту прошлых веков (Bryan и Rafferty, 2006).

- Новая степень противоречия между трудом и капиталом. Труд выступает в качестве источника спроса и издержек производства одновременно, тем самым представляет собой противоречие. Противоречивая взаимосвязь труда как капитала не является чем-то новым, в частности высокая заработная плата является для капитала как положительным явлением (увеличение спроса), так и отрицательным (дополнительные издержки). С ростом финансиализации кругооборот капитала $D - T...P...T' - D'$ преобразуется. Кредит активно используется для финансирования закупки товара, становясь существенной частью кругооборота. Процесс воспроизводства труда является источником прибавочной стоимости, труд является и источником аккумуляции капитала и вынужден выплачивать проценты по заимствованиям. Монетарная политика государства становится ключевым регулятором репродукции труда.

- Домохозяйства представляют собой и капиталистическую и некапиталистическую сущность одновременно. В эпоху финансиализации домохозяйства вынуждены принимать ряд финансовых решений, не характерных для прошлой эпохи: оплата образования, страхование здоровья, инвестиция накоплений в рынок акций и облигаций, оценка потенциальных потребительских кредитов и ипотек. Одновременно домохозяйства принимают множество решений, базируясь на некапиталистической логике. Например, на решении о перераспределении дохода или участии в домашнем труде, не приносящем прибыль. Неудивительно, что двойственность природы домохозяйств способствует увеличению риска при увеличении участия в структурах финансового капитала.

- Секьюритизация создает рисковые условия на противоречии перехода от фиксированного капитала (физические здания) к переменному (ипотечные платежи). Однако секьюритизация не только создает рисковые условия, но и изменяет сам капитал. Подобно тому как создание рынка акций повлияло на капитал XIX века, позволяя капиталу достичь беспрецедентной конвертируемости, секьюритизация позволила продвинуть эту идею еще дальше. Секьюритизация позволяет изменить структуру капитала с собственности на контракт владения собственностью или абстрактным портфелем собственности.

Эмпирические данные о росте финансиализации не вызывают сомнений. По сравнению с 1980 годами нефинансовые компании увеличили свое присутствие на фондовом рынке в четыре раза (Brenner, 2006), а инвестиции в хедж-фонды утроились с 2000 по 2007 годы (Wade, 2007), достигнув значения в 1.5 триллиона долларов.

Исследование финансиализации, ее следствий и характеристик является необходимой и полезной информацией для изучения современных кризисов. Тем не менее, рассмотрение

финансиализации без детального анализа причин, которые привели к ее повсеместному внедрению, существенно сокращает возможности для анализа этого явления, а, следовательно, и кризиса 2007-2009 годов.

Чрезмерное инвестирование или перенакопление капитала

Изучение перенакопления капитала или чрезмерного инвестирования основано на идее существенного влияния агрегированных показателей на возникновение и развитие кризиса.

Существует несколько основных причин возникновения серьезного дисбаланса (Luft, 2010):

- Ухудшение процессов перераспределения доходов сверху вниз. Перераспределение доходов отражает процесс падения заработной платы с 1980 до 2006 гг. Доля рабочей силы в ВВП США упала с 64% до 60%, а в ЕС15 с 74% до 63%. Это негативно повлияло на агрегированный спрос из-за понижения покупательной способности населения и на агрегированное предложение из-за концентрации капитала и необходимости поиска альтернативных путей инвестирования;

- Активное изменение структуры пенсионной системы. За последние несколько десятилетий, предшествующих 2007 году, активно меняется структура пенсионной системы. Современная система больше фокусируется на инвестициях в пенсионные и страховые фонды. К концу 2007 года фонды владели 22.6 триллионами долларов активов по сравнению с 4.8 триллионами в 1992 году;

- Послабление требований к выдаче кредитов. Резкий рост выдачи низкосортных ипотек и займов, уменьшение регулирования, ослабление требований американских государственных фондов «Федеральная национальная ипотечная ассоциация» (Federal National Mortgage Association) и «Федеральная корпорация ипотечного кредитования жилья» (Federal Home Loan Mortgage Corporation) привели к массовому увеличению инвестиций в различные долговые обязательства;

- Интернационализация финансовых потоков. Массовая либерализация движения капиталов в 1970-х открыла новые возможности для создания международных, интернациональных структур капитала. С точки зрения влияния интернационализации капитала на кризис 2008 года наиболее актуальным является роль Китая в мировой системе этого времени.

Гипотеза «Глобальных дисбалансов» предполагает, что Китай склонен к чрезмерным сбережениям, тем самым способствуя специфическому национальному перенакоплению капитала (Hung, 2008). Децентрализация, породившая конкуренцию областей за инвестиции, создает проблемы чрезмерных инвестиций. С другой стороны, социальное расслоение

ограничивает потребление, сокращая совокупный спрос. Без повышения заработной платы и уровня жизни недопотребление и перепроизводство приводит к перенакоплению капитала.

Если более глубоко рассмотреть взаимоотношения Запада и Китая, то можно выделить три составляющие (Clegg, 2010):

Монопольный капитал. Монополизация ведет к недостатку производственных инвестиций. С помощью подавления конкуренции, а не повышения производительности капитал генерирует чрезмерную прибыль. Исчезает возможность перенаправления прибыли в производительное русло. В результате избыток перераспределяется на военные расходы, в финансовый сектор и экспорт за рубеж.

Гегемония доллара. Роль доллара в мировой экономике позволяет США тратить больше, чем зарабатывать. Другими словами, расход превышает доход, растет долг государства. США необходимо финансировать дефицит, выплачивая процент по долговым обязательствам. Международные инвестиции в американскую экономику являются одним из самых эффективных способов финансирования этого дефицита.

Изменения глобальной экономики. Глобализация не только ведет к перемещению избытка капитала, но приводит к трансформации международной схемы производства. Можно рассмотреть этот аргумент с точки зрения схемы расширенного воспроизводства совокупного общественного продукта Маркса. Критический дисбаланс здесь возникает из-за перемещения диспропорционального количества предприятий, производящих средства потребления за границей, в то время как основные предприятия, производящие средства производства, продолжают находиться внутри США.

В целом, чрезмерные инвестиции при капитализме имеют два источника: чрезмерная конкуренция за место на рынке и завышенные расчеты ожиданий о будущей стоимости актива. Мировой финансовый кризис во многом подтверждает это утверждение.

Падение нормы прибыли

Фундаментальное объяснение финансиализации (а следовательно, и финансового кризиса) базируется на том, что уменьшение нормы прибыли заставляет капитал переходить в другие, не создающие стоимости, формы в поиске более высокой прибыли. Отсюда повышенное внимание к финансовому сектору и развитию финансиализации (Desai, Freeman, 2011).

Оценочная норма прибыли сектора нефинансовых корпораций снизилась примерно на 40% с начала 1950-х до начала 1980-х годов, а без учета отраслей с высокой капиталоемкостью эта цифра доходит до 50% (Duménil, Lévy, 2002). И хотя эконометрические исследования показывают, что в послевоенный период норма прибыли падает в среднем на 0.2% в год (Basu,

Manolakos, 2013), существует устойчивое мнение, что начиная с 1980-х годов, резкое падение нормы прибыли прекратилось. Это мнение можно формализовать и сделать вывод, что вследствие изменений материально-технических основ и системы производственных отношений норма прибыли больше не имеет тенденции к понижению (Бузгалин, Колганов, 2009а). Изучая эмпирические данные, можно понять, что циклическое снижение нормы прибыли является вероятной причиной для шести из десяти рецессий после второй мировой войны (Cárraga Izquierdo, 2013).

Профессор МГУ Г.Г. Чибриков предложил три фактора, влияющих на тенденцию нормы прибыли к понижению (Чибриков, 2008). Во-первых, теория предельной производительности факторов производства противоречит падению нормы прибыли в долгосрочном периоде. Так как в долгосрочном периоде ресурсы не остаются постоянными, а закон убывающего предельного продукта заменяется эффектом роста масштабов производства, рыночная экономика выбирает оптимальный объём, позволяющий предотвратить резкое понижение нормы прибыли. Во-вторых, растущая производительность труда увеличивает среднюю отраслевую норму прибыли. Наконец, в современной экономике происходят циклы падающей и растущей норм прибыли. Такие циклы тем самым выравнивают среднюю норму прибыли, что противоречит идее падения нормы прибыли.

Для четырех кризисов с конца 1970-х до 2009 года не доказана прямая взаимосвязь колебаний нормы прибыли и активности кризисной фазы. Тем не менее гораздо более важным с точки зрения фундаментального изучения влияния падения нормы прибыли является не прямая функциональная взаимосвязь нормы прибыли и кризисных периодов, а причинно-следственная связь долгих периодов понижающейся нормы прибыли и создания новых условий, в том числе новой социальной структуры накопления.

Долгий спад нормы прибыли до 1980-х годов был одной из главных причин поиска альтернативных путей повышения нормы прибыли (Котц, 2022). Исследователи считают, что падение нормы прибыли в 1970-х и начале 1980-х остановилось благодаря уменьшению реальной заработной платы и кратному усилению финансиализации (Lucarelli, 2012). Более детально можно расписать стратегию повышения нормы прибыли (Moseley, 2013), включающую в себя усиление инфляции, сокращение пенсии, ухудшение условий труда, изменения законодательства о банкротстве и переносе производств в развивающиеся страны.

Анализ взаимосвязи падения нормы прибыли и наступления кризиса позволяет сделать вывод, что динамика нормы прибыли является одним из главных шагов к исследованию причин возникновения кризиса.

Теория социальной структуры накопления

Можно рассматривать кризис как следствие развития конкретной социальной структуры накопления при неолиберальном капитализме. Современная социальная структура накопления при капитализме приводит капитал к поиску чрезмерно высокой прибыли и активной экономической экспансии (Kotz, 2009). Эта социальная структура накопления пришла на смену системе регулируемого капитализма 1950-1970 годов.

Основные аспекты неолиберальной системы:

- 1) Дeregулирование бизнеса и финансов для обеспечения свободной мобильности капитала;
- 2) Приватизация многих государственных компаний;
- 3) Отказ от дискреционной налогово-бюджетной политики, направленной на замедление экономического цикла и поддержание относительно низкого уровня безработицы. Ограничительная политика замедлила инфляцию ценой более высокого уровня безработицы (Котц, 2022);
- 4) Резкое сокращение социальных расходов;
- 5) Снижение налогов на бизнес и доходов состоятельных лиц;
- 6) Активная борьба крупного бизнеса и государства с профсоюзами. Из сферы трудовых отношений практически исчезло понятие коллективных договоров, существенно уменьшилось количество забастовок. Значительно сократилась возможность влияния работников на уровень заработной платы;
- 7) Сдвиг в структуре труда. Смещение фокуса с долгосрочных рабочих контрактов на более широкое использование труда временных работников и работников, занятых на неполный рабочий день;
- 8) Более жесткая конкуренция, пришедшая на смену «ответственному поведению» капитализма. Практически исчезло состояние «согласованной» конкуренции, а корпорации вернулись в состояние ценовых войн;
- 9) Введение рыночных принципов внутри корпораций, в том числе переход от выбора генерального директора из числа сотрудников фирмы к его найму на рынке труда. Генеральные директора материально заинтересованы в том, чтобы создавать условия краткосрочной эффективности компании, во многом игнорируя долгосрочный интерес.

В рамках глобализации большая часть характеристик структур накопления переносится на другие страны с некоторыми изменениями. В частности именно глобальная неолиберальная структура принципиально отличается от предыдущих своим главным фокусом на глобальный

уровень. Неолиберальная структура накопления дополнительно характеризуются следующими глобальными характеристиками:

1. Глобализация связана с существенным увеличением международного перемещения капитала, товаров и денег;
2. Ослабление переговорной силы рабочих связано с возможностью капитала перемещать производства в другие места и использовать угрозу лишения рабочих мест в переговорном процессе с рабочими и профсоюзами.

Рассмотрение социальной структуры накопления помогает выявить основные характеристики экономической системы, породившей финансиализацию и кризис 2007-2009 гг. Изучение детальных аспектов системы позволяет понять ее слабые точки, а также рассмотреть потенциальные сферы применения политики для купирования кризисных зон. Однако рассмотрение кризиса с точки зрения влияния структуры накопления не позволяет рассмотреть более фундаментальные детали экономики и общества, способствующие возникновению данной структуры накопления и кризиса как такового.

Институциональные изменения и культурные особенности современного капитализма

Принципиальным дополнением к классическому процессу марксистского структурного анализа является рассмотрение институтов и культуры не только как производных экономических отношений, но и как важного фактора дальнейшего развития этих отношений.

С институциональной точки зрения основную причину возникновения кризиса можно рассмотреть через призму институционального изоморфизма. Базируясь на концепции стального панциря бюрократизации Вебера М., можно ввести понятие стального панциря гомогенизации (DiMaggio, Powell, 1983). Стальной панцирь у Вебера — замыкание индивида в клетке рационального, капиталистического расчёта, стальной панцирь у Димаджио и Пауэлла — замыкание компании в клетке институционального изоморфизма, схожих позиций аналогичных социальных институтов. Институциональный изоморфизм воплощается в том числе через механизм, при котором одна организация трансформируется, копируя действия другой организации, тем самым принимая правила поведения. Для финансового сектора предполагалось внедрение стандартов и правил честной оценки рисков и ответственного инвестирования. Тем не менее, благодаря своему влиянию, корпорации в преддверии кризиса смогли перевернуть панцирь в другую сторону и начать оказывать существенное влияние на общественные институты (Riaz, 2009). Массовое распространение ипотечных ценных бумаг напрямую связано с колоссальным влиянием банковского сектора и легитимизацией специфичных финансовых инструментов. Дополнительным фактором здесь являлся фактор морального риска.

Понятие «моральный риск» является одним из ключевых понятий в институциональной теории и означает, что, если одна из сторон сделки не несет достаточной ответственности за свои действия, она будет принимать более рискованные решения. Моральный риск в период, предшествующий финансовому кризису, активно развивался при взаимодействии финансовых организаций с ФРС США (Тесля, 2013).

В результате действий ФРС, направленных на выкуп предприятий на грани банкротства и гарантий финансовой помощи компаниям, занимающим большую долю рынка, создалась система морального риска для крупных инвесторов и предпринимателей. Как результат порождённого морального риска, институты начали активно способствовать увеличению спекуляции, что привело к переоценке финансовых активов. В дальнейшем с лопнувшего пузыря высокорисковых ипотечных активов и начался мировой финансово-экономический кризис 2007–2009 годов. Восприятие институтов, в первую очередь финансовых, но и государственных, существенно изменилось во время этого кризиса.

Общество считало финансовые учреждения первостепенными виновниками наступления экономического кризиса, что и являлось главной причиной утраты доверия общественности к финансовым институтам. Банкротство известных банков и финансовых фирм в сочетании с финансируемыми налогоплательщиками мерами по спасению крупнейших компаний усиливали негодование общества в сторону финансовых учреждений. Это негодование оказало длительное негативное влияние на репутацию и общественный имидж финансовой индустрии. Более того, кризис выявил недостатки в финансовом регулировании и надзоре. Регулирующие органы подверглись критике за неспособность выявлять и устранять системные риски в финансовой системе, допуская чрезмерное использование заемных средств и неконтролируемое спекулятивное поведение.

Наиболее важными являются последствия изменения доверия к государству. Кризисные события серьёзно усугубили проблему утраты доверия к государственным институтам (Uslaner, 2010). Так, респонденты из более двух третей стран — членов Организации экономического сотрудничества и развития сообщили о потере доверия к правительству с 2007 по 2012 годы (Sobiech, 2016.). Наиболее сильное падение доверия произошло в странах, которые наиболее остро переживали политический, финансовый или экономический кризис, таких как Греция и Словения.

Опросы в США подтверждают усиление недоверия к государственным действиям, в том числе направленным на устранение финансового кризиса. Согласно проведённым опросам (Sapienza, 2012), большинство респондентов высказались за вмешательство государства в

регулирование финансовых рынков, а 80% из них посчитало, что способ воздействия государства на решение вопроса экономического кризиса только уменьшил их веру в эффективность рынков. Одной из главных причин в отсутствии доверия к принятым мерам респонденты назвали убеждение в том, что государство действовало в интересах финансового бизнеса, а не общества.

Экономический кризис имел далеко идущие последствия, выходящие за рамки краткосрочных изменений. Кризис повлёк за собой глубокие изменения в общественном настроении, экономической политике и глобальной динамике. Реакция общества на действия государства во время кризиса усилила тенденцию снижения доверия к государственному аппарату, активировала альтернативный политический дискурс, усилила скепсис к традиционным институтам. Постепенно это начало проявляться в росте популизма и усилении национализма, а также росте антиглобализма. Популистские движения, характеризующиеся антиэлитарностью и национализмом, получили распространение во многих частях мира в период, следующий сразу после окончания кризиса. Популистские лидеры и партии начали фокусироваться на общественном недовольстве, осуждая экономическое неравенство и другие социальные проблемы, тем самым бросая вызов основным политическим партиям и институтам. Рост популизма изменил политический ландшафт и усилил дебаты по таким вопросам как иммиграция, торговля и суверенитет.

Другой стороной развивающегося отклика на недостаточный эффект влияния государства на ослабление кризисного эффекта стало увеличение протекционизма на государственном уровне. Кризис усилил обеспокоенность по поводу глобализации и экономической взаимозависимости. В ответ на сокращение рабочих мест, снижение заработной платы и усиление конкуренции некоторые страны обратились к протекционистским мерам, чтобы защитить отечественную промышленность от иностранной конкуренции. Эта тенденция к протекционизму проявлялась в различных формах, включая тарифы, торговые барьеры и националистическую риторику.

Определённую роль в наступлении кризиса играют не только институциональные, но и культурные изменения. Одним из предвестников кризиса являлась некорректная реакция капиталистических обществ на новые культурные изменения в условиях экономики общества знаний (Бузгалин, Колганов, 2009b). Общество знаний предполагает реализацию новых принципов социальной организации, которые включают в себя неограниченность ресурсов (знаний), общедоступность и открытость, а также демократичный характер организаций. Данные принципы противоречат основам современной капиталистической системы. Потенциальные противоречия способствуют созданию неэффективности взаимодействия современных

общественных отношений и, как следствие, реализуются в социальных и экономических кризисах.

Данные противоречия можно более детально рассмотреть с точки зрения взаимоотношений капитала и труда (Caruso, 2016). В структурной динамике взаимоотношений работников и капитала проявляется четыре пары противоречий:

1. Социализация процесса производства и индивидуализация трудовых отношений. Из-за специфики экономики знаний размывается процесс владения средствами производства, так как интеллектуальная собственность принципиально отличается от физической собственности. С другой стороны, трудовые отношения индивидуализируются, ослабевают коллективные договоры и увеличивается конкуренция между работниками;

2. ВнутрикООперативный обмен и рыночный. Социальные аспекты рабочего процесса, такие как отношения между людьми и логические навыки, используются в производственном процессе. Использование этих аспектов создает стоимость, но интегрируется компанией в рыночную оценку. ВнутрикООперативный обмен выдается за обмен рыночный;

3. Коллективное участие в принятии решений и вертикальный процесс реального принятия решений. Работники участвуют в формальном горизонтальном процессе обсуждения решений компаний. Одновременно с этим, реальный процесс принятия решений по принципиальным вопросам вертикален и зависит исключительно от менеджмента и владельцев компании;

4. Автономность труда и права собственности на цифровые ресурсы. Современный труд, основанный на знаниях, сложно поддается измерению. Компаниям трудно оценить вклад конкретного работника в готовый продукт, при этом сами ресурсы принадлежат компаниям с помощью системы патентов и собственности на цифровые продукты.

Изучение влияния текущих культурных и институциональных особенностей позволяет рассмотреть неоднозначные аспекты финансиализации и отсутствие устойчивого роста в экономике. Особенно ярко эти аспекты видны в моменты кризиса, когда четко прослеживается влияние этих особенностей на продолжительность и силу кризисного периода.

Причины возникновения кризиса 2007-2009 годов во многом остались не разрешёнными, даже после усиления контроля за финансовым сектором в последующие годы. Часть фундаментальных причин, таких как изменение нормы прибыли, чрезмерное инвестирование и недопотребление невозможно решить без фундаментального изменения экономических отношений. Другая группа включает в себя институциональные, культурные изменения, социальную структуру накопления. Многогранные причинно-следственные связи приводят к финансиализации, которая и являлась главной причиной кризиса.

Основные усилия государственных мер были направлены только на устранение особенностей финансиализации, точнее на вычисляемую рисковую часть финансиализации. Для предотвращения похожего сценария в будущем были усилены стандарты обращения крупных финансовых институтов с активами, в первую очередь с фокусом на предоставляемые кредиты.

Несмотря на то что более детальный анализ активов позволяет уменьшить вероятность наступления кризиса из-за массового невозврата необеспеченных кредитов, такой подход не убирает основные риски финансиализации, а именно – не исключает систематического дисбаланса между номинальной и реальной ценой активов в экономике, что происходит из-за тотального перевеса финансового капитала над промышленным. Другими словами, все факторы, которые привели к возникновению кризиса 2007-2009 годов остаются актуальными и для других последующих кризисов XXI века.

1.4. Определение связи теории цикличности экономического развития и применения технологий искусственного интеллекта

В предыдущих разделах детально описаны модели и методы искусственного интеллекта, использующиеся для анализа экономики и цикличности, а также современные теоретические наработки теории цикличности. Подробно приведены технические особенности искусственного интеллекта и специфичные релевантные наработки современного системно-воспроизводственного подхода.

Теперь рассмотрим шаги для перехода от теоретической основы цикличности к количественной модели экономических кризисов. Для такого перехода необходимо провести операционализацию понятий, включая определение теоретических конструкций в измеримых терминах, выявление ключевых переменных и указание взаимосвязей между ними.

Представим конкретные шаги исследования:

1. Определение теоретической основы.

Перед разработкой модели крайне важно понять базовую теоретическую основу экономических кризисов. Теоретическая основа определяет фундаментальные предположения, например, вызваны ли кризисы шоками спроса, сбоями финансового рынка или экзогенными событиями. В предыдущих разделах подробно раскрывается теоретическая основа моделирования, описаны ключевые современные наработки системно-воспроизводственного подхода. Поэтому в качестве теоретической основы моделей рассматриваются наработки этого подхода.

2. Определение ключевых факторов.

Чтобы перейти к количественной модели, качественные компоненты теории должны быть переведены в измеримые показатели. В зависимости от выбранной теоретической основы показатели для моделирования могут включать в себя макроэкономические показатели, такие как темпы роста ВВП, инфляция, уровень безработицы, процентные ставки, финансовые переменные, а также уровень кредитования и стабильность банковского сектора. Другие факторы – это, например, объем мировой торговли, потоки капитала, цены на сырьевые товары, обменные курсы. Факторы моделей исследования будут подробно рассмотрены в следующем разделе.

3. Выбор методов моделирования

После определения факторов следующим шагом является выбор методов для анализа. Классическими для моделирования экономических переменных являются модели на основе статистики и эконометрики, такие как авторегрессионные модели для изучения поведения экономических кризисов с течением времени. В случае данного исследования основной упор делается на искусственном интеллекте, поэтому применяются методы из этой категории. В данной главе было указано, что будут использоваться два типа моделей: модели машинного обучения и моделирование с помощью многоагентных систем.

4. Сбор и очистка данных.

Использование методов искусственного интеллекта требует использования качественных источников данных. Данные в исследовании собираются из различных источников статистической информации об экономике. Перед применением моделирования данные необходимо привести к подходящему виду, удаляя несоответствия, пропущенные значения и выбросы. Детали по источникам, сбору и обработке данных описаны в следующей главе отдельно для каждого из методов.

Несмотря на эффективность использования методов искусственного интеллекта для достижения целей исследования, при реализации моделей нужно учитывать несколько потенциальных особенностей такого моделирования.

Качество данных. Эффективность искусственного интеллекта напрямую зависит от качества и репрезентативности данных, на которых они обучаются.

Интерпретируемость. Многие модели искусственного интеллекта представляют собой закрытые системы, так называемые «черные ящики», что затрудняет понимание того, как именно модели принимают решения. В данном исследовании интерпретируемость факторов модели рассчитывается с помощью сложных техник, основанных на теории игр и байесовской оценке.

Сложность экономических систем. Экономические кризисы являются результатом множества взаимосвязанных факторов, что затрудняет использование моделей искусственного интеллекта для поиска причинно-следственных связей.

Риск модели. Как и у любой модели, всегда существует риск, что методы искусственного интеллекта не всегда могут правильно реагировать на неожиданные экономические события или происходящие структурные изменения в экономике.

Этические соображения. Использование методов искусственного интеллекта для принятия решений поднимает этические вопросы об алгоритмическом принятии решений. Делегирование ответственности человека, принимающего решения, искусственному интеллекту может привести к непреднамеренным последствиям для различных сегментов общества.

Таким образом показано, что связь между теоретической базой теорий циклов и кризисов экономического развития и использованием искусственного интеллекта проявляется в нескольких ключевых аспектах.

Проведён детальный анализ текущих технологических наработок в сфере методов искусственного интеллекта, выявлены наиболее перспективные из них для исследования, при учёте современных научных наработок на эту тему.

Далее проанализирована релевантная теоретическая база, показано, какие потенциальные аспекты этой базы можно использовать для моделирования.

Наконец, описаны дальнейшие шаги по созданию моделей. Создание самих моделей детально раскрывается во второй главе работы.

1.5. Выбор факторов для моделирования с помощью ИИ

Исследование кризисов в рамках теорий циклического развития включает в себя качественные и количественные факторы. Взаимосвязь факторов обеспечивает понимание того, как взаимодействие различных политико-экономических факторов создает кризисные условия, а наступающие кризисы влияют на изменения этих факторов. Фокус на системно-воспроизводственном подходе сужает рамки рассматриваемых факторов для анализа кризисных явлений.

В прошлых разделах рассматривались основные факторы анализа кризисных явлений, актуальных для современных кризисов, а также для кризиса 2007-2009 годов в частности. В основе количественных факторов лежит падение, а в более широком смысле — изменение нормы прибыли. Другие измеряемые или частично измеряемые факторы, такие как чрезмерное инвестирование и процесс финансиализации, следуют из данного фактора. Несмотря на то что

изучение социальной структуры накопления, финансиализации, культурных особенностей и институциональных изменений играет огромную роль в исследовании кризисов, фокус данного исследования и его инструментальные особенности наиболее подходят для количественных данных.

С точки зрения фундаментальных теорий норма прибыли не является финальным фактором. Так, показанный в данной главе поиск факторов с помощью процесса системно-воспроизводственного подхода, можно развивать дальше. Если проводить дальнейший анализ воспроизводства, можно детально рассмотреть логику противоречия между общественным характером производства и частным капиталистическим присвоением.

Однако в рамках работы в качестве фактора используются норма прибыли по двум основным причинам. Во-первых, критически важным для моделей машинного обучения является наличие численных данных. Норма прибыли представляет из себя именно такие данные. Во-вторых, для построения моделей необходимо наличие достоверной, долгосрочной базы данных с наблюдениями. Наконец, динамика нормы прибыли представляет из себя волнообразные колебания, что соотносится с поведением цикличности в экономике.

Вычисления нормы прибыли не являются тривиальным процессом, но все необходимые компоненты для вычисления широко представлены официальными организациями и научно-исследовательскими институтами множества стран. Наиболее полно такие данные представлены для экономики США. Данные о норме прибыли и соответствующий график приведены в Приложении Б.

Для использования измерений нормы прибыли в вычислительных исследованиях в рамках диссертации нужно чётко определить, как именно считать этот показатель. Операционализируя понятие нормы прибыли, мы должны учитывать две составляющие: с одной стороны, практическое измерение нормы прибыли должно максимально подробно отражать её концептуальную теоретическую составляющую, с другой - формула нормы прибыли должна быть консистентной и должна состоять из компонентов, статистика которых находится в распространённых базах данных.

Таким образом эти два аргумента приводят к следующей формуле, согласно которой норма прибыли равна отношению прибыли к сумме основных средств и зарплат. Такая формула максимально близко подходит к сущности нормы прибыли, при этом позволяет использовать статистические материалы. Тем не менее, стоит упомянуть об отклонениях операционализируемого понятия нормы прибыли от теоретического основания. Прибыль в знаменателе представляет собой приближение к прибавочной стоимости, хотя в реальности

чистая прибыль высчитывается после налогов. Основные средства близки к постоянному капиталу, но учитывают его долговечную часть, такую как машины и здания. Зарплата же практически равна переменному капиталу. Все остальные показатели, использованные в моделировании, не требуют отдельно описанного процесса операционализации, так как представляют из себя показатели с более стандартизированным процессом операционализации. Дополнительно описание каждого из показателей приведено по ссылкам в исходных базах данных.

Дополнительно можно сказать, что применение системно-воспроизводственного подхода к анализу экономической цикличности во многом основано на исследовании экономики индустриальной эпохи. В индустриальную эпоху значимой причиной кризиса являлась динамика перепроизводства в материальной сфере. Сектор услуг не оказывал существенного влияния на экономический цикл. По мере увеличения отраслей сектора услуг его роль в экономике существенно возросла (Гаджиева, 2018). Увеличение влияния сферы услуг привело к увеличению влияния динамики этого сектора экономики на цикл. В новых реалиях с изменением структуры экономики и причинно-следственных связей необходимо более открыто подходить к поиску и интерпретации факторов. Следовательно, роль нормы прибыли изменяется по сравнению с её ролью в классических направлениях изучения цикличности. Проанализировать такие изменения можно в том числе и с помощью технологий искусственного интеллекта.

Таким образом, изменение нормы прибыли рассматривается как главный фактор для применения технологий искусственного интеллекта.

Вывод

Первая глава детально анализирует научные наработки в сфере применения искусственного интеллекта и экономической теории для анализа экономических кризисов.

В первом разделе главы дано определение современному пониманию искусственного интеллекта, показаны основные подходы искусственного интеллекта и их применение к решениям научных задач анализа экономики. В разделе демонстрируется, как различные методы машинного обучения и многоагентные системы используются для поиска новых решений известных экономических проблем. Способность искусственного интеллекта к анализу больших данных, поиску сложных нелинейных закономерностей открывает новые возможности для совершенствования экономического прогнозирования, анализа экономических явлений и совершенствования систем принятия политических решений. В разделе показаны способы применения искусственного интеллекта для анализа экономических кризисов.

Во втором разделе рассмотрены современные теории экономических циклов. Кратко описывается история возникновения современных теорий, описываются их основные особенности и предположения. Детально описывается современное состояние исследования кризисов с помощью системно-воспроизводственного подхода. Проанализированы главные факторы, способствующие возникновению кризисов на примере кризиса 2007-2009 годов.

Концовка главы посвящена методам взаимодействия между технологиями, искусственным интеллектом и системно-воспроизводственным подходом. Продемонстрировано, каким образом методы применяются для данного исследования, описано, какие дальнейшие шаги необходимо осуществить для практической реализации взаимодействия. Наконец, выбрана норма прибыли как главный фактор для применения в методах искусственного интеллекта.

Таким образом, первая глава проводит широкий обзор современного искусственного интеллекта и теорий экономических кризисов и циклов. В процессе анализа показано, что искусственный интеллект и системно-воспроизводственный подход могут взаимодействовать путём использования главенствующих численных факторов.

В главе был раскрыт пункт новизны, связанный с систематизацией аспектов теорий циклической динамики. Проведён теоретический анализ направлений исследования циклической динамики. Показан исторический контекст и продемонстрированы основные актуальные элементы различных теорий. Детально раскрыты концепции системно-воспроизводственного подхода.

Глава 2. Практическая реализация методов ИИ и системно-воспроизводственного подхода для анализа кризисов²³

В первой главе описаны теоретические аспекты анализа экономических кризисов, методы взаимодействия искусственного интеллекта и теоретических подходов, а также показано, почему норма прибыли является главным фактором для применения моделирования.

Во второй главе подробно описывается практическое применение двух типов моделей искусственного интеллекта, машинного обучения и многоагентных систем для моделирования экономических кризисов и циклов с использованием нормы прибыли. Машинное обучение используется для эмпирического анализа влияния нормы прибыли на кризисные периоды. Многоагентные системы позволяют провести моделирование динамики экономики. В качестве элементов систем, агентов, используются коммерческие организации, принимающие решения на основе нормы прибыли.

Для обоих типов моделей детально описаны предшествующие релевантные научные наработки, показаны технические и математические особенности реализации, продемонстрирован процесс обучения моделей и приведена смысловая интерпретация результатов. Математические детали обучения моделей приведены в Приложении В.

2.1. Использование машинного обучения для эмпирического анализа роли нормы прибыли в циклическом развитии

2.1.1. Релевантные научные разработки

Норма прибыли напрямую практически не используются в моделях машинного обучения при проведении экономических исследований. Во многом это связано с преобладанием методологии ортодоксальной экономики в решении задач применения машинного обучения. В связи с этим необходимо рассмотреть связанные факторы, а именно **уровень безработицы и реальную заработную плату**.

²³ В данной главе использованы материалы, опубликованные в авторской статье: Семенов С.В. Применение машинного обучения для анализа значимости факторов кризисных явлений // Искусственные общества. — [Электронный ресурс]. — 2024. — Т.19. — №. 3. — URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800030844-7-1/> (дата обращения: 30.09.2024)

Существует сложная связь между нормой прибыли и уровнем безработицы, определяемая динамикой накопления капитала, технологическими изменениями и кризисами (Минакир, 2009). При высокой норме прибыли производство расширяется, что приводит к повышению спроса на рабочую силу и увеличению уровня занятости. Падение нормы прибыли приводит не только к уменьшению инвестиций, но и уменьшению накопления капитала, а также к увеличению безработицы.

В процессе увеличения прибыльности компании внедряют технологические решения, приводящие к снижению издержек и повышению производительности. Процесс внедрения решения приводит к росту органического строения капитала, увеличивая постоянный капитал. Высокий уровень органического строения капитала снижает относительные траты на переменный капитал, то есть рабочую силу, что приводит к увеличению технологической безработицы.

При высокой норме прибыли увеличиваются инвестиции, предприятия расширяются, происходит снижение безработицы через создание большого количества рабочих мест. При сокращении прибыли происходит сокращение инвестиций и сокращение заработной платы, приводящее к увольнениям и росту безработицы. Взаимоотношения между нормой прибыли и безработицей не являются линейными. На эти взаимоотношения влияют и другие факторы, такие как государственная политика и глобализация.

В момент кризиса повышенная безработица приводит к увеличению резервной армии труда. Конкуренция за рабочие места оказывает понижающее давление на заработную плату, помогая восстановить норму прибыли.

Обратная связь между нормой прибыли и реальной заработной платой объясняется уменьшением давления на работников и на заработную плату при повышении нормы прибыли. В свою очередь, так как повышение заработной платы уменьшает прибавочную стоимость и, следовательно, норму прибыли, предприятия пытаются противодействовать этому с помощью различных стратегий. Стратегии включают в себя повышение производительности, извлечение большей прибавочной стоимости с помощью увеличения интенсивности труда и внедрения новых технологий, увеличивающих постоянный капитал по отношению к переменному. Эти стратегии сложны, формируют динамику классовой борьбы и в перспективе влияют на возникновение экономических кризисов.

Рассмотрим исследования, использующие искусственный интеллект для анализа влияния уровня безработицы и реальной заработной платы на экономические кризисы.

Уровень заработной платы, её автоматическая индексация и соответствующее влияние на уровень безработицы эмпирически показывают Байненс, Каримов и Конингс (Vijnen и др., 2023) на примере рынка труда Бельгии. В этом исследовании используются подходы машинного обучения для создания синтетической контрольной группы, позволяющей оценить влияние индексации заработной платы по сравнению с отсутствием индексации. С помощью сравнения результатов двух групп они пришли к выводу, что отсутствие индексации заработной платы в течение одного года снизило заработную плату в Бельгии в среднем на 2%, в то время как занятость увеличилась на 1,2%. Результаты косвенно подтверждают интерпретацию взаимосвязи реальной заработной платы и уровня безработицы.

Некоторые исследования рассматривают применение машинного обучения для предсказания кризисов (Vrontos и др., 2021). Авторы используют определение периода рецессий Национального бюро экономических исследований для экономики США. В качестве источника данных они используют 56 макроэкономических и финансовых рыночных показателей, большинство из которых широко применяется как и в политической, так и в исследовательской деятельности. Авторы подчеркивают ведущую роль кривой доходности (или срочной структуры процентных ставок) в качестве факторов для прогнозирования рецессий США, но также рассматривают несколько переменных, связанных с безработицей, включая текущий и долгосрочный уровни безработицы.

В последние годы появляются работы, анализирующие большие модели, включающие в себя сотни различных параметров, покрывающих основные численные аспекты экономики и социальной жизни. Так, некоторые исследования (Baba, 2011) включают в себя группу номинальных цен, заработной платы и денежной массы, а также категорию аспектов занятости и безработицы. По результатам отбора статистической взаимосвязи между переменными и рецессией были сделаны следующие выводы об их значимости. За 3 месяца до наступления кризисного периода значимую роль играет индекс занятости и спрос на страховое возмещение по безработице, а за 12 месяцев – средняя продолжительность рабочего контракта. Факторы заработной платы напрямую не зашли в отбор, но связанный фактор реальных денежных доходов населения соотносится с наступлением рецессии с временным лагом в 1 месяц.

В дополнение к прямому моделированию с отобранными данными машинное обучение может использоваться для анализа большого объема данных и выбора наиболее перспективных факторов. Комбинируя алгоритмы машинного обучения с качественной аналитикой, некоторые учёные (Iqbal, Bowman, 2018) выбирают наиболее значимые данные из набора данных Федерального резервного банка Сент-Луиса. Используя массивный набор данных из более чем

500 000 переменных, авторы запустили около 30 миллионов простых моделей, которые позволили попарно сравнивать базовую значимость переменных. Далее, рассчитывая лучшие параметры модели, авторы выбрали 192 переменных и сгруппировали их. В частности, в группу, связанную с оценкой занятости, включили число занятых в несельскохозяйственном секторе и рейтинг безработицы.

2.1.2. Описание модели машинного обучения для исследования влияния нормы прибыли

В исследовании мы используем методы машинного обучения для изучения влияния фактора нормы прибыли на наступление экономических кризисов.

Методы машинного обучения хорошо подходят для этой задачи благодаря своей способности обрабатывать нелинейные связи, находя нелинейную значимость различных факторов. Результаты проинтерпретированы и эмпирически показывают, как изменения нормы прибыли и других переменных влияют на вероятность наступления кризисов.

Фокус первой модели направлен на изучение кризисных явлений в экономике, поиск и анализ факторов, влияющих линейно и нелинейно на наступление кризисных явлений. Как и любая сложная модель машинного обучения, она включает в себя множество факторов, но в рамках данного исследования наиболее релевантным является роль нормы прибыли.

В качестве данных используются исторические данные экономики США.

Первая причина связана с тем, что для исследований доступны численные данные многочисленных областей экономики и общественной жизни США, которые построены на длинном, непрерывном периоде наблюдений. Например, Национальное бюро экономических исследований, предоставляющее данные о периодах рецессии, существует с 1920 года. С точки зрения согласованности данных между собой, постоянства обновления и качества данных, эти базы являются наиболее надёжным источником для оценки различных экономических параметров.

Вторая причина заключается в значении экономики США, глобализации и влиянии кризисов в США на кризисы в других регионах мира. Взаимозависимость экономики США и мировой экономики построена на многогранных отношениях в сфере международной торговли, финансов и инвестиций. США являются одним из крупнейших импортеров и экспортеров в мире, в этой экономике расположены крупнейшие и наиболее влиятельные фондовые биржи, включая NYSE и NASDAQ. Двухнаправленный поток капитала прямых инвестиций тесно связывает экономику США с экономиками других стран.

Влияние поведения экономического цикла Соединенных Штатов на мировую экономику огромно, о чем свидетельствуют такие события как Великая депрессия 1929-1933 гг. и финансовый кризис 2007-2009 гг. Таким образом, изучение влияния факторов экономических кризисов на данных США позволяет не только использовать качественные числовые данные, но и во многом экстраполировать выводы на другие регионы.

В модели предполагается использование интерпретации кризисных дат согласно Национальному бюро экономических исследований.

Вычислительная часть модели состоит из двух шагов. Сначала подбираются оптимальные параметры для выбранного алгоритма, затем используются подобранные параметры моделей для проведения анализа значимости факторов. При выборе модели большую роль играет применимость и эффективность данного алгоритма для решения задачи классификации временных рядов. Алгоритм должен обладать возможностью исследования значимости входных факторов.

В результате анализа алгоритмов и релевантной литературы для использования в данной работе были выбраны две модели машинного обучения, наиболее подходящие для анализа значимости факторов: деревья решений и бустинг.

2.1.3. Данные для моделирования

В модели используются данные, которые широко применяются в моделях такого типа, также вводятся несколько дополнительных факторов. Данные, источники и их частотность продемонстрированы в таблице 1.

Таблица 1. Описание данных экономики США для моделирования.

Категория	Название	Источник	Идентификатор	Частотность
ВВП	ВВП	FRED	GDP	Q
	Реальный валовой внутренний продукт на душу населения	FRED	A939RX0 48SiEA	Q
Инфляция	Индекс цен производителей по товарам: все сырьевые товары	FRED	PPIACO	M

Продолжение таблицы 1.

Инфляция	Индекс цен производителей по товарам: конечный спрос	FRED	PPIFIS	M
	Медианный индекс потребительских цен	FRED	MEDCPIM 158SFRBCLE	M
Недвижимость	Количество новых частных домов	FRED	PERMIT	M
	Реальные частные жилищные инвестиции в основной капитал	FRED	PRFIC1	Q
Сентимент	Индекс потребительского доверия	OECD	CCI	M
	Индекс деловой уверенности	OECD	BCI	M
Облигации	Доходность корпоративных облигаций Moody's Seasoned Baa	FRED	DBAA	D
	Разница между 10-летними и 3х-месячными казначейскими облигациями с постоянным сроком погашения	FRED	T10Y3M	D
Акции	Индекс S&P 500	Yahoo	SP500	D

Продолжение таблицы 1.

Ресурсы	Ежедневное потребление нефти	EI	Oil Consumption barrels. Total world	Y
Банковский сектор	Активы минус обязательства банковского сектора	FRED	QBPBSTLKFHLB	Q
Цифровые валюты	Bitcoin цена закрытия	Yahoo	BTC-USD	D
Трудовые показатели	Уровень безработицы	FRED	UNRATE	M
	Норма прибыли	FRED	RATEPROFIT ²⁴	Q
	Медианная зарплата	FRED	LES1252881600Q	Q
Целевая переменная	Период рецессии	NBER	CRISIS	Q

Источник: составлено автором на основе открытых источников (NBER, FRED, Yahoo, EI, OECD)

Все входные данные представляют собой социально-экономические временные ряды с различными датами начала и частотностью, обновляемые раз в день (D в таблице), месяц(M), квартал(Q) или год(Y).

Целевая переменная представляет из себя период рецессии в соответствии с информацией NBER. Данная переменная оценивает динамику ВВП, но не ограничивается этим, а дополнительно учитывает несколько других значимых экономических показателей и включает в себя реальный личный доход, занятость, реальные расходы на личное потребление, объемы продаж в обрабатывающей промышленности и торговле и уровень промышленного производства.

Для унификации структуры данных на этапе анализа были проведены две операции. Во-первых, все временные ряды были ограничены во времени с 31.12.1950 до 01.01.2024 года. В

²⁴ Rate of Profit Stats // FRED — URL: <https://fredaccount.stlouisfed.org/public/dashboard/53250>(дата обращения: 22.04.2025)

случае недоступности данных переменной в период времени значения были заменены на первое доступное значение в этом ряду. Во-вторых, данные были линейно интерполированы для перехода от года, месяца или квартала к ежедневным значениям.

График входных данных представлен на рисунке 2. Для улучшения восприятия разноразмерных величин данные ограничены периодом с 31.12.2016 по 01.01.2024, а сами данные были трансформированы с помощью натурального логарифма.



Рисунок 2. Графики выборки входных данных после трансформации с помощью натурального логарифма.

Источник: результат запуска алгоритма трансформации данных

На рисунке 2 видно, что данные существенно отличаются по значениям. В дальнейшем анализе в этом разделе используются стандартизированные версии временных рядов.

На следующем этапе анализа исходных данных использовался метод кросскорреляционного анализа временных рядов для поиска силы корреляции между входными факторами.

Кросскорреляционный анализ показал, что данные о реальном валовом внутреннем продукте на душу населения (A939RX0Q048SBEA) и потребление нефти (OilDaily) сильно коррелируют, а также индекс цен производителей по товарам (PPIACO) сильно коррелирует с ВВП (GDP). В результате анализа было решено убрать из факторов PPIACO и GDP. Биткоин был удалён из данных из-за недостаточной длины доступных наблюдений. Факторы с наиболее высокой корреляцией показаны в таблице 2.

Таблица 2. Первые пять факторов с наибольшей корреляцией

Первая переменная	Вторая переменная	Временной лаг	Корреляция
A939RX0Q048SBA	OilDaily	0	0.98
PPIACO	A939RX048SBEA	0	0.98
PPIACO	GDP	0	0.97
A939RX0Q048SBEA	GDP	0	0.96
PPIACO	OilDaily	0	0.95

Источник: результаты кросскорреляционного анализа

2.1.4. Результаты моделирования

Для дальнейших шагов отобранные данные были разделены на выборку для тренировки моделей и тестовую выборку в пропорциях 75 к 25. Данные были изменены путём применения разности первого порядка и стандартизированы с помощью запуска модели базового преобразователя данных, натренированной на тренировочной выборке и применённой на тестовой. Результат преобразования данных, взятый из тестовой выборки, продемонстрирован на рисунке 3.

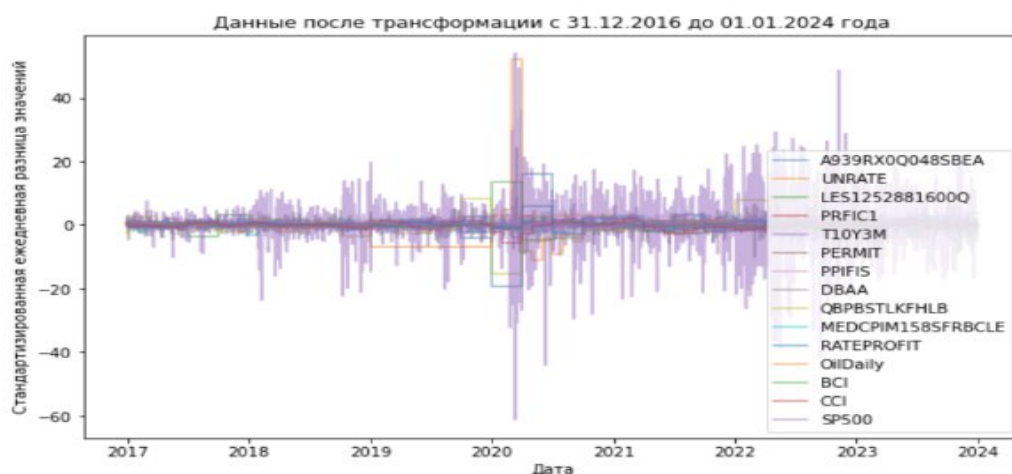


Рисунок 3. Графики ежедневных колебаний данных после трансформации.

Источник: результат запуска алгоритма трансформации данных

Лучшие параметры моделей были подобраны с помощью кросс-валидации на тренировочной выборке. Финальные метрики и значимости факторов посчитаны на тестовой выборке, первые пять наиболее значимых факторов для обеих моделей показаны в таблице 3.

Таблица 3. Первые пять наиболее значимых факторов моделей машинного обучения

Бустинг		Деревья решений	
Фактор	Значимость	Фактор	Значимость
Реальный валовой внутренний продукт на душу населения	0.29	Реальный валовой внутренний продукт на душу населения	0.59
Уровень безработицы	0.18	Уровень безработицы	0.28
Ежедневное потребление нефти	0.08	Норма прибыли	0.06
Количество новых частных домов	0.07	Ежедневное потребление нефти	0.05
Норма прибыли	0.07	—	—

Источник: результат работы алгоритма поиска значимости переменных моделей

С одной стороны, обе модели показали ожидаемую значимость факторов, таких как реальный валовой внутренний продукт на душу населения и ежедневное потребление нефти.

С другой стороны, модели выявили значимость других, менее традиционных для численного анализа факторов, таких как нормы прибыли. Интересным является тот факт, что ни один из финансовых показателей, в том числе инфляция, данные об акциях и облигациях не попали в первые пять значимых факторов, а в случае деревьев решений не использовались вообще.

Изучение значимости факторов помогает решить ряд задач в прогнозировании и практическом применении моделей, дать представление об экономически важных факторах и помочь государственным органам сосредоточиться на наиболее важных индикаторах для предотвращения или смягчения кризисов.

Эмпирический анализ данных экономики США с помощью машинного обучения показал, что наибольшую значимость имеют три фактора: реальный валовой внутренний продукт на душу населения, уровень безработицы и норма прибыли.

Такой уровень значимости может быть объяснён следующим образом.

Снижение реального ВВП на душу населения означает, что экономика сокращается, а средний доход людей снижается. В результате такое сокращение может уменьшить потребительские расходы и еще больше усугубить рецессию.

Высокий уровень безработицы является одновременно причиной и следствием экономического спада. Рост безработицы снижает доходы домохозяйств, что приводит к снижению потребительских расходов и что, в свою очередь, может привести к дальнейшему экономическому спаду. Высокий уровень безработицы может также сигнализировать о структурных проблемах в экономике.

Снижение нормы прибыли указывает на предстоящие экономические проблемы, так как предприятия стремятся уменьшить расходы и инвестиции в ответ на снижение доходности капитала. Падение нормы прибыли приводит к сокращению производства и, в конечном итоге, к экономическому спаду.

Несмотря на положительные стороны и полезные приложения применения машинного обучения, стоит заметить две особенности, которые требуют дополнительного внимания и дальнейшего изучения. Во-первых, расчёт значимости факторов моделей машинного обучения не всегда напрямую равнозначен статистической значимости. В случае необходимости поиска более формальной значимости требуется провести дополнительное изучение данных и результатов. Во-вторых, поиск взаимосвязи во времени характеризуется сложным соотношением между наступлением кризиса и факторами, так как факторы могут влиять на наступление кризиса и наоборот.

Машинное обучение представляет собой эффективную модель кризисного анализа. Комплексные алгоритмы машинного обучения хорошо подходят для анализа многогранной природы кризисов и ранжирования факторов кризисных событий. Использование машинного обучения для оценки значимости факторов позволяет взглянуть на данную задачу с другой стороны и найти закономерности, нехарактерные для классического статистического подхода.

2.2. Многоагентные системы для моделирования экономической динамики

2.2.1. Текущий статус методов моделирования динамики нормы прибыли

Идея использования многоагентных систем для моделирования нормы прибыли базируется на системно-воспроизводственном подходе.

Критически важным шагом в понимании современного взгляда на влияние нормы прибыли является теорема Окисио. Согласно теореме (Okishio, 1961), которая расходится с классическим марксизмом, долгосрочная норма прибыли не всегда имеет тенденцию к понижению в капиталистической экономике.

Нобуо Окисио показал, что при постоянной реальной заработной плате и внедрении новых технологий норма прибыли должна расти. Другими словами, предполагая, что владельцы капитала получают преимущества новых улучшенных условий производства, а сотрудники не извлекают выгоду хотя бы из части достигнутого прогресса, увеличивая реальную заработную плату, норма прибыли не будет падать.

Теорема Окисио базируется на трёх предположениях: предприятия внедряют новые технологии только при снижении издержек по текущим ценам, реальная ставка заработной платы остается неизменной до и после этих технологических изменений, компании действуют в конкурентной экономике, конкурируя с целью максимизации прибыли.

Теорема оказала серьёзное влияние на современное моделирование влияния нормы прибыли на экономическую динамику.

Стоит заметить, что несмотря на то, что аргументы Окисио учитываются в современных моделях, существует несколько важных аргументов против полноты выводов его теоремы. Предположение о постоянной реальной заработной плате является чрезвычайно упрощенным, так как в реальности большую роль играет классовая борьба, действия профсоюзов и институциональные факторы, что приводит к различиям в реальной заработной плате. Таким образом, существует противоречие с предположением о постоянной заработной плате. Кроме того, теорема не учитывает, что технологические изменения связаны также с другими особенностями, такими как перенакопление капитала или недопотребление. Так же существует критика применимости теоремы для долгого временного горизонта. Даже предполагая, что

краткосрочная динамика, описанная Окисио, верна, долгосрочная динамика перепроизводства и механизмы рыночной конкуренции все равно могут привести к снижению прибыльности.

Первой современной работой, которая рассматривает взаимодействия нормы прибыли с основными макроэкономическими показателями с точки зрения динамических систем, является работа Жерара Дюмениля и Доминика Леви (Duménil, Lévy, 2003). Их динамическая система, построенная на системе дифференциальных уравнений, позволяет описать сложные взаимосвязи и может быть преобразована в многоагентную систему с помощью разделения на более детальные уровни.

Стандартные модели роста в экономической теории основываются на устойчивых состояниях с постоянным темпом роста и устойчивой системой распределения. Авторы изменяют этот подход и интегрируют исторические тенденции, называя их «траектории а-ля Маркс».

Динамика долгосрочных траекторий приводит к постепенному снижению роста капитала, выпуска и занятости, при этом доля заработной платы в общем доходе остается постоянной или уменьшается, а норма прибыли снижается.

Сложная динамическая система, учитывающая эти траектории, состоит из нескольких основных компонентов. Центральное место занимает норма прибыли, далее рассчитывается накопление капитала и технологий. Уровень технологии, в свою очередь, влияет на норму прибыли. Накопление капитала определяет условия для роста выпуска и уровня занятости, но пропорции трансформации капитала в выпуск и уровень занятости косвенно определяются технологией.

При этом большинство взаимосвязей в модели определены вычислительными особенностями систем, но две из них основываются на теоретических разработках системно-воспроизводственного подхода.

Взаимосвязь между нормой прибыли и технологией встроена в теории технических изменений. Эта взаимосвязь представляет из себя математическую функцию, описанную на базе марксистской эволюционной модели технических изменений, разработанную теми же авторами (Duménil, Lévy, 2010).

При создании такой модели они рассматривали подход к техническим изменениям классического и марксистского анализа. Согласно данному подходу, компании выбирают одну технологию из списка конкурирующих технологий в зависимости от относительной прибыльности каждой из них. Предприятия не максимизируют свою норму прибыли на основе производственной функции, как в случае неоклассического анализа. Вместо этого они

рассчитывают на выбор оптимальной нормы прибыли с помощью выбора наиболее подходящей технологии.

Такая функция частично похожа на неоклассическую функцию, но имеет несколько принципиальных отличий. Неоклассические модели используют производственную функцию, зависящую от капитала, труда и технологии. Такие модели предполагают возможность равноценной замены между этими факторами и убывающую отдачу, в то время как модель Дюмениля и Леви опирается на эволюционную функцию максимизации прибыли с использованием динамических колебаний.

Роль инноваций так же воспринимается по-разному. Неоклассические модели предполагают, что технические изменения напрямую зависят от инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы или инвестиций в человеческий капитал. Эволюционная модель рассматривает инновации как случайные явления, которые масштабируются, если они предоставляют возможность получить более высокую норму прибыли по сравнению с текущей. Наконец, в неоклассической функции предполагается, что компании минимизируют затраты и максимизируют выпуск, в то время как эволюционная модель технических изменений подчеркивает постоянный поиск более высокой нормы прибыли в текущих экономических условиях.

Влияние уровня занятости на заработную плату описывается следующим образом. Накопление капитала увеличивает занятость, увеличивая конкуренцию, что вызывает рост заработной платы. Норма прибыли снижается, и это падение вызывает сокращение производства и обесценивание капитала. Через некоторое время, происходит сокращение занятости, увеличивается резервная армия труда, которая уменьшает давление на заработную плату. Одновременно существует другая тенденция, начинающая новый цикл накопления капитала и увеличивающая занятость, несмотря на рост органического строения капитала.

Если детально проанализировать такую логику, можно найти особенности развития: рост заработной платы стимулирует увеличение состава капитала; аккумуляция капитала и технические изменения влияют на рост занятости. Также наблюдается положительный эффект роста занятости на реальную заработную плату с поправкой на рост строения капитала и возникающие кризисы. Тем не менее, исторические тенденции изменений реальной заработной платы остаются неоднозначными.

Дальнейшее развитие применения динамического моделирования для решения задач взаимосвязи нормы прибыли на процессы экономических кризисов приводит к использованию

многоагентных систем. Наиболее полно раскрывает эту тему Джонатан Коглиано и Сяо Цзян (Cogliano, Jiang, 2016).

В своей работе они описывают модель кругооборота капитала с позиции неортодоксальной экономики. Концептуальной особенностью является совмещение модели кругооборота капитала в марксистском стиле с посткейнсианской инвестиционной функцией.

В основе модели лежит кругооборот капитала $D-T \dots P \dots -T' -D'$.

Деньги (или финансовый капитал) D сначала преобразуются в товары T путем авансирования капитальных затрат, при этом T принимает форму постоянного и переменного капитала. Затем T запускается в производственный процесс P и превращается в новый товар T' , содержащий прибавочную стоимость. В конечной точке этот товар продается на рынке и преобразуется обратно в деньги D' . С точки зрения модели кругооборота капитала отношение $D' > D$ предполагает, что D' содержит реализованную прибавочную стоимость.

Модель кругооборота капитала можно рассматривать как синтез ряда теоретических подходов к экономическому росту (Foley, 1982). Идея Кейнса о том, что экономическая активность зависит от совокупного эффективного спроса, выражается в отношении фактической нормы накопления к размеру заимствований.

Модель кругооборота капитала объясняет динамику, стоящую за этим отношением. Увеличение эффективного спроса ускоряет поток стоимости через кругооборот, сокращая задержку реализации (скорость, с которой перемещается стоимость в процессе).

С точки зрения многоагентной модели идея моделирования кругооборота капитала построена следующим образом. Экономика состоит из некоторого количества агентов, компаний, взаимодействующих между собой. Каждая компания владеет двумя типами запасов, финансовым капиталом и производственным капиталом, которые изменяются путём изменения динамики двух потоков, продаж и капитальных затрат. В модели предполагается, что продажи любой конкретной компании зависят напрямую от капитальных трат всех остальных компаний, в простом случае представляя из себя равномерное распределение.

Таким образом, определение капитальных трат является главным фактором моделирования динамики модели. В качестве функции капитальных трат выступает инвестиционная функция в посткейнсианском стиле. Капитальные траты каждой компании в момент времени представляют собой сумму капитальных трат этой компании в предыдущий период и изменения, зависящие от ликвидности и разницы между ключевой ставкой и нормой прибыли. Ликвидность в данном примере представляет из себя отношение финансового капитала к производственному капиталу,

а ключевая ставка устанавливается в зависимости от средней ликвидности в данный момент времени.

Наконец, общие экономические колебания, описывающие наступления кризисных периодов, вычисляются с помощью расчёта текущего ВВП. Заработная плата в модели представляет из себя фиксированный процент капитальных трат. Сумма заработных плат и сумма продаж, умноженная на маржинальность, формирует ВВП на текущий период.

Наибольший интерес для изучения влияния нормы прибыли на динамику представляет разница ВВП за текущий и прошлый период времени. Относительные значения предпочтительны по отношению к абсолютным значениям ВВП, поскольку любая модель компьютерного моделирования совмещает в себе реальные и искусственно созданные входные данные, а также часто приводит к несоответствиям масштабирования, которые могут искажать абсолютные прогнозы. При сосредоточении на процентном изменении ВВП повышается интерпретируемость и надежность результатов вашей модели.

Используя наработки моделирования динамических систем, а также многоагентных систем с использованием теоретических наработок марксизма и кейнсианства, мы создаём модель агентов-фирм, которая оценивает влияние нормы прибыли на колебания ВВП.

Для улучшения поведения модели, в неё добавляется обучение с подкреплением, позволяя использовать поведенческий компонент. С помощью метода обучения с подкреплением агенты ищут оптимальное поведение методом проб и ошибок, руководствуясь поиском максимальной нормы прибыли. Такие агенты могут лучше реагировать на потрясения в экономике или редкие события, тем самым описывая более надежное и реалистичное поведение.

2.2.2. Базовая многоагентная модель

В качестве базовой модели изучения динамики была создана модель, основанная на исследованиях из прошлого раздела. Разница между базовой многоагентной моделью и ее усовершенствованиями с помощью обучения с подкреплением заключается в способе, который агенты используют для адаптации, обучения и взаимодействия с другими агентами.

В базовой многоагентной модели агенты обычно следуют статистическим правилам и стратегиям принятия решений. Эти правила не изменяются с течением времени, так как динамика взаимодействия основана на изначально запрограммированных шагах. Базовые многоагентные модели могут имитировать взаимодействия между агентами, но такое взаимодействие тоже предопределенно с помощью прописанной логики, так как агенты не могут менять своего поведения на основе стратегий других.

В сущности, обучение с подкреплением для многоагентных систем является естественной эволюцией парадигмы многоагентного моделирования, усиливая ее способностью учиться и адаптироваться на основе опыта.

Рассмотрим основные компоненты многоагентной модели. Как было упомянуто в прошлом разделе, наиболее подходящей основой для модели является работа Джонатана Коглиано и Сяо Цзяна. В своей работе они описывают модель кругооборота капитала $D-T \dots P \dots -T' -D'$ в марксистом стиле с посткейнсианской инвестиционной функцией. Дополняя данную модель и вводя уточнения свойства функций, определяющих основное поведение модели, мы приходим к следующему описанию модели.

Начнём описание с базовой логики, которая совпадает с оригинальным исследованием. В основе лежит идея о том, что взаимодействие между компаниями в многоагентной системе позволяет воспроизвести основные аспекты экономических колебаний в моделируемой экономике.

Как и в базовой модели каждая компания обладает двумя типами запасов, финансовым капиталом и производственным капиталом. Финансовый капитал представляет собой сумму реинвестированного финансового капитала прошлого периода и разницу между продажами и капитальными тратами в данный период. Производственный капитал в текущий момент времени рассчитывается как сумма производственного капитала в предыдущий момент и капитальных трат в предыдущий период за вычетом продаж. Модель вычитает продажи после прибыли, поскольку в процессе расчёта производственного капитала маржинальность прибыли дисконтируется.

Коэффициент ликвидности рассчитывается как отношение финансового капитала к производственному.

Функция капитальных трат изменена по сравнению с базовым исследованием. Тем не менее, в данной модели так же подразумевается посткейнсианская интерпретация функции.

Капитальные траты зависят от капитальных трат в предыдущий период, коэффициента ликвидности, процентной ставки и нормы прибыли. Капитальные траты в предыдущий период частично дисконтируются с помощью введения коэффициента гистерезиса. Изменения так же положительно зависят от коэффициента ликвидности и отрицательно – от разницы между нормой прибыли и процентной ставкой.

Первое происходит, поскольку увеличение ликвидности стимулирует инвестиции, а второе, потому что увеличение разницы между нормой прибыли и процентной ставкой увеличивает мотивацию компании получать процент с накопленных средств, а не инвестировать в реальное

производство. Оба этих фактора приводятся к значениям от -1 до 1 с помощью модифицированной функции сигмоида и пропорционально изменяются с помощью коэффициентов альфа и бета.

Функция сигмоида или сигмоидальная функция — это математическая функция, на графике выглядящая как кривая в форме буквы «S». В стандартном виде функция отображает любые входные действительные числа в диапазон от 0 до 1, что позволяет сгладить слишком большие колебания в модели. Модифицированная функция преобразует числа в диапазон от -1 до 1 и имеет вид

$$y = \frac{2}{1 + e^{-x}} - 1 \quad (1)$$

Таким образом, функция капитальных трат позволяет описать положительную зависимость от ликвидности, отрицательную от разницы между нормой прибыли и процентной ставкой, и позволяет уменьшить влияние выбросов значений с помощью применения сигмоидальной функции и корректирующих коэффициентов.

В базовой модели предполагается, что продажи любой конкретной компании зависят напрямую от капитальных трат всех остальных компаний. Часть капитальных затрат каждой фирмы идет на заработную плату, которая тратится мгновенно. В этом случае капитальные затраты фирм распределяются между всеми другими фирмами в форме продаж. Так же модель предполагает отсутствие потребления с доходов капитала и, таким образом, потребление не вычитается из потока продаж.

Продажи напрямую зависят от капитальных трат других компаний через матрицу коэффициентов. В базовой модели матрица коэффициентов представляет собой равномерное распределение, то есть пропорциональное распределение капитальных трат других компаний.

Последняя переменная уровня компании, являющаяся наиболее релевантной для данного исследования, это норма прибыли. Рассчитывается она как отношение разницы между капитальными тратами и продажами, делённое на сумму производственного и финансового капитала.

На уровне экономики, рассчитанном с учётом взаимодействия всех агентов, появляются два значения: процентная ставка и ВВП.

Процентная ставка считается на основе базового уровня процентной ставки и параметризованного среднего значения ликвидности после применения сигмоидальной функции.

Наконец, ВВП представляет из себя сумму заработных плат всех компаний и дохода с продаж, рассчитанного с помощью средней маржинальности прибыли.

Принципиально новой особенностью для модели данного исследования является реализация системы банкротств. Логика банкротств позволяет стабилизировать систему путём распределения активов от обанкротившихся компаний к оставшимся в системе.

Если компания тратит больше, чем зарабатывает, но у нее нет достаточных финансовых резервов или активов для покрытия дефицита, она становится банкротом. После банкротства компания может закрыться, продать свои активы или попытаться реструктуризоваться, если это возможно.

В контексте данной модели для объявления банкротства одно из следующих условий должно выполняться:

- Ограничение финансового капитала для оплаты своих расходов;
- Ограничение производственного капитала, не позволяющее функционировать производству;
- Постоянная убыточность, норма прибыли остаётся ниже необходимого уровня;
- Ликвидность компании слишком низкая на протяжении нескольких периодов;
- Финансовый капитал постоянно меньше капитальных трат.

При выполнении одного или нескольких условий компания попадает под прямой риск банкротства.

Если у компании все еще остается некоторый финансовый капитал и ее общие активы превышают критический уровень, она пытается преобразовать свой финансовый капитал в производительный. Идея заключается в том, что, реинвестируя все имеющиеся у нее денежные средства в производительные активы, она может восстановить производство и избежать банкротства.

Если уровень текущих финансовых активов оказался достаточным для процесса восстановления производственного капитала, то в процессе реинвестиций, производственный капитал увеличивается на сумму финансового капитала, финансовый капитал падает до нуля, капитальные траты временно приостанавливаются, чтобы остановить дальнейший финансовый отток.

Если текущих финансовых активов недостаточно, чтобы покрыть дефицит производственного капитала, компания официально объявляет о банкротстве, то есть она выходит из системы, продает свои активы или проходит процедуру ликвидации. Остаточные активы компании распределяются пропорционально тому, сколько производственного капитала есть у оставшихся компаний. Если ни у одной компании нет производственного капитала, активы делятся поровну между оставшимися компаниями.

После проведения процедуры банкротства на место обанкротившейся компании приходит новая с базовым начальным капиталом. Таким образом количество агентов в экономике остаётся постоянным на протяжении всего процесса. Описание основных переменных модели и их математические формулы приведены в таблице 4.

Таблица 4. Описание базовой многоагентной модели оценки влияния нормы прибыли

Переменная	Формула
Капитальные траты	$C_i^t = C_i^{t-1} * hysteresis - \alpha * sigmoid(r^{t-1} - i_i^{t-1}) + \beta * sigmoid(m_i^{t-1})$
Продажи	$S_i^t = \sum_{j=1}^n A_{ij} * C_j$
Маржинальность прибыли	$q_i^t = \frac{\sum_{j=1}^t S_i^t - \sum_{j=1}^t C_i^t}{\sum_{j=1}^t S_i^t}$
Финансовый капитал	$M_i^t = (1 + i^{t-1}) * M_i^{t-1} - C_i^t + S_i^t$
Производственный капитал	$X_i^t = X_i^{t-1} + C_i^t - S_i^t * (1 - q_i^t)$
Норма прибыли	$r_i^t = \frac{S_i^t - C_i^t}{M_i^t + X_i^t}$
Ликвидность	$m_i^t = \frac{M_i^t}{X_i^t}$
Банкротство	—

Продолжение таблицы 4.

Процентная ставка	$i^t = base_ir + sensitivity * sigmoid(\frac{\sum_{j=1}^n m_j^t}{n})$
ВВП	$GDP^t = wageshare * \sum_{j=1}^n C_j^t + \sum_{j=1}^n S_j^t * \frac{\sum_{j=1}^n q_j^t}{n}$

Источник:

разработка

автора

Примечание — формула банкротства представляет собой набор множества условий, условия детально описаны в первой части пункта 2.2.2

Для анализа динамики системы необходимо подобрать все необходимые параметры модели. Подбор параметров моделей происходит с использованием квартальных данных ВВП США с 1947 по 2024 годы²⁵. Хотя основное внимание в исследовании уделяется экономическим кризисам XXI века, в обучение модели включаются данные за вторую половину XX века для повышения математической значимости результатов и использования исторического контекста анализа. Многие структурные факторы, определяющие современные кризисы, имеют истоки в более ранних десятилетиях. Благодаря использованию более широкого временного набора данных, модель машинного обучения может лучше выявлять как устойчивые, так и возникающие закономерности, связанные с динамикой кризиса. Анализ результатов сосредоточен на понимании кризисов XXI века, в то время как более ранние данные служат для улучшения обучения модели и распознавания базовых закономерностей.

Далее проводится трансформация данных с помощью расчёта процентных колебаний ВВП от периода к периоду.

Параметры модели подбираются на основе случайной величины разницы по модулю между реальными и предсказанными значениями. Используя два момента случайной величины, а именно математическое ожидание и дисперсию, максимизируется функция $-(E(X) + 2 * E((X - E(X))^2))$. Дисперсия рассчитывается с коэффициентом два, поскольку предполагается, что подбор разброса разницы ВВП имеет более важное значение, чем подбор среднего значения. Следующие параметры перебираются с целью максимизации функции: α , β и *hysteresis* капитальных трат, *sensitivity* процентной ставки, а также пороги нормы прибыли и ликвидности, отвечающих за определение банкротства.

²⁵ ВВП США по кварталам // Федерального резервного банка Сент-Луиса URL: <https://fred.stlouisfed.org/series/GDP> (дата обращения: 10.03.2025).

Сам процесс подбора оптимальных параметров, максимизирующих функцию, совершается с помощью генетического алгоритма. Генетические алгоритмы (Гладков и др., 2006) представляют собой адаптивные эвристические алгоритмы поиска, вдохновленные процессом естественного отбора и генетикой. Они являются частью более широкой области эволюционных алгоритмов и используются для поиска приближенных решений задач оптимизации и поиска. Также стоит заметить, что генетические алгоритмы считаются подмножеством искусственного интеллекта, так как они имитируют процесс естественной эволюции для решения задач, обучаясь и адаптируясь к окружающей среде.

В контексте многоагентных систем генетические агенты используются для оптимизации поведения агентов и общей производительности системы. Типичный подход заключается в кодировании параметров системы в виде хромосом в популяции. Затем алгоритм итеративно применяет операторы наследования, мутации и отбора для эволюции поведения в направлении оптимальных решений. Данный подход хорошо себя зарекомендовал в решении задач поиска оптимальных параметров сложных, многоагентных систем.

Используя подобранные параметры, запускается отдельное моделирование длиной в двести периодов. Первые сто периодов используются для калибровки системы, а результаты рассчитываются до годовых периодов вместо квартальных для лучшей интерпретации ВВП в годовом выражении. Результаты показаны на рисунках 5 и 6.



Рисунок 5. Результаты моделирования ВВП для базовой модели

Источник: результат запуска базовой многоагентной модели



Рисунок 6. Распределение изменений ВВП для базовой модели

Источник: результат запуска базовой многоагентной модели

Базовая многоагентная модель позволяет смоделировать основные стилизованные факты изменения ВВП во времени, которые имеют практически равномерное распределение колебаний около нуля. Такое поведение адекватно показывает общие шаблоны колебаний, но не уделяет должного внимания кризисным периодам с резким, неожиданным падением.

2.2.3. Многоагентная модель обучения с подкреплением для моделирования поведенческой компоненты

В многоагентной модели с использованием обучения с подкреплением агенты дополняют основы обычной многоагентной модели и пытаются найти оптимальные стратегии путем поиска субоптимального решения через подход проб и ошибок. Принимая решения через систему вознаграждений и штрафов для своих действий, они меняют свое поведение с целью максимизации долгосрочного вознаграждения. Обучение с подкреплением представляет собой механизм обучения, в котором агенты учатся на основе обратной связи. В данной работе обучение с подкреплением использует метод Q-обучения. Основа метода заключается в расчете

Q-значения кумулятивной награды, которую агент может получить, выполнив определенное действие в текущем состоянии.

Фокусируясь на оптимизации, агенты учатся улучшать свою производительность и совершенствовать свои стратегии для достижения максимального вознаграждения. Сталкиваясь с неопределенностью или неполной информацией, агенты могут сотрудничать и конкурировать с помощью оценки поведения других агентов, проявляя незапрограммированные поведенческие особенности.

Многоагентные системы с использованием обучения с подкреплением и базовые многоагентные модели построены на общей логике, так как фундаментальные принципы взаимодействия агентов в общей среде направлены на достижение целей или оптимизацию задач. Обучение с подкреплением расширяет логику взаимодействия, автономии и оптимизации с помощью метода, основанного на данных и обучении.

Пространство состояний, действий и Q-функция расширяют базовую логику многоагентной системы следующим образом.

Состояние агента определяется параметрами нормы прибыли r_i^t . Действия агента в каждый момент времени выбираются из трёх вариантов в зависимости от наибольшей выгоды в данный момент времени. Компания может увеличить капитальные затраты на 10%, уменьшить капитальные зарплаты на 10% или оставить на том же уровне.

Система вознаграждений агента зависит от двух факторов: максимизации нормы прибыли и стабилизации уровня ликвидности. Наконец, сама функция Q-обучения направлена на поиск значения с учётом максимизации вознаграждения, построенного на основе одного из трёх действий.

График и распределение изменений моделирования ВВП для многоагентной системы с подкреплением представлен на рисунках 7 и 8.

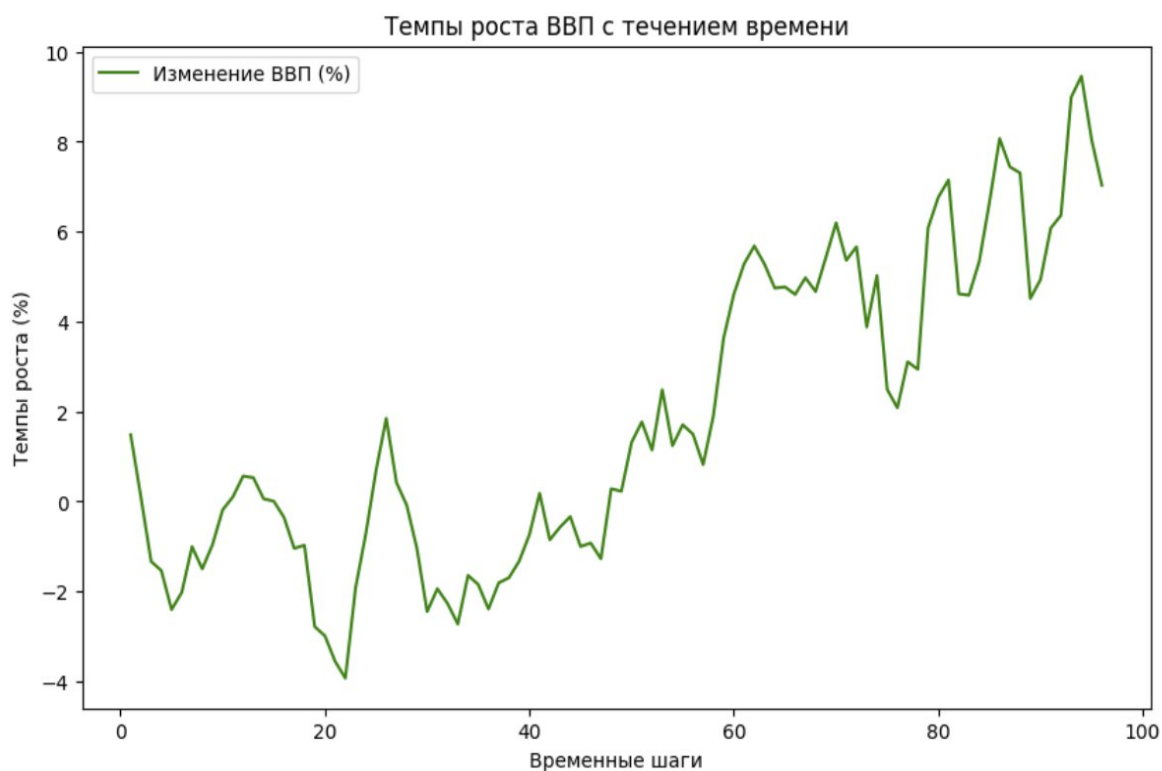


Рисунок 7. Результаты моделирования ВВП для полной модели с применением Q-обучения

Источник: результат запуска многоагентной модели с применением Q-обучения



Рисунок 8. Распределение изменений ВВП для полной модели с применением Q-обучения

Источник: результат запуска многоагентной модели с применением Q-обучения

Особенность результатов модели с поведенческой компонентой заключается в том, что система более корректно отображает неравномерные колебания и спады, что позволяет описать определённые циклические колебания экономики, недоступные в базовой модели.

Использование многоагентной системы для моделирования динамики экономических колебаний показывает, что данный метод искусственного интеллекта в состоянии показать основные факты динамики ВВП в кризисный период и период вне кризиса.

Вывод

Данная глава раскрывает практические особенности применения моделей искусственного интеллекта. Рассматриваются два типа моделей на основе наработок из двух различных направлений искусственного интеллекта, машинного обучения для эмпирического анализа влияния изменения нормы прибыли на возникновения кризиса и многоагентной системы для изучения сложной динамики взаимодействия нормы прибыли и экономической динамики в искусственных системах.

Первый раздел посвящен применению машинного обучения для анализа влияния нормы прибыли на наступление экономических кризисов. Показано, что исследования в этой сфере обычно не используют фактор нормы прибыли для моделей машинного обучения, но используют тесно связанные факторы. Так, факторы безработицы и реальной заработной платы активно применяются для эмпирического анализа кризисных явлений.

Далее показано, как эмпирический анализ с помощью машинного обучения позволяет изучить различные аспекты кризисов в разрезе влияния нормы прибыли. Модели на основе машинного обучения включают в себя независимое применение двух алгоритмов, моделей бустинга и деревьев решений.

Бустинг и деревья решений широко используется в машинном обучении, в частности в финансовом моделировании и анализе экономических явлений.

Деревья решений разделяют набор данных на основе значений переменных с целью максимизации определённой метрики. Деревья характеризуются хорошей интерпретируемостью, так как каждый шаг в дереве представляет собой правило принятия решения и позволяет моделировать сложные взаимосвязи данных.

Бустинг представляет собой метод создания ансамблей модели, который повышает точность прогнозирования путем объединения нескольких простых моделей в более сложную модель. Он работает итеративно, корректируя параметры модели для исправления предыдущих ошибок.

Бустинг отлично справляется с обработкой больших наборов признаков, включая макроэкономические показатели. Обе модели вычисляют степень влияния факторов из категорий, описывающих ВВП, уровень инфляции, рынок недвижимости, рыночный сентимент, информацию об облигациях, акциях, основных ресурсах, банковском секторе, цифровых валютах и трудовых показателях на наступление кризисных периодов. Для объяснения значимости факторов используются математические методы, которые измеряют предельный вклад каждого признака путем усреднения по всем возможным комбинациям признаков.

Путём анализа значимости факторов было выявлено, что норма прибыли занимает высокие позиции по значимости для обеих моделей, тем самым эмпирически подтверждая влияние нормы прибыли на кризис с помощью нелинейных моделей.

Второй раздел показывает использование нормы прибыли для компьютерного моделирования влияния нормы прибыли на экономический кризис. В начале описываются модели экономической динамики, моделирующие траектории развития капитала с помощью дифференциальных уравнений. В последней части раскрываются наиболее актуальные наработки в сфере многоагентных систем.

Далее подробно описываются многоагентные системы, созданные в рамках исследования. Такие системы строятся на основе независимых агентов, симулирующих поведение реальных сущностей. Для моделирования ВВП в качестве агентов системы были выбраны коммерческие предприятия.

В рамках разработки систем были продемонстрированы две версии модели. Базовая версия модели рассматривает экономику, основанную на взаимодействии компаний. Каждой компании принадлежит два типа активов, финансовый и производственный капитал. При этом уровень обоих типов капиталов определяется в каждый момент времени с помощью взаимодействия двух типов потоков капитала, капитальных трат и продаж.

Капитальные траты рассчитываются с помощью посткейнсианской инвестиционной функции, зависящей от ликвидности и разницы между нормой прибыли компании и процентной ставкой. Продажи распределяются равномерно между участниками рынка, в зависимости от уровня капитальных трат. Норма прибыли рассчитывается на каждом шаге для каждой компании отдельно, а процентная ставка вычисляется на основе базовой процентной ставки и средней ликвидности в экономике.

Наконец, для более реалистичного ограничения поведения фирмы система включает в себя симуляцию банкротства на уровне компании, позволяющую перераспределить оставшиеся активы другим участникам рынка.

Более продвинутая модель включает в себя обучение с подкреплением. Обучение с подкреплением представляет собой набор методов ИИ, где агент учится принимать решения, взаимодействуя со средой, чтобы максимизировать кумулятивное вознаграждение. Агент выполняет действия, наблюдает за реакцией системы и получает вознаграждения или штрафы в зависимости от результатов. В качестве функции вознаграждения в улучшенной модели выбрана максимизация прибыли компании через возможность изменения капитальных трат и объявления банкротства.

Базовая версия модели показала возможность симуляции колебаний ВВП в рамках от 1 до -1 % за каждый временной период, что сочетается с эмпирическими данными, однако именно продвинутая модель дала возможность моделировать периодические кризисные периоды с падениями ВВП от 3 до 5 %.

Таким образом, оба типа модели подтверждают гипотезу исследования. Первый тип моделей показывает, что норма прибыли является одним из значимых факторов в наступлении кризисных периодов при использовании сложных нелинейных моделей машинного обучения. Второй тип моделей показывает, как сложные ИИ-системы на основе многоагентного моделирования позволяют создать модель искусственной экономики с колебаниями ВВП, соответствующими реальным экономическим кризисам.

В главе были раскрыты следующие пункты новизны:

- Показано применение современных методов машинного обучения для анализа рецессий с использованием широкого спектра данных экономики и финансовых рынков. Практический анализ на реальных данных, проведённый с помощью машинного обучения, позволяет обнаружить новые нелинейные закономерности;
- Обоснована важность использования показателя нормы прибыли для анализа кризисов с помощью методов искусственного интеллекта. Эмпирически продемонстрировано значение нормы прибыли с помощью машинного обучения. С помощью имитационного моделирования на основе многоагентных систем дополнительно подтвердилась значимость нормы прибыли в моделировании экономической динамики.
- Раскрыта и продемонстрирована возможность использования сложной многоагентной системы с поведенческой компонентой для компьютерного моделирования экономической динамики. Данный метод использует социально-экономические данные и позволяет с помощью использования эмпирических данных провести компьютерное моделирование экономической динамики.

Глава 3. Современная конфигурация мировой экономики как фактор циклического развития²⁶

В предыдущих главах показана разработка систем искусственного интеллекта, позволяющих моделировать цикличность экономического развития на основе факторов из теоретических подходов. В первой главе продемонстрировано, каким образом можно создать систему искусственного интеллекта и какие факторы должны быть выбраны на основе системно-воспроизводственного подхода. Вторая глава детально прорабатывает практическое создание таких моделей, показывая, что системы искусственного интеллекта подходят и для эмпирического анализа кризисных явлений и для компьютерного моделирования экономической динамики.

В текущей главе рассматриваются особенности применения методов искусственного интеллекта в современных реалиях. Эти реалии сформировались с учётом многолетнего процесса изменения конфигурации мировой экономики.

Современная конфигурация мировой экономики является результатом значимых международных сдвигов и институциональных преобразований. В начале века активно развивались институциональные изменения, которые впоследствии существенно повлияли на кризис 2007-2009 годов. В дальнейшем усиление международной конкуренции привело к фундаментальным изменениям в международных отношениях.

Понимание особенностей современной глобальной экономической конфигурации необходимо для понимания влияния изменений конфигурации на динамику цикличности развития.

В главе будут рассмотрены следующие основные элементы, включённые в современную конфигурацию мировой экономики: финансиализация финансовой системы, ведущей к централизации капитала, усилению спекулятивности экономики и отделению финансов от реальной экономики, рост недоверия к государству из-за неэффективного перераспределения ресурсов или неэффективного управления, фрагментация глобальной мировой экономики из-за санкций, торговых барьеров и тарифов.

²⁶ В данной главе использованы материалы, опубликованные в авторской статье: Семенов С.В. Институциональные изменения на рубеже кризисов первой четверти XXI века // Проблемы современной экономики. — 2024. — №. 2(90). — С. 59-61

3.1. Институциональные процессы первой четверти XXI века

Объективные цикличные факторы занимают значительную роль в рамках исследования цикличности и кризисов в экономике. С течением времени эти факторы меняются, а теории дорабатываются под влиянием новых реалий. Таким образом, в современном мире снижение выпуска производимой продукции имеет большее значение, чем кризис перепроизводства, а повышение влияния сферы услуг и недостаток инвестиций в основную инфраструктуру становятся одними из значимых циклических факторов (Пороховский, 2021).

Например, как было указано в первой главе, фундаментальные и институциональные изменения привели к кризису 2007-2009 годов. Так, институциональные изменения в финансовом секторе способствовали увеличению пропорции рискованных инвесторов, что, согласно гипотезе Мински, существенно повлияло на начало мирового финансового кризиса.

До периода мирового финансового кризиса конца 1998 г. институты международной торговли, свободного рынка и инвестиций находились на подъеме. Окончание холодной войны устранило идеологические барьеры на пути глобальной экономической интеграции. Это создало возможности для стран более свободно участвовать в торговле друг с другом и привело к появлению единого пространства для инвестиций. Быстрое развитие технологий облегчило глобальную коммуникацию и увеличило эффективность труда. Создание глобальных цепочек поставок, либерализация торговли привели к снижению тарифов и ослаблению барьеров. Финансовый сектор стал глобальным, позволяя инвесторам в любой точке мира принимать участие в международных потоках капитала. Тем не менее, наблюдая за ситуацией с позиции настоящего времени, становится понятно, что реальная картина сильно отличалась от идеалистичного описания функционирования институтов того времени. Первым событием, продемонстрировавшим это, являлся мировой финансовый кризис 2007–2009 годов.

К началу пандемии COVID-19 уже отчетливо прослеживались тенденции, направленные на протекционизм на государственном уровне. После более чем полувека усилий по снижению международных торговых барьеров США провели несколько резких волн повышения тарифов. В 2018 году импортные тарифы увеличились с 2,6% до 16,6%, охватывая 12,7% годового импорта США. В ответ торговые партнеры ввели ответные пошлины на экспорт США. В свою очередь, эти контрмеры привели к увеличению тарифов с 7,3% до 20,4% на 8073 экспортных товаров на сумму в 8,2% годового экспорта США (Khandelwal, 2020). Этот период характеризуется началом эпохи политического разъединения США и Китая. Подобный рост барьеров стал настолько беспрецедентен для политики предшествующих десятилетий, что такую ситуацию стали называть началом торговой войны (Zhao, 2019).

Пандемия COVID-19, вызванная коронавирусом SARS-CoV-2, появилась в конце 2019 года. Пандемия из локального кризиса быстро переросла в глобальный кризис здравоохранения, который привёл к увеличению смертности и массовому ухудшению здоровья, экономическим потрясениям и значительным общественным изменениям. В разгар эпидемии COVID-19 перед правительствами стран возникла двойная проблема перегрузки системы общественного здравоохранения и возникновения экономического коллапса, спровоцированного пандемией и самоизоляцией. Международные границы были практически полностью закрыты, миллиарды людей находились в социальной изоляции и сотни миллионов людей отправились в вынужденный отпуск или были уволены (Branicki и др., 2021). Решая данную проблему и фокусируясь на защите жизни, экономической и социальной стабильности, государства по всему миру ввели протекционистские меры. Кроме того, кризис создал международную конкуренцию за ограниченные ресурсы, такие как средства индивидуальной защиты, что ещё больше спровоцировало фокус на национальном в противовес международному. Фокус на национальное в этот период активно проявлялся как в развитых (Branicki и др., 2021), так и в развивающихся странах (Tolordava, 2023), а эффективность принятых мер и пропорции популизма напрямую зависели от силы влияния неформальных институтов (Bentkowska, 2021).

С точки зрения эффективности бизнеса в период пандемии большую роль играл институциональный эффект устойчивости предприятий. Опросы свидетельствуют о том, что наиболее устойчивые институциональные субъекты, как из государственного, так и из частного секторов, активно взаимодействовали с обществом и готовы были динамически меняться, исходя из запросов общества и государства (Gherghina и др., 2023). Несмотря на то, что пандемия не изменила фундаментально структуру институтов (Legiędź и др., 2021), она существенно ускорила действующие процессы. Тенденция протекционизма и ослабления текущих союзов бросала вызов для международных институтов.

Потенциал экономического конфликта между Соединенными Штатами и Китаем усилился по мере распространения COVID-19. Для смягчения последствий коронавируса государства начали создавать альтернативные связи и цепочки поставок (Силаев, Проценко, 2020). Эти движения не столько привели к деглобализации, но начали создавать новые, макрорегиональные союзы, тем самым создавая локализованные и детализированные формы глобальной интеграции (Родина, 2020).

Усиливающийся процесс протекционизма, создания альтернативной глобализации и ослабления международных политических институтов доходит до пика к военно-политическому кризису 2022 года.

В результате введения экономических санкций, Российская Федерация начинает активно укреплять связи с другими государствами. Основной фокус смещается на усиление партнёрства в Азии, в частности с Китаем и странами-членами БРИКС в рамках минимизации влияния санкций и поиска альтернативных рыночных партнёров (Basuki, 2023). Таким образом, мировая институциональная система фактически раскололась на две части. Применение санкций серьёзно нарушило традиционные рамки, регулирующие международные экономические отношения, и сформировало антисанкционные альянсы. Резкий распад старого мирового порядка включает в себя пересмотр многих основных аспектов, в том числе глобальной финансовой системы (Гринин, 2023).

Конкуренция за создание новой финансовой системы, в свою очередь, ведёт к новым конфликтам и кризисам, так как этот процесс характеризуется усиливающейся турбулентностью и экономическими потрясениями одновременно. В дальнейшем это только сильнее усилит акцент на альтернативных институтах сотрудничества, таких как БРИКС и ШОС. Эти институты будут действовать как альтернативы институтам старого мирового порядка.

Рассматривая кризисы XXI века с позиции влияния институтов, можно проследить следующую закономерность. Международный финансовый кризис 2007–2009 возник из-за массового использования финансовыми корпорациями высокорисковых, высокодоходных активов. Причина массового использования таких активов заключалась в институциональной среде, которая позволяла и поощряла менеджеров и владельцев таких компаний инвестировать в высокодоходные инструменты, игнорируя потенциальные риски для экономики и общества. Порождённая этим кризисом волна институциональных изменений привела к усилению популизма, протекционизма и уменьшению доверия к государственному сектору. Кризис пандемии только усилил эти факторы. Конкуренция за ресурсы, закрытые границы и создание альтернативных цепочек поставок играла значительную роль в этом процессе. С военно-политического конфликта 2022 года международные противоречия ещё сильнее усиливаются, порождая усиления альтернативных международных институтов, а также только укрепляя внутренние процессы протекционизма.

В ближайшем будущем стоит ожидать усиления тенденций, связанных с созданием других видов глобализации, альтернативных систем институтов и ростом популизма.

3.2. Рост санкционного давления и торговых войн

Международные санкции — это ограничительные меры, вводимые правительствами, международными организациями или коалициями государств для влияния на определённую

страну, организацию, группу или частное лицо. Эти меры обычно используются для обеспечения оказания давления с целью изменения политики того или иного субъекта.

Санкции могут принимать различные формы, включая экономические ограничения, такие как торговые запреты и замораживание активов, дипломатические действия, связанные с запретом на поездки, а также высылка дипломатов, вмешательство в функционирование различных отраслей государственной деятельности через эмбарго на поставки оружия для вооружённых сил или ограничения в поставках техники для производства. Главная цель санкций заключается в том, чтобы принудительно обеспечить соблюдение определённых международных договорённостей. Также санкции могут являться ответом инициатора санкций на действия того или иного актора.

Международное право не рассматривает определённый список экономических санкций, что позволяет каждой стране или организации разрабатывать санкции на основе своих интересов. На уровне международных организаций ООН предоставляет полномочия на введение экономических санкций посредством резолюций Совета Безопасности на основе главы VII Устава ООН²⁷. Тем не менее, из-за противоречия интересов членов Совета Безопасности, санкции ООН применяются редко. Таким образом, чаще всего отдельные государства или объединения государств устанавливают собственные правовые рамки для обеспечения соблюдения экономических мер.

Динамика экономических санкций представляет из себя важный фактор для практического применения выводов данной работы. Для рассмотрения влияний санкций особенно важно оценить период с 2022 года. Период 2022 до 2024 годы характерен внедрением беспрецедентного количества санкций Соединенных Штатов Америки, Европейского Союза, Великобритании и некоторых других стран против экономики Российской Федерации.

Анализ санкционной политики имеет всё большее значение при использовании моделей искусственного интеллекта. Несмотря на то, что в работе используются данные экономики США, анализ современных санкций играет значительную роль по следующим причинам.

Санкции традиционно рассматривались как политический инструмент, однако в современной мировой экономике их влияние выходит за рамки непосредственно затронутых стран и оказывает системное воздействие на глобальные рынки, цепочки поставок, доверие инвесторов и макроэкономические показатели.

²⁷ Устав ООН Глава VII: Действия в отношении угрозы миру, нарушений мира и актов агрессии // Официальный сайт ООН URL: <https://www.un.org/ru/about-us/un-charter/chapter-7> (дата обращения: 11.03.2025).

Во-первых, санкции влияют на глобальные цепочки поставок, в которых активно участвуют американские и международные компании. Введение санкций против крупных поставщиков нефти, газа или редкоземельных металлов может вызвать дефицит, рост цен и перебои в производстве по всему миру.

Во-вторых, санкции могут влиять на поведение международных партнеров, что сказывается на экспорте, импорте и инвестиционных потоках. Так, санкции против России меняют поведение союзников США в Европе, вызывая каскадные изменения в торговле и финансах.

В-третьих, санкции часто вызывают ускоренное перемещение капитала, изменение настроений на рынках и рост общемировой нестабильности, а также влияют на поведение компаний и потребителей.

С технической точки зрения санкции можно рассматривать как внешние шоки, события, нарушающие стандартные закономерности в данных. Так как санкции влияют на мировые рынки и на рынки США, которые наиболее тесно связаны с мировой экономикой, санкционные внешние шоки в моделях будут иметь влияние на описанные в диссертации модели.

Европейский Союз внедрил 18 всеобъемлющих пакетов санкций, нацеленных на такие секторы как финансы, энергетика и оборона с целью ослабить экономический и военный потенциал Российской Федерации.

Эти меры существенно повлияли на экономику России, что привело к росту инфляции, повышению процентных ставок и перераспределению ресурсов в сторону военного сектора.

Введённые санкции можно классифицировать следующим образом.

- Существенные ограничения для российских финансовых учреждений. Несколько крупных российских банков были исключены из международной платежной системы SWIFT, что ограничило их возможности проводить трансграничные транзакции. ЕС ввел полный запрет на транзакции и заморозку активов для нескольких российских банков, фактически отрезав их от европейской финансовой системы²⁸. Кроме того, были введены запреты на предоставление услуг по криптоактивам с высокой стоимостью и трастовых услуг российским юридическим и физическим лицам с целью предотвращения обхода традиционных финансовых санкций.
- Ограничения на экспорт энергоносителей. Были введены существенные санкции против этого критически важного для экономики сектора. Хронологически санкции в этом направлении развивались следующим образом. В марте 2022 года США вводят санкции на запрет любых новых инвестиций в энергетический сектор России гражданами США, а также вводят

²⁸ EU sanctions against Russia explained // Официальный сайт Совета Европейского союза URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/sanctions-against-russia-explained/> (дата обращения: 11.03.2025).

запрет на импорт российской нефти, сжиженного природного газа и угля в США²⁹. В декабре того же года ЕС вводит запрет на морскую транспортировку российской сырой нефти в страны, не входящие в ЕС, и вводит предел цены на экспорт российской нефти, стремясь сократить доходы России от продажи нефти⁹. В феврале 2023 года ЕС расширяет санкции, включая запрет на поставки российских нефтепродуктов, дизельного топлива и керосина, в страны, не входящие в ЕС. В январе 2024 года министерство финансов США расширило список санкций против энергетического сектора России, включая в этот список крупных производителей нефти, таких как Сургутнефтегаз и Газпромнефть, 183 суда, перевозящих нефть, страховые компании и различных поставщиков услуг. В январе 2025 года США ввели³⁰ дополнительные санкции против российского энергетического сектора, сосредоточившись на организациях и лицах, занимающихся добычей, экспортом нефти, проектах сжиженного газа, а также атомной энергетикой. Эти действия были направлены на ослабление возможностей России по производству энергии и ограничение ее доступа к технологиям и услугам, необходимым для отрасли.

- Другая группа санкций направлена на множественные ограничения на импорт продукции, включая средства производства и предметы потребления. Данный тип санкций начал активно применяться с февраля 2022 года. ЕС и США ввели строгий экспортный контроль за передовыми технологиями и товарами двойного назначения. Эти ограничения направлены на то, чтобы воспрепятствовать доступу России к критически важным компонентам, необходимым для военных и технологических достижений. Так, 25 февраля 2022 года ЕС³¹ ввёл санкции, включающие в себя ограничения для беспилотных летающих аппаратов и программного обеспечения для них, программного обеспечения для устройств шифрования, полупроводников и передовой электроники, химикатов, маскировочного снаряжения, редкоземельных элементов, термостатов, деталей машин и станков и многого другого. США ввели аналогичный санкционный пакет в феврале 2022 года³², который включал в себя длинный список технологий,

²⁹ U.S. Prohibits New Investment in Russian Energy Sector by U.S. Persons and Importation into the United States of Certain Russian-Origin Energy Products; EU and UK Issue Supplemental Russia and Belarus Sanctions // Covington URL: <https://www.cov.com/en/news-and-insights/insights/2022/03/us-prohibits-new-investment-in-russian-energy-sector> (дата обращения: 11.03.2025).

³⁰ Treasury Intensifies Sanctions Against Russia by Targeting Russia's Oil Production and Exports // United States Department of the Treasury URL: <https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy2777> (дата обращения: 11.03.2025).

³¹ Council Regulation (EU) 2022/328 of 25 February 2022 amending Regulation (EU) No 833/2014 concerning restrictive measures in view of Russia's actions destabilising the situation in Ukraine // Официальный сайт Европейского Союза URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022R0328> (дата обращения: 11.03.2025).

³² Commerce Implements Sweeping Restrictions on Exports to Russia in Response to Further Invasion of Ukraine // Официальный сайт Министерства торговли США URL: <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2022/02/commerce-implements-sweeping-restrictions-exports-russia-response> (дата обращения: 11.03.2025).

таких как электронные полупроводники, компьютеры, лазеры и телекоммуникации. Санкции активно усиливались в этом направлении, увеличивая список запрещённых товаров и ужесточая режим контроля, а также фокусируясь на контроле посредников, обходящих санкции. Например, последующие санкции Евросоюза включали в себя запрет на импорт любых товаров стоимостью выше 300 евро³³.

- Остальные санкции включают в себя ограничения для разнообразных секторов экономики и персональные санкции. С февраля 2022 года ЕС запретил³⁴ воздушным судам, эксплуатируемым российскими авиаперевозчиками, а также воздушным судам, не зарегистрированным в России, но принадлежащим, зафрахтованным или иным образом контролируемым российскими юридическими или физическими лицами, взлетать с территории ЕС, приземляться на ней или пролетать над ней. ЕС запретил продажу, поставку, передачу или экспорт воздушных судов, космических аппаратов и связанных с ними частей российским юридическим лицам или для использования в России. Этот запрет включает аренду воздушных судов российской стороне. Аналогичные запреты введены другими участниками санкционного процесса. Также введено большое количество персональных санкций, направленных против физических лиц, государственных институтов и компаний. Так, на начало 2025 года в санкционном списке ЕС³⁵ находится более 2400 физических и юридических лиц, аналогичные меры приняты в других странах.

Всего в период с 2022 по 2025 год принято более чем 25000³⁶ санкций против Российской Федерации. Количество и разброс санкций можно сравнить с другими периодами и странами. Наиболее релевантно рассмотреть санкции против Ирана, Северной Кореи и Сирии.

США ввели первые санкции против Ирана с 1979 года, значительно расширив их в 2010-х годах. К 2020 году США ввели более 1500 санкций против Ирана, включая те, которые связаны с его ядерной программой, разработкой оружия и поддержкой политических и вооруженных

³³ Council Regulation (EU) 2022/428 of 15 March 2022 amending Regulation (EU) No 833/2014 concerning restrictive measures in view of Russia's actions destabilising the situation in Ukraine // Официальный сайт Европейского Союза URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2022/428/oj/eng> (дата обращения: 11.03.2025).

³⁴ Aircraft operations — Restrictive measures Russia // Официальный сайт Европейского агентства по безопасности полетов URL: <https://www.easa.europa.eu/en/the-agency/faqs/aircraft-operations-restrictive-measures-russia> (дата обращения: 11.03.2025).

³⁵ Sanctions against individuals, companies and organisations // Официальный сайт Европейской Комиссии URL: https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-sanctions-against-russia-following-invasion-ukraine/sanctions-against-individuals-companies-and-organisations_en (дата обращения: 11.03.2025).

³⁶ Two Years of Anti-Russian Sanctions in Numbers // Sputnik News URL: <https://sputnikglobe.com/20240223/two-years-of-anti-russian-sanctions-in-numbers-1116926607.html> (дата обращения: 11.03.2025).

групп за пределами Ирана. Санкции включают³⁷ заморозку активов, запреты на поездки и ограничения финансовых операций.

Санкции против Северной Кореи особенно активизировались после ее ядерных испытаний в 2006 году. К 2017 году США³⁸ ввели более 400 санкций, направленных против северокорейских лиц, организаций и секторов экономики.

США и ЕС ввели санкции против Сирии с 2011 года, сосредоточившись на режиме Асада и его сторонниках. К 2020 году США³⁹ ввели более 200 санкций.

Таким образом, санкции, введенные против России с 2022 по 2025 годы, беспрецедентны по своему охвату и масштабу, превосходя те, которые были введены ранее против таких стран как Иран, Северная Корея и Сирия. Тем не менее, это не только показывает серьезность воздействия на крупную экономику, но и демонстрирует то, что современный период характеризуется принципиальным усилением международной конкурентности.

Кроме прямых санкций, описанных выше, современный период характерен внедрением различных ограничений торговли между двумя странами. Экспортные и импортные ограничения, а также эмбарго являются наиболее распространенным типом торговых санкций. Кроме того, тарифы и квоты, которые не всегда классифицируются как санкции, играют огромную роль в современном мире.

Согласно исследованиям Всемирной торговой организации (ВТО)⁴⁰, в 2023 году торговля товарами и услугами увеличилась на 0.2%, что является самым медленным темпом за 50 лет за исключением периода глобальных кризисов. Падение было бы ещё более сильным, если бы не рост торговли услугами в этот период. Торговля товарами сократилась примерно на 2 процента, что является самым резким сокращением в этом столетии за исключением кризисных периодов. В результате к концу 2024 года мировая торговля показала самый медленный рост с 1990-х годов.

Всемирный банк⁴¹ наблюдает резкое увеличение международных ограничительных мер с 2008 года. Так, согласно данному источнику, с 2008 по 2023 годы было введено около 800

³⁷ Iran Sanctions // Официальный сайт Государственного департамента США URL: <https://www.state.gov/iran-sanctions/> (дата обращения: 11.03.2025).

³⁸ North Korea Sanctions // Официальный сайт Министерства финансов США URL: <https://ofac.treasury.gov/sanctions-programs-and-country-information/north-korea-sanctions> (дата обращения: 11.03.2025).

³⁹ Syria Sanctions // Официальный сайт Министерства финансов США URL: <https://ofac.treasury.gov/sanctions-programs-and-country-information/syria-sanctions> (дата обращения: 11.03.2025).

⁴⁰ Global trade has nearly flatlined. Populism is taking a toll on growth // World Bank Blogs URL: <https://blogs.worldbank.org/en/voices/global-trade-has-nearly-flatlined-populism-taking-toll-growth> (дата обращения: 11.03.2025).

⁴¹ GLOBAL OUTLOOK // World Bank URL: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/2106db86-a217-4f8f-81f2-7397feb83c1f/content> (дата обращения: 11.03.2025).

ограничительных мер, тогда как количество мер, способствующих увеличению свободной торговли, составило около 200.

Другими словами, существует тренд ограничения свободной торговли на международном уровне. Прямые негативные последствия таких ограничений для экономики стран, участвующих в ограничительных мерах, во многом однозначно трактуются экономистами.

Рассмотрим частные случаи таких ограничений. В своем комплексном анализе «Экономическое влияние торговой войны между США и Китаем» экономисты Пабло Файгельбаум и Амит Ханделвал (Fajgelbaum, Khandelwal, 2022) изучают последствия торгового конфликта на момент исследования.

К концу 2019 года Соединенные Штаты ввели тарифы на китайский импорт на сумму около 350 миллиардов долларов, а Китай принял ответные меры на экспорт США на сумму около 100 миллиардов долларов. Исследование показывает, что потребители США понесли большую часть расходов на тарифы за счет повышения цен на импортные товары. Кроме того, торговая война привела к сокращению совокупного реального дохода как для Соединенных Штатов, так и для Китая. Помимо совокупных эффектов, исследование углубляется в изучение последствия влияния тарифов на потребителей, производителей, занятость в различных секторах и региональные различия в доходах и потреблении в США.

В 2025 году активно усиливается использование различных ограничений в торговых отношениях. Наиболее активно в этом участвует США, используя торговые ограничения для достижения экономических и политических целей. Аргументируя ввод пошлин соображениями национальной безопасности, США вводит дополнительные пошлины на импорт из Канады, Мексики и Китая. Дополнительный тариф в 25% был применен к импорту из Канады и Мексики на все товары, кроме энергоресурсов, а энергоресурсы из Канады облагались тарифом в 10%. Весь импорт из Китая облагался дополнительным тарифом в 10%. Официальная причина тарифов заключалась в том, чтобы призвать эти страны к ответственности за обязательства, связанные с нелегальной иммиграцией и предотвращением незаконного оборота наркотиков в США⁴². Сами тарифы и их применение могут быть приостановлены или временно отложены в зависимости от политической ситуации, как случилось с тарифами на импорт Мексики и Канады

⁴² Fact Sheet: President Donald J. Trump Imposes Tariffs on Imports from Canada, Mexico and China // Официальный сайт Белого дома URL: <https://www.whitehouse.gov/fact-sheets/2025/02/fact-sheet-president-donald-j-trump-imposes-tariffs-on-imports-from-canada-mexico-and-china/> (дата обращения: 11.03.2025).

в феврале и марте 2025⁴³, но это не отменяет сам факт использования тарифов для достижения определённых политических или экономических целей.

Другим типом тарифного давления в 2025 году является введение взаимных тарифов. Согласно данному решению⁴⁴, США ввели симметричные тарифы со странами-импортерами и ограничения в ответ на нетарифные торговые барьеры других стран. Под нетарифными торговыми барьерами подразумеваются различные способы поддержки местного производителя, в том числе с помощью введения различных поддерживающих мер государства.

3.3. Влияние современной конфигурации на моделирование циклического развития

Проведём более детальную аналитику современной ситуации и обсудим различные варианты развития её на ближайшее будущее, затем используем полученные выводы для оценки влияния этих изменений на моделирование с помощью искусственного интеллекта, а также рассмотрим способы работы моделей с данными изменениями.

Мировая экономика и политика претерпевают глубокую трансформацию. Старт активной фазы этой трансформации можно проследить в начале XXI века и активное ускорение изменений в начале 2020-х годов. В ближайшие десятилетия стоит ожидать дальнейшего развития активной фазы изменений.

Ключевые институциональные сдвиги, связанные с финансиализацией и ослаблением доверия к политическим институтам, фрагментация мировой торговли и усиление мер санкционной борьбы, тарифные и торговые войны приводят к изменению фундаментальной архитектуры международного экономического и политического управления. Эта реконфигурация сигнализирует не просто о замене одного гегемона международных отношений на другой, а о формировании более сложного многополярного порядка. Зарождающаяся система обладает фрагментированной структурой, в которой власть более равномерно распределена между различными региональными блоками и различными финансовыми и политическими системами.

На протяжении большей части конца XX и начала XXI веков глобальная международная экономическая система во многом базировалась на неолиберальных принципах. Лидирующей страной в этом порядке являлись Соединенные Штаты Америки, а международное управление

⁴³ Trump pauses tariffs on Mexico and Canada, but not China // Reuters URL: <https://www.reuters.com/world/us/trump-says-americans-may-feel-pain-trade-war-with-mexico-canada-china-2025-02-03/> (дата обращения: 11.03.2025).

⁴⁴ Reciprocal Trade and Tariffs // Официальный сайт Белого дома URL: <https://www.whitehouse.gov/articles/2025/02/reciprocal-trade-and-tariffs/> (дата обращения: 11.03.2025).

поддерживалось структурами, такими как МВФ (IMF), ВТО (WTO) и Всемирный банк (World Bank). Эпоха после окончания холодной войны ознаменовалась кратким периодом относительного консенсуса в отношении глобализации и рыночного либерализма.

За последние десятилетия ситуация начала резко меняться, предполагаемое движение мирового сообщества в сторону неолиберализма и свободных рынков уступило место региональному разнообразию институциональных форм, экономических моделей и политических систем.

В этом контексте многополярность означает не только распределение власти между различными государствами или блоками, но и между негосударственными субъектами, такими как корпорации, финансовые и международные институты. В отличие от биполярности эпохи холодной войны этот формирующийся порядок многогранен и структурно изменчив.

Такое положение вещей можно охарактеризовать как институциональный плюрализм на международном уровне, такую ситуацию, при которой различные механизмы управления могут сосуществовать и конкурировать друг с другом. Государства и корпорации всё чаще придерживаются различных правил в зависимости от сектора, географии и стратегических интересов в конкретном регионе.

Финансиализация оказала существенное влияние не только на экономику, но и на изменения отношений между государством и частным сектором. Переплетения государственно и частного сектора, особенно через такие механизмы как государственный долг, муниципальные облигации и цифровые финансы, ставят под сомнение ясность институциональных ролей. Управление все чаще осуществляется через непрозрачные сети взаимодействия корпораций и государства, а не через формальное право.

Другой особенностью является изменение системы политического доверия в мировом масштабе. Политическое доверие зависит от общественного мнения об институтах власти, об их компетентности и приверженности интересам граждан. Эффективность институтов напрямую зависит от этого взаимоотношения между государством и обществом, без него подрываются эффективность взаимодействия и легитимность институтов.

Экономическая нестабильность и проблемы с эффективностью принимаемых антикризисных государственных мер являются одними из ключевых факторов снижения доверия. После международного экономического кризиса в странах, наиболее сильно пострадавших от кризиса, наблюдалось наиболее резкое падение доверия к правительствам.

Сильное влияние оказывают действия государства в различных кризисных ситуациях, а не только во время экономических кризисов. Так, во время пандемии коронавируса система доверия

к действиям государства подвергалась серьёзному испытанию. Пандемия представляла из себя чрезвычайно редкое событие, которое невозможно было предсказать и которое оказало серьёзное влияние на все основные аспекты жизни человечества от здравоохранения до логистики. Реакция государств и их эффективность в противодействии пандемии отличалась кардинально. Отличалась стратегия самоизоляции, вакцинации и работы госпиталей с одной стороны и экономические меры, связанные с поддержкой производителей и потребителей. Таким образом, государства, эффективно справившиеся с ограничениями и особенностями периода пандемии, поддержали и даже укрепили доверие граждан, но государства, столкнувшиеся с трудностями, только усугубили институциональный кризис доверия к государству и институтам власти. В ситуации вне кризиса монотонное, но качественное предоставление услуг и низкий уровень коррупции способствуют укреплению доверия к власти.

Кроме существенных институциональных изменений, связанных с финансиализацией, реакцией на экономические кризисы и пандемию, принципиально меняется парадигма международных отношений. Так, за несколько десятилетий мировая экономика повернулась от максимальной глобализации в сторону региональной сегментации. Санкции и торговые войны, недавно считавшиеся второстепенными инструментами дипломатии и разрешения конфликтов, всё чаще используются в качестве стратегических инструментов для достижения политических целей, сдерживания соперников и перестройки глобальных экономических альянсов. В ближайшей перспективе эти инструменты, вероятно, станут более изощрёнными, целенаправленными и глубже укоренятся в контексте более широкого соперничества между крупными державами и региональными блоками.

На данный момент мы можем наблюдать рост не только количества санкций, но и усиление детализации санкций. В последние годы наблюдается рост целевых финансовых санкций в отношении отдельных лиц и корпораций, вводятся ограничения на экспорт определённых технологий, замораживаются активы и запрещаются поездки представителей политической элиты, а также накладываются банковские ограничения на конкретные банки.

Санкции вводятся для достижения политического эффекта, но все чаще приводят к непреднамеренным побочным эффектам, включая сбои в глобальных цепочках поставок, кратное увеличение издержек и ответные меры со стороны государств, против которых они направлены. По мере расширения действия санкций сильнее фрагментируется мировая экономическая система.

Кроме прямых санкций, призванных скорректировать поведение того или иного субъекта международных отношений, растёт использование торговых тарифов. В международные

отношения вернулось понятие торговых войн, взаимного введения тарифов и барьеров. Так, начавшаяся массовая торговая война между США и Китаем уже спровоцировала разрушение глобальных цепочек поставок электроники и промышленных товаров, увеличила издержки и цену как для потребителей, так и для производителей, стимулировала перенос производств в другие регионы и подтолкнула многие страны к диверсификации торговых партнеров. Исходя из предпосылок и современных тенденций, стоит ожидать усиления санкционного давления и увеличения нерыночных способов воздействия в ближайшие годы.

Помимо непосредственных экономических издержек, усиливающаяся торговая война имеет более глубокие структурные последствия. Происходят различные трансформации, кардинально влияющие на экономическую ситуацию. Усиливается диверсификация цепочек поставок из-за перемещения производств в другие страны. Одновременно с этим происходит фрагментация мировой торговли, так как страны все больше склонны отдавать предпочтение региональным торговым соглашениям.

В результате современные государства больше не рассматривают экономическую эффективность как главный вектор развития. Вместо этого всё больше учитывается стратегическая устойчивость и национальная безопасность, даже если это означает более высокие издержки и замедление экономического роста. При этом активно развиваются альтернативные международные системы и институты, способствуя фрагментации единой мировой системы.

В ближайшее время стоит ожидать рост блоковых и отраслевых институтов. Мы можем наблюдать эту тенденцию в различных отраслях человеческой деятельности. Например, развиваются соглашения в области международной торговли, такие как Всеобъемлющее и прогрессивное соглашение о Транстихоокеанском партнерстве (CPTPP), Всестороннее региональное экономическое партнёрство (RCEP), Африканская континентальная зона свободной торговли (AfCFTA); создаются системы в области международных платежей и расчетов, включая Трансграничную межбанковскую платежную систему (CIPS), Общество всемирных межбанковских финансовых телекоммуникаций (SWIFT), Платёжную систему стран БРИКС (BRICS pay), а также ряд других инициатив.

Такие системы не полностью изолированы друг от друга, но их взаимосвязь в стратегических секторах становится всё более разобщённой. Мир не стремится к полной деглобализации, но вместо этого происходит альтернативная глобализация, через усиление региональных блоков.

В целом, общую тенденцию с позиции изменений в мире можно охарактеризовать следующим образом.

Ухудшается технологическое сотрудничество, так как конфликты выходят за рамки торговли и напрямую переходят в сферу технологий, включая ограничения продажи полупроводников, чипов, программно-аппаратных комплексов и компьютерных систем. Из-за ограничивающих действий происходит подрыв доверия к мировой торговле и увеличивается непредсказуемость торговой политики. Использование тарифов в качестве политического оружия приводит к вопросам целесообразности долгосрочных инвестиций в мировую торговлю. Как результат неправомерного использования тарифов и санкций происходит ослабление международных институтов. Усиление протекционизма на уровне стран приводит к увеличению защиты отечественных отраслей, что приводит к новым тарифам на импортную продукцию и субсидии для местной промышленности, еще больше фрагментируя мировую экономику. Долгосрочные последствия приводят к формированию новых экономических блоков и ещё большому уменьшению потока глобальных инвестиций.

Рассмотрим более подробно, как озвученные последствия фундаментальных политических изменений влияют на применение методов искусственного интеллекта, описанных в данной работе.

Наиболее актуальными являются следующие особенности, влияющие на применение методов искусственного интеллекта для анализа экономических кризисов с технической и с концептуальной точек зрения в новой турбулентной среде.

Изменение прибыльности и нормы прибыли компании внутри экономики. Наиболее важной особенностью для данной работы является влияние изменений на норму прибыли. Тарифы и торговые ограничения увеличивают затраты на производство для предприятий, полагающихся на импортное сырье, компоненты и технологии. Глобальные цепочки поставок оптимизированы для производства с низкой себестоимостью из-за перевода производств за границу, а при нарушении такой связи снижается эффективность производства. Торговые войны приводят к ответным тарифам и торговым барьерам, ограничивая доступ экспортеров к рынку. Перебои в торговле способствуют инфляции, побуждая центральные банки повышать процентные ставки. Высокие процентные ставки увеличивают стоимость заимствований, сокращая инвестиции в технологии, повышающие производительность. Обратный процесс представляет собой повышение уровня технологии из-за автоматизации производства, связанного с необходимостью компенсации повышения расходов и заработных плат. В рамках этого процесса также предоставляется государственная поддержка некоторых секторов экономики. Таким образом, норма прибыли обычно снижается в краткосрочной перспективе из-за более высоких затрат, неэффективности цепочки поставок и сокращения доступа к мировому

рынку. Однако в долгосрочной перспективе те компании, которые успешно адаптируются посредством автоматизации, изменения цепочки поставок и расширения внутреннего рынка, могут восстановить или даже увеличить прибыльность. Общее воздействие зависит от динамики отрасли, государственной политики и внедрения новых технологий.

Изменение распределения данных. Из-за структурных изменений экономических отношений данные, на которых обучалась модель, хуже воспроизводят текущую экономическую динамику. Такой процесс известен как дрейф концепций и подразумевает изменение в распределении данных с течением времени. В качестве примера можно привести модель, обученную на данных экономики прошлых десятилетий. Такая модель предполагает увеличение торговых потоков с Китаем, но в современной реальности усиление тарифов ведет к сокращению объемов торговли. Это снижает точность прогнозов, основанных на исходной модели.

Изменение важности переменных для моделирования. Переменные международного торгового баланса, стабильности цепочек поставок и метрики поведения потоков капитала имеют различную значимость в зависимости от статуса международных отношений. Например, тенденции торгового дефицита имеют высокую значимость в периоды кризисов прошлого, но после увеличения тенденции деглобализации внутренние производственные индексы становятся более релевантными.

Увеличение волатильности. Резкие изменения ситуации в обороте товаров случаются из-за непредсказуемых политических новостей. В результате происходят изменения в экономических показателях, которые не могут быть выявлены с помощью модели.

Опишем пути оптимизации моделей для практического применения в условиях политических реалий XXI века с учётом описанных особенностей.

Изменение прибыльности и нормы прибыли компании внутри экономики, а также изменение распределения данных представляют из себя изменения статистических показателей выборки, на которых строятся модели. Модели искусственного интеллекта позволяют учитывать такие изменения с помощью постоянного обновления параметров модели через повторное обучение или дообучение в режиме реального времени.

Изменение важности переменных для моделирования должно учитываться во время комплексного анализа факторов для дополнения и изменения модели. С помощью теоретического и эмпирического анализа в модель могут быть добавлены новые факторы, либо из модели может быть удалена часть старых факторов.

Наконец, увеличение волатильности влияет напрямую на качество долгосрочного анализа моделей. Данную особенность нужно принимать во внимание во время практического

использования моделей, оценивая точность анализа модели в зависимости от текущих обстоятельств.

Вывод

Модели на основе искусственного интеллекта позволяют научным учреждениям и исследователям, а также политическим организациям анализировать экономические кризисы. Однако современные проблемы, такие как институциональные изменения, приводящие к рискованному финансовому поведению, и международные политические изменения, такие как торговые войны и санкции значительно влияют на надежность и практическое применение моделей на основе искусственного интеллекта. В данной главе было показано, как эти факторы ограничивают эффективность анализа экономических кризисов.

Институциональные изменения, в частности дерегулирование и изменения в экономической политике играют решающую роль в формировании экономических условий. Модели часто не могут учесть такие изменения из-за быстрого изменения финансовых правил, введения новых типов переменных и непредсказуемости некоторых событий. Финансовые рынки находятся под сильным регуляторным влиянием. Мировой финансовый кризис 2007-2009 годов продемонстрировал, как дерегулирование допустило рискованное финансовое поведение, которое привело к чрезмерному использованию заемных средств.

В современных реалиях на мировую экономику все больше влияния оказывают события новой международной политической реальности, включая торговые войны и санкции. Такие события вносят уровень неопределенности, который с трудом поддается количественной оценке. С 2022 по 2025 годы торговые ограничения и экономические санкции между странами значительно изменили динамику мировой торговли, повлияв на экономическую стабильность.

Модели искусственного интеллекта предназначены для анализа числовых данных, в то время как торговые войны и санкции вызваны политическими решениями, которые сложно оценить количественно. Более того, торговые войны и санкции создают волновые эффекты в разных отраслях, непредсказуемым образом влияя на занятость, инфляцию и доверие инвесторов. Модели могут испытывать трудности с учётом этих нелинейных эффектов и их трансграничных последствий.

Финансовый кризис 2007-2009 годов продемонстрировал, как изменения в регулировании могут создавать непредвиденные финансовые риски в то время как торговые войны и санкции 2022–2025 годов подчеркивают непредсказуемую природу принятия политических решений. Чтобы преодолеть эти ограничения, модели должны интегрировать альтернативные источники

данных и учитывать экспертную оценку в сложных задачах, опирающихся на качественные, а не количественные данные. Хотя искусственный интеллект является мощным инструментом, человеческий опыт и качественный анализ остаются необходимыми элементами для преодоления сложностей анализа экономических кризисов.

В главе подробно раскрыт пункт новизны, выявляющий особенности влияния реалий санкционного давления и торговых войн на анализ с помощью искусственного интеллекта. Проведён теоретический анализ современной политической ситуации, показан потенциальный вектор изменения на ближайшее будущее и продемонстрировано как этот вектор может быть учтён при применении моделей искусственного интеллекта.

Заключение

В диссертационной работе на тему роли искусственного интеллекта в исследовании экономических кризисов XXI века рассмотрено взаимодействие современных технологий искусственного интеллекта и актуальных наработок современных теорий циклического развития.

В первой главе были описаны основные определения, подходы и методы искусственного интеллекта для взаимодействия с экономикой в общем и с экономическими кризисами в частности. В рамках главы проведён обзор современных теорий циклического развития. Показаны способы применения двух ключевых технологий современного искусственного интеллекта, а именно, машинного обучения и многоагентных систем для анализа экономических кризисов и циклического поведения.

Далее описываются основные подходы современных экономических теорий и их исторических предпосылок, а также детально описан системно-воспроизводственный подход к исследованию экономических кризисов.

Таким образом, в первой главе диссертации проводится детальный анализ релевантной теоретической базы исследования экономических кризисов и показывается, какие именно модели ИИ будут использоваться для решения задач исследования.

Во второй главе рассмотрена практическая разработка моделей ИИ. В рамках данного анализа изучаются применение машинного обучения для эмпирического исследования влияния изменения нормы прибыли на возникновение кризиса и многоагентные системы для реалистичного моделирования динамики колебаний ВВП.

Первый тип моделей, модели машинного обучения, применяются для эмпирического исследования взаимосвязи нормы прибыли и кризисных периодов. Использовались два типа моделей - дерево решений и бустинг. После предварительной обработки множества факторов и обучения моделей был составлен рейтинг значимости факторов. Фактор нормы прибыли занял место в первых пяти факторах значимости для обоих моделей.

Второй тип моделей, многоагентные системы, использовались для компьютерного моделирования динамики ВВП. В качестве агентов данной системы выступают коммерческие компании, создающие динамику системы путём взаимодействия друг с другом. Проанализированы два типа моделей - базовая модель и модель с применением обучения с подкреплением.

Базовая модель содержит в себе компании, у которых есть финансовый и производственный капитал в качестве активов и потоки капитальных трат и продаж, которые меняют состояние активов. Капитальные траты вычисляются с помощью посткейнсианской инвестиционной функции, а продажи одной компании линейно зависят от капитальных трат остальных компаний в экономике. Дополнительно описана процедура банкротства для компаний, чьи показатели не позволяют продолжить дальнейшее функционирование.

Следующая модель, модель с применением обучения с подкреплением, добавляет логику обучения с подкреплением на основе техники Q-обучения и тем самым моделирует поведенческий компонент. С помощью данного типа обучения модель получает возможность изменения стратегии капитальных трат при учёте стратегии поиска максимальной нормы прибыли. Стратегия поиска максимальной нормы прибыли строится на оптимальном выборе параметра капитальных трат в зависимости от прошлых действий компании и действий других компаний.

В результате запуска обеих моделей было продемонстрировано динамическое поведение, схожее с реальной годовой динамикой изменений ВВП, при этом модель с применением обучения с подкреплением позволила достичь большего разброса годовых изменений, что более точно описывает циклическое поведение экономики.

Вторая глава продемонстрировала, что методы искусственного интеллекта могут быть эффективно использованы на практике для дополнения или эмпирического подтверждения главных теоретических факторов современных теорий циклического развития.

В третьей главе показаны практические особенности применения моделей на основе искусственного интеллекта в современных реалиях.

В первой части главы рассматриваются особенности институциональных изменений с начала XXI века до 2025 года. Показано, как происходили институциональные изменения до мирового финансового кризиса и каким образом изменение международных и государственных институтов способствовало замедлению глобализации и ухудшению международных отношений.

Во второй части рассматриваются современные реалии санкционного давления и торговых войн, показаны тенденции сегментации глобальных рынков и увеличения международной конкуренции в ближайшем будущем.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для практического применения моделей в текущих реалиях большую роль играет обоснованная оценка новых экономических, социальных и политических факторов. Факторы могут влиять как на ограничения или изменения входных данных модели, так и на интерпретацию результатов для различных стран или блоков стран.

Предметом исследования являются циклические экономические кризисы начала XXI века, для раскрытия предмета исследования были решены следующие **задачи исследования**:

1. Раскрыта связь теоретической базы в области теории циклов и кризисов экономического развития и использования искусственного интеллекта. В ходе исследования проведён обзор основных направлений теорий экономических кризисов и циклов. Показаны исторические предпосылки возникновения различных школ, дана краткая интерпретация современных взглядов основных теорий. Описаны основные аспекты, направления и методы современного искусственного интеллекта. Показана связь теоретической базы в области теории циклов и кризисов экономического развития и использования искусственного интеллекта.

2. Выявлены основные факторы, влияющие на кризисные явления на основе теорий циклического развития. Рассматривается теоретически анализ на примере самого масштабного кризиса современности - мирового экономического кризиса. Детально показаны причинно-следственные связи, состоящие из множества факторов, таких как финансиализация, чрезмерное инвестирование, особая социальная структура накопления. Продемонстрировано, что все эти факторы по большей части были вызваны падением нормы прибыли.

3. Разработана модель с использованием машинного обучения для проведения эмпирического анализа факторов экономических кризисов. Для эмпирической модели выбраны методы машинного обучения, позволяющие найти взаимосвязи между различными численными факторами и кризисными периодами. Путём анализа моделей было подтверждено, что фактор нормы прибыли находится на ведущих местах значимости при анализе кризисов.

4. Создана многоагентная система для компьютерного моделирования динамики экономики. В качестве технологии искусственного интеллекта для моделирования динамики были выбраны многоагентные системы. С помощью данной технологии было показано, каким образом моделирование коммерческих организаций, принимающих решение на основе нормы прибыли, позволяет смоделировать реалистичную динамику годовых изменений ВВП.

5. Обоснованы авторские предложения по оптимизации моделей для практического применения в условиях геополитических реалий XXI века. С помощью проведения анализа институциональных изменений первой четверти века и рассмотрения современных международных политических реалий санкционного давления и торговых войн были выявлены особенности и ограничения применяемых моделей. Анализ показал, что для оптимизации применения моделей в ближайшем будущем необходимо внимательно рассмотреть сегментацию моделирования на уровне стран и наднациональных структур, а также учитывать новые типы

издержек и особенности динамики ослабления глобализации и увеличения глобальной конкуренции.

Основные итоги выполненного исследования можно сформулировать в **раскрытии** следующих **пунктов новизны**:

1. Показано применение современных методов машинного обучения для анализа рецессий с использованием широкого спектра данных экономики и финансовых рынков. Данный пункт был раскрыт во второй главе через анализ актуальных научных работ и запуск собственной модели машинного обучения для поиска нелинейной значимости факторов.

2. Обоснована важность использования показателя нормы прибыли для анализа кризисов с помощью методов искусственного интеллекта. Во второй главе диссертации был проведён детальный анализ исследований, и созданы собственные многоагентные модели и модели машинного обучения. Путём запуска моделей была показана эмпирическая значимость нормы прибыли с использованием машинного обучения и значимость на основе компьютерного моделирования с помощью многоагентных систем.

3. Раскрыта и продемонстрирована возможность использования сложной многоагентной системы с поведенческой компонентой для компьютерного моделирования экономической динамики. Во второй главе исследования было продемонстрировано, что базовые многоагентные системы и системы с поведенческой компонентой могут использоваться для моделирования реалистичной экономической динамики.

4. Систематизированы основные аспекты теорий циклической динамики в первой главе диссертации. Был продемонстрирован исторический контекст возникновения и развития основных направлений в сфере анализа циклической динамики. Детально проанализировано, каким образом системно-воспроизводственный подход используется для анализа кризисов XXI века.

5. Выявлены особенности влияния реалий санкционного давления и торговых войн на анализ с помощью искусственного интеллекта. В третьей главе диссертации описаны новые реалии и проанализировано, как современные изменения могут быть учтены в рамках представленных моделей.

Гипотеза исследования, сформулированная как «модель, включающая в себя данные о норме прибыли, прогнозирует кризисные фазы значительно лучше, чем модель без таких данных», была подтверждена путём запуска алгоритма машинного обучения на реальных данных, а также путём моделирования динамики с помощью многоагентной системы. Детали подтверждения гипотезы приведены во второй главе диссертации.

Рекомендации и перспективы дальнейшего исследования выражаются в апробировании других технологий искусственного интеллекта, использовании более разноплановых и широких наборов данных, а также разделении моделей для различных категорий стран или временных отрезков.

Список использованных источников

Литература

1. Белоусов В. Д., Бирюков В. А. Проблема циклических кризисов в современной макроэкономической теории // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. – 2011. – №. 1. – С. 15-39.
2. Болвачев А. И., Кушнарв К. А. Экономические взгляды С. Кузнеця и рецепция теории среднесрочных циклов в политэкономическом нарративе // Вестник университета. – 2020. – №. 8. – С. 88-101.
3. Бронзино Л. Ю. Критическая социология франкфуртской школы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Социология. – 2007. – №. 3. – С. 52-67.
4. Бузгалин А. В., Колганов А. И. Анатомия кризиса: пределы рынка и капитала // Бузгалин, АВ (ред.-сост.) Главная книга о кризисе: сборник, Москва: Яуза и Эксмо. – 2009а. – С. 9-46.
5. Бузгалин А. В., Колганов А. И. Экономический кризис: за счет кого, как и куда из него выходить? (реактуализация марксизма) // Философия хозяйства. – 2009b. – №. 2. – С. 163-170.
6. Вальрас Л. Элементы чистой политической экономии // М.: Изограф. – 2000. – Т. 448. – С. 5.
7. Гаджиева А. Г. Воспроизводственная роль сферы услуг в современной экономике: дис. – Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 2018.
8. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / Под ред. В.М. Курейчика. — 2-е изд., исправл. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2010. — 368 с.
9. Глазьев, С. Ю., Байзаков, С. Б., Ершов, М. В., Митяев, Д. А., & Фетисов, Г. Г. К устойчивому росту-через справедливый мировой экономический порядок // Российский экономический журнал. – 2012. – №. 2. – С. 57-75.
10. Грамши А. Избранные произведения в трёх томах. Тюремные тетради // Издательство иностранной литературы. – 1959с. – Т. 3 – 794 с.
11. Гринин Л.Е. Ускорение реконфигурации мир-системы в связи с СВО и возможные сценарии будущего. Статья 2. Возможные сценарии реконфигурации Мир-Системы и мирового порядка // Век глобализации. — 2023. — № . 3 (47). — С. 90–115.

12. Дзарасов Р. С. Современный глобальный экономический кризис: мир-системный подход // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2023. – Т. 240. – №. 2. – С. 460-488.
13. Дятел Е. П. К. Маркс: возможности и пределы классового и воспроизводственного подходов // Журнал экономической теории. – 2018. – Т. 15. – №. 1. – С. 107-119.
14. Загидуллина Г. М., Соболев Е. А. Технологические уклады, их роль и значение в развитии инновационной экономики России // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – №. 4 (30). – С. 348-355.
15. Зыченко И. А. Модель экономического развития С. Сисмонди // Российский экономический интернет-журнал. – 2013. – №. 1. – С. 10-10.
16. Канапухин П. А., Масленников О. В. Современный финансово-экономический кризис в свете теории больших циклов Кондратьева // Современный экономический цикл: общее и особенное. – 2010. – С. 162-167.
17. Кейнс М.Дж. Общая теория занятости процента и денег // Государственное издательство иностранной литературы. – 1948 – 398 с.
18. Клименко Л. А. Станислав Михайлович Меншиков (12 мая 1927 г.-13 ноября 2014 г.). Длинные волны в научной судьбе выдающегося экономиста // Кондратьевские волны. – 2015. – №. 4. – С. 191-203.
19. Козырев А. Н. Моделирование НТП, упорядоченность и цифровая экономика // Экономика и математические методы. – 2011. – Т. 47. – №. 4. – С. 131-142.
20. Коротаев А. В., Цирель С. В. Кондратьевские волны в мировой экономической динамике // Системный мониторинг. Глобальное и региональное развитие / ред. ДА Халтурина, АВ Коротаев. М.: Либроком / URSS. – 2009. – С. 189-229.
21. Косолапова М. В., Свободин В. А. Системно-воспроизводственная методология-основа взаимосвязи и координации социально-экономических исследований // Прикладные экономические исследования. – 2017. – №. 1. – С. 47-54
22. Котц Д. М. Взлет и падение неолиберального капитализма / Под ред. издания на русском языке С.Д Бодрунова // М.: ИНИР им. С. Ю. Витте. – 2022 - 257 с.
23. Красникова Е. В. Политэкономическая интерпретация экологического кризиса // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. – 2022. – Т. 14. – №. 3 (45). – С. 25-47.
24. Кулигин В. Д. Гипотеза финансовой нестабильности Х. Мински // Вестник университета. – 2012. – №. 2. – С. 323-328.

25. Куманин Г. М. Капиталистический цикл (Взаимосвязь интернационального и национального процессов) – М.; Изд-во МГУ, 1980 – 215 с.
26. Люксембург Роза, Накопление капитала том I и II / Под ред. Ш.Дволайцкого – Л.: Государственное социально-экономическое издательство, 1934 - 463 с.
27. Маркс К. Капитал // Государственное издательство политической литературы. – 1951а. – Т. 2 – 539 с.
28. Маркс К. Капитал // Государственное издательство политической литературы. – 1951b. – Т. 3 – 932 с.
29. Маркс К. Капитал // Государственное издательство политической литературы. – 1952. – Т. 1 – 794 с.
30. Меньшиков С.М. Длинные волны в экономике: когда общество меняет кожу / С.М. Меньшиков, Л.А. Клименко. - 2-е изд., доп. - М.: URSS: ЛЕНАНД, 2014. - 269 с.
31. Меньшиков С.М. Инфляция и кризис регулирования экономики – М.: Мысль, 1979 – 367 с.
32. Минакир П. А. К вопросу о теории экономических циклов и кризисов // Журнал экономической теории. – 2009. – №. 2. – С. 1.
33. Попов В.В. Экономический цикл и норма прибыли – М.:Наука, 1989 – 176 с.
34. Пороховский А. А. Политическая экономия современного кризиса // Главная книга о кризисе: сборник, Москва: Яуза и Эксмо. – 2009. – С. 47-59
35. Пороховский А. А. Современный экономический кризис–рукотворная стихия // Экономика и управление. – 2009. – №. 2. – С. 4-11.
36. Пороховский А.А. Американский экономический кризис 2020–2021 гг.: циклические и нециклические факторы // США и Канада: экономика, политика, культура. — 2021. — № . 6. — С. 5–21.
37. Пороховский А.А. Путь к национальному экономическому суверенитету: фактор цифровизации в многополярном мире // Исследования по цифровой экономике: коллективная монография / под ред. М.И. Лугачева, А.А. Курдина. — М.: Экономический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, — 2025. — С. 157-169. — 304 с.
38. Прайд В. В., Медведев Д. А. Феномен NBIC-конвергенции. Реальность и ожидания // Философские науки. – 2008. – №. 1. – С. 97-116.
39. Родина Г.А. Пандемия COVID-19 как триггер перехода к новому мировому порядку // Теоретическая экономика. — 2020. — № 11 (71). — С. 31- 38.

40. Семенов С.В. Институциональные изменения на рубеже кризисов первой четверти XXI века // Проблемы современной экономики. — 2024а. — №. 2(90). — С. 59-61
41. Семенов С.В. Применение машинного обучения для анализа значимости факторов кризисных явлений // Искусственные общества. — [Электронный ресурс]. — 2024b. — Т.19. — №. 3. — URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800030844-7-1/> (дата обращения: 30.09.2024)
42. Семенов С.В. Сравнительный анализ теорий внешних факторов экономического цикла // Проблемы современной экономики. — 2023. — №. 3(87). — С. 100-102
43. Семенов С.В. Финансовый кризис 2008 года с позиции радикальной политической экономии // Вопросы политической экономии. — 2024с. — №. 1. — С. 152-166
44. Силаев Н.Ю., Проценко Н.П. Снова модерн? COVID-19 возвращает государству его изначальную природу // Международная аналитика. — 2020. — Т. 11. — №. 1. — С. 11–26.
45. Симонди Ж. Новые начала политической экономии или о богатстве в его отношении к народонаселению. — М.: Соцэкгиз. — 1937. — 386 с.
46. Сироткин В. Б. Трансформация западного капитализма: заключения маржинализма и трудовой теории стоимости // Экономическое возрождение России. — 2017. — №. 2 (52). — С. 65-79.
47. Теняков И. М. Развитие основных подходов в теории экономического роста // Журнал экономической теории. — 2016. — №. 3. — С. 245-252.
48. Теняков И. М. Современный экономический рост: источники, факторы, качество. — 2015 - 260 с.
49. Тесля П.Н. Эпидемия морального риска: уроки финансового кризиса // Дайджест-финансы. — 2013. — № . 12. — С. 60–72.
50. Харрод Р. К теории экономической динамики: новые выводы экономической теории и их применение в экономической политике / М.: Гелиос, 1999. — 160 с.
51. Хубиев К. А. Большой трансформационный цикл и императивы посткризисного развития // Проблемы современной экономики. — 2010. — №. 4. — С. 13-20.
52. Хубиев К. А. Демографический фактор циклического движения экономики: общие закономерности и особенности России // Современный характер циклического воспроизводства: мировое и российское измерение / под ред. К.А. Хубиева. М.: Экономический факультет МГУ, 2012. 160 с. — с.157-158
53. Хубиев К. А. Особенности российского экономического цикла и основные макроэкономические тенденции // Философия хозяйства. — 2009. — №. 2. — С. 192-198.

54. Хутидзе Т. М. Фридрих фон Хайек и экономическая мысль неоавстрийской школы // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 9: Исследования молодых ученых. – 2015. – №. 13. – С. 77-81.
55. Цаголов Н.А. Курс политической экономии в двух томах // Экономика. – 1973 – Т.1 – 830с.
56. Цветков В.А. “Циклы и кризисы: теоретико-методологический аспект: – М.; Нестор-История, 2013. – 504 с.
57. Чалдаева Л. А., Килячков А. А. Унифицированный подход к описанию природы экономических циклов // Финансы и кредит. – 2012. – №. 45 (525). – С. 2-8.
58. Черкасов Д. Ю., Иванов В. В. Машинное обучение // Наука, техника и образование. – 2018. – №. 5 (46). – С. 85-87.
59. Чибриков Г. Г. Норма прибыли: происходит ли ее понижение? // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. – 2008. – №. 4. – С. 20-33.
60. Щепинов М.Г. Капиталистическое воспроизводство и экономические кризисы – М.; Изд-во МГУ, 1980 – 173 с.
61. Abbas H. A., Shaheen S. I., Amin M. H. Organization of Multi-Agent Systems: An Overview // Journal of Intelligent Information Systems. – 2015. – Vol. 4. – №. 3. – p. 46-57.
62. Acemoglu D. The simple macroeconomics of AI // Economic Policy. – 2025. – Vol. 40. – №. 121. – p. 13-58.
63. Agrawal A., Gans J., Goldfarb A. Prediction machines, updated and expanded: The simple economics of artificial intelligence. – Harvard Business Press, 2022 – p. 304.
64. Agrawal A., Gans J., Goldfarb A., Tucker C. Introduction to "The Political Economy of Artificial Intelligence // NBER Chapters, in: The Political Economy of Artificial Intelligence. – 2025.
65. Aydin A. D., Cavdar S. C. Prediction of financial crisis with artificial neural network: an empirical analysis on Turkey // International journal of financial research. – 2015. – Vol. 6. – №. 4. – p. 36.
66. Ba H., Winecoff W. K. American financial hegemony, global capital cycles, and the macroeconomic growth environment // Economics & Politics. – 2024. – Vol. 36. – №. 1. – p. 334-372.
67. Baba C., Kisinbay T. Predicting recessions: A new approach for identifying leading indicators and forecast combinations. // International Monetary Fund, 2011.
68. Ban G. Y., El Karoui N., Lim A. E. B. Machine learning and portfolio optimization // Management Science. – 2018. – Vol. 64. – №. 3. – p. 1136-1154.

69. Basu D., Manolacos P. T. Is there a tendency for the rate of profit to fall? Econometric evidence for the US economy, 1948-2007 // *Review of Radical Political Economics*. – 2013. – Vol. 45. – №. 1. – p. 76-95.
70. Basuki L. W. Impact of the Russia Ukraine conflict on economic deglobalization // *Journal of Social Political Sciences*. — 2023. — Vol. 4. — № . 3. — p. 277–299.
71. Bašić F., Globan T. Early bird catches the worm: finding the most effective early warning indicators of recessions // *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. – 2023. – Vol. 36. – №. 1.
72. Bentkowska K. Response to governmental COVID-19 restrictions: the role of informal institutions // *Journal of Institutional Economics*. — 2021. — Vol. 17. — № . 5. — p. 729–745.
73. Bijmens G., Karimov S., Konings J. Does automatic wage indexation destroy jobs? A machine learning approach // *De Economist*. – 2023. – Vol. 171. – №. 1. – p. 85-117.
74. Branicki L., Sullivan-Taylor B., Brammer S. Towards crisis protection (ism)? COVID-19 and selective de-globalization // *Critical perspectives on international business*. — 2021. — Vol. 17. — № . 2. — p. 230–251.
75. Brenner R. The economics of global turbulence: the advanced capitalist economies from long boom to long downturn, 1945-2005. – Verso. – 2006.
76. Bryan D., Martin R., Rafferty M. Financialization and Marx: Giving labor and capital a financial makeover // *Review of radical political economics*. – 2009. – Vol.41. – №. 4. – p. 458-472.
77. Bryan D., Rafferty M. Financial derivatives: The new gold? // *Competition & change*. – 2006. – Vol. 10. – №. 3. – p. 265-282.
78. Caccioli F., Barucca P., Kobayashi T. Network models of financial systemic risk: a review // *Journal of Computational Social Science*. – 2018. – Vol. 1. – p. 81-114.
79. Calvez B., Hutzler G. Automatic tuning of agent-based models using genetic algorithms // *International workshop on multi-agent systems and agent-based simulation*. – 2005. – p. 41-57.
80. Caruso L. The ‘knowledge-based economy’ and the relationship between the economy and society in contemporary capitalism // *European Journal of Social Theory*. – 2016. – Vol.19. – №. 3. – p. 409-430.
81. Casabianca E. J. et al. An early warning system for banking crises: From regression-based analysis to machine learning techniques // *EconPapers*. Orebro. – 2019.
82. Chalaux T., Turner D. Doombot versus other machine-learning methods for evaluating recession risks in OECD countries // *Documents de travail du Département des Affaires économiques de l'OCDE*. – 2024.

83. Chen M. et al. Identifying financial crises using machine learning on textual data // *Journal of Risk and Financial Management*. – 2023. – Vol. 16. – №. 3. – p. 161.
84. Chow H. K., Choy K. M. Analyzing and forecasting business cycles in a small open economy: a dynamic factor model for Singapore // *Journal of Business Cycle Measurement and Analysis*. – 2009. – Vol. 3. – №. 1. – p. 19
85. Chudik A., Kapetanios G., Pesaran M. H. A one covariate at a time, multiple testing approach to variable selection in high-dimensional linear regression models // *Econometrica*. – 2018. – Vol. 86. – №. 4. – p.1479-1512.
86. Chui M. et al. The economic potential of generative AI. – 2023.
87. Chung S. Inside the black box: Neural network-based real-time prediction of US recessions // *arXiv e-prints*. – 2023.
88. Clegg J. Global imbalances and the global crisis: a preliminary discussion // *World Review of Political Economy*. – 2010. – Vol. 1. – №. 3. – p. 407-421.
89. Cogliano J. F., Jiang X. Agent-based computational economics: simulation tools for heterodox research // *Handbook of Research Methods and Applications in Heterodox Economics*. – Edward Elgar Publishing, 2016. – p. 253-271
90. Cámara Izquierdo S. The cyclical decline of the profit rate as the cause of crises in the United States (1947-2011) // *Review of Radical Political Economics*. – 2013. – Vol. 45. – №. 4. – p. 463-471.
91. Dasgupta N. Using satellite images of nighttime lights to predict the economic impact of COVID-19 in India // *Advances in Space Research*. – 2022. – Vol. 70. – №. 4. – p. 863-879.
92. Davis E. P., Karim D. Could early warning systems have helped to predict the sub-prime crisis? // *National Institute Economic Review*. – 2008. – Vol. 206. – p. 35-47.
93. Desai R., Freeman A. VALUE AND CRISIS THEORY IN THE "GREAT RECESSION" // *World Review of Political Economy*. – 2011. – p. 35-47.
94. DiMaggio P.J., Powell W.W. The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields // *American sociological review*. — 1983. — p. 147–160.
95. Domar E. D. Expansion and employment // *The American Economic Review*. – 1947. – Vol. 37. – №. 1. – p. 34-55.
96. Duménil G., Lévy D. Technology and distribution: historical trajectories à la Marx // *Journal of economic behavior & organization*. – 2003. – Vol. 52. – №. 2. – p. 201-233.

97. Duménil G., Lévy D. The classical-Marxian evolutionary model of technical change: application to historical tendencies // Handbook of alternative theories of economic growth. – Edward Elgar Publishing. – 2010. – p.44
98. Duménil G., Lévy D. The crisis of the early 21st century: general interpretation, recent developments, and perspectives // World Review of Political Economy. –2011. – p. 562-580.
99. Duménil G., Lévy D. The profit rate: where and how much did it fall? Did it recover? (USA 1948-2000) // Review of Radical Political Economics. – 2002. – Vol.34. –№. 4. – p. 437-461.
100. Erik Brynjolfsson, Daniel Rock, and Chad Syverson Brynjolfsson E., Rock D., Syverson C. Artificial intelligence and the modern productivity paradox // The economics of artificial intelligence: An agenda. – 2019. – Vol. 23. – №. 2019. – p. 23-57.
101. Fajgelbaum P. D., Khandelwal A. K. The economic impacts of the US–China trade war // Annual Review of Economics. – 2022. – Vol. 14. – №. 1. – p. 205-228.
102. Falco M., Robiolo G. A systematic literature review in multi-agent systems: Patterns and trends // 2019 XLV Latin American Computing Conference (CLEI). – IEEE, 2019. – p. 1-10.
103. Foley D. K. Realization and Accumulation in a Marxian Model of the Circuit of Capital // Journal of Economic Theory. – 1982. – Vol. 28. – №. 2. – p. 300-319.
104. Fouliard J. et al. Answering the queen: Machine learning and financial crises. – National Bureau of Economic Research. – 2021. – №. w28302.
105. Gao Z., Kang C., Wu X. Intelligent Monitoring and Management of Trade Logistics Based on Big Data and Computer Vision Technology // Procedia Computer Science. – 2024. – Vol. 243. – p. 700-707.
106. Gherghina S., Volintiru C., Sigurjonsson T. O. Making a difference: the effects of institutional resilience in society during COVID-19 // European Political Science. — 2023. — Vol. 22. — № . 3. — p. 426–435.
107. Goldman Sachs, “Generative AI could raise global GDP by 7 percent,”. — 2023. — — [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/generative-ai-could-raise-global-gdp-by-7-percent.html>
108. Grinin L., Korotayev A., Malkov S. The mathematical model of Juglar cycles and the current global crisis // History & Mathematics: Processes and Models of Global Dynamics / Edited by Leonid Grinin, Peter Herrmann, Andrey Korotayev, and Arno Tausch. – Volgograd: ‘Uchitel’ Publishing House. – 2010. – p. 138–187.
109. Göbel M., Araújo T. Indicators of economic crises: a data-driven clustering approach // Applied Network Science. – 2020. – Vol. 5. – p. 1-20.

110. Hampole M. et al. Artificial intelligence and the labor market. – National Bureau of Economic Research. – 2025. – №. w33509.
111. Hayek F., Monetary Theory and the Trade Cycle [1929] // Jonathan Cape, London – p. 244.1933. – p. 244.
112. Hellwig K. P. Predicting fiscal crises: A machine learning approach. – International Monetary Fund. – 2021. – p. 65.
113. Hinterlang N., Tänzer A. Optimal monetary policy using reinforcement learning. – Deutsche Bundesbank Discussion Paper. – 2021. – №. 51/2021.
114. Holopainen M., Sarlin P. Toward robust early-warning models: A horse race, ensembles and model uncertainty // Quantitative Finance. – 2017. – Vol. 17. – №. 12. – p. 1933-1963.
115. Hulten, Charles R, “Growth Accounting with Intermediate Inputs,” The Review of Economic Studies. – 1978. – №.45. – p. 511–518.
116. Hummel P., McAfee R. P. Machine learning in an auction environment // Journal of Machine Learning Research. – 2016. – Vol. 17. – №. 197. – p. 1-37.
117. Hung H. Rise of China and the global overaccumulation crisis // Review of International Political Economy. – 2008. – Vol. 15. – №. 2. – p. 149-179.
118. Ide E., Talamas E. Artificial Intelligence in the Knowledge Economy // Proceedings of the 25th ACM Conference on Economics and Computation. – 2024. – p. 834-836.
119. Iqbal A., Bowman K. Can Machine Learning Improve Recession Prediction Accuracy? // Journal of Applied Economics and Business. - 2018. - Vol. 6. - № 4. – p. 16– 34.
120. Kasirzadeh A. Two types of AI existential risk: decisive and accumulative // Philosophical Studies. – 2025. –№ 182(7). – p. 1-29.
121. Keilbar G., Wang W. Modelling systemic risk using neural network quantile regression // Empirical Economics. – 2022. – Vol. 62. – № 1. – p. 93-118
122. Kiley M. T. Recession Signals and Business Cycle Dynamics: Tying the Pieces Together. / Finance and Economics Discussion Series 2023-008: Board of Governors of the Federal Reserve System. – 2023.
123. Kitchin J. Cycles and Trends in Economic Factors // Review of Economics and Statistics. - 1923. - p. 10–16
124. Ko B. C., Kwak S. Survey of computer vision-based natural disaster warning systems // Optical Engineering. – 2012. – Vol. 51. – №. 7.
125. Kotz D. M. Over-investment and the economic crisis of 2008 // World Review of Political Economy. – 2011. – p. 5-25.

126. Kotz D. M. The financial and economic crisis of 2008: A systemic crisis of neoliberal capitalism // Review of radical political economics. – 2009. – Vol. 41. – №.3. – p. 305-317.
127. Kotz D. M. The rate of profit, aggregate demand, and the long economic expansion in the United States since 2009 // Review of Radical Political Economics. – 2019. – Vol. 51. – №. 4. – p. 525-535
128. Lapavistas C. Financialised capitalism: Crisis and financial expropriation // Historical materialism. – 2009. – Vol. 17. – №. 2. – p. 114-148.
129. Legiędź T. et al. The impact of Covid-19 pandemic on the institutional change in developing countries // *Ekonomia i Prawo. Economics and Law.* — 2021. — Vol. 20. — №. 3. — p. 587–601.
130. Lucarelli D. B. Financialization and global imbalances: prelude to crisis // Review of Radical Political Economics. – 2012. – Vol. 44. – №. 4. – p. 429-447.
131. Luft C. Over-accumulation as the Main Source of Capitalist Crises // World Review of Political Economy. – 2010. – p. 238-249.
132. Malthus, Principles of Political Economy / London: W. Pickering. - 1836. - [Электронный ресурс]. — URL: <https://oll.libertyfund.org/titles/malthus-principles-of-political-economy> (дата обращения: 11.07.2025)
133. Mamedov A. A. et al. Analysis of the Principle of Multiagent System Functioning in Assessing the Effectiveness of Regulatory Legal Acts // IV International Scientific and Practical Conference 'Anthropogenic Transformation of Geospace: Nature, Economy, Society' (ATG 2019). – 2020. – p. 181-186.
134. Marshall A. Principles of Economics Eighth Edition [1890] // Palgrave Macmillan. - 2013. - p.706
135. McDonough T. The Irish crash in global context // World Review of Political Economy. – 2010. – p. 442-462.
136. Medeiros M. C. et al. Forecasting inflation in a data-rich environment: the benefits of machine learning methods // Journal of Business & Economic Statistics. – 2021. – Vol. 39. – №. 1. – p. 98-119.
137. Milton Friedman, Anna J. Schwartz A Monetary History of the United States, 1867–1960 // Princeton University Press. - 1963. - 860p.
138. Moseley F. The US economic crisis: From a profitability crisis to an overindebtedness crisis // Review of Radical Political Economics. – 2013. – Vol. 45. – №. 4. – p. 472-477.
139. Neftci E. O., Averbek B. B. Reinforcement learning in artificial and biological systems // Nature Machine Intelligence. – 2019. – Vol. 1. – №. 3. – p. 133-143.

140. Okishio N. Technical change and the rate of profit // Kobe university economic review. – 1961. – Vol. 7. – p. 85-99
141. Pesaran M. H., Smith R. P. High-dimensional forecasting with known knowns and known unknowns // National Institute Economic Review. – 2024. – Vol. 267. – p. 1-25.
142. Riaz S. The global financial crisis: an institutional theory analysis // Critical perspective on international business. — 2009. — Vol. 5. — № . 1/2. — p. 26–35.
143. Rothbard M. N. Milton Friedman Unraveled // Journal of Libertarian Studies. – 2002. – Vol. 16. – №. 4 – p. 37-54.
144. Sahinoz S., Cosar E. Understanding Sectoral Growth Cycles and Impact of Monetary Policy in The Turkish Manufacturing Industry // Central bank of Republic of Turkey Working Paper. – 2010. – Vol. 10.
145. Sam M. K., Joo L. S. Dating rules for turning points of growth cycles in Korea //Journal of Business Cycle Measurement and Analysis. – 2009. – № .1 – p. 1-12.
146. Sapienza P., Zingales L. A trust crisis // International Review of Finance. — 2012. — Vol. 12. — № . 2. — p. 123–131.
147. Seng J. L., Yang H. F. The association between stock price volatility and financial news—a sentiment analysis approach // Kybernetes. – 2017. – Vol. 46. – №. 8. – p. 1341-1365.
148. Shrirame V. et al. Consumer behavior analytics using machine learning algorithms // 2020 IEEE international conference on electronics, computing and communication technologies (CONECCT). – 2020. – p. 1-6.
149. Sobiech R. et al. Trust in government in times of economic crisis // Studia z Polityki Publicznej. — 2016. — Vol. 9. — № . 1. — p. 111–126.
150. Tarkocin C., Donduran M. Constructing early warning indicators for banks using machine learning models // The North American Journal of Economics and Finance. – 2024. – Vol. 69.
151. Tolordava T. The Race Against Restrictions: How Institutions Failed to be a Role Model for Georgian Society // Caucasus Analytical Digest. — 2023. — № . 131. — p. 14–19.
152. Tölö E. Predicting systemic financial crises with recurrent neural networks // Journal of Financial Stability. – 2020. – Vol. 49.
153. Uslaner E. M. Trust and the economic crisis of 2008 // Corporate Reputation Review. — 2010. — Vol. 13. — p.110–123.
154. Vrontos S. D., Galakis J., Vrontos I. D. Modeling and predicting US recessions using machine learning techniques // International Journal of Forecasting. – 2021. – Vol. 37. – №. 2. – p. 647-671.

155. Wade R. A new global financial architecture? // *New Left Review* – 2007. – Vol. 46. – p. 113-129.
156. Wallerstein I. M. *The Modern World-System I: Capitalist Agriculture and the Origins of the European World-Economy in the Sixteenth Century*. New York: Academic Press. - 1974
157. Wang G. et al. Establishment of a financial crisis early warning system for domestic listed companies based on three decision tree models // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2020. – Vol. 2020. – №. 1.
158. Wang Z. et al. Economic recession prediction using deep neural network // *The journal of financial data science*. – 2022. – Vol. 4. – №. 3. – p. 108-127.
159. Yoon J. Forecasting of real GDP growth using machine learning models: Gradient boosting and random forest approach // *Computational Economics*. – 2021. – Vol. 57. – №. 1. – p. 247-265.
160. Zhang Z., Zohren S., Roberts S. Deep Reinforcement Learning for Trading // *The Journal of Financial Data Science*. – 2020. – Vol. 2. – №. 2. – p. 25-40.
161. Zhao M. Is a new Cold War inevitable? Chinese perspectives on US–China strategic competition // *The Chinese Journal of International Politics*. – 2019. – Т. 12. – №. 3. – p. 371–394.

Электронные ресурсы

162. ВВП США по кварталам // Федеральный резервный банк Сент-Луиса URL: <https://fred.stlouisfed.org/series/GDP> (дата обращения: 10.03.2025).
163. Воронцов К. В. Машинное обучение, искусственный интеллект и экономика будущего // Профессиональный информационно-аналитический ресурс, посвященный машинному обучению, распознаванию образов и интеллектуальному анализу данных. – 2018. – URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/e/e5/Voron-2017-06-19-school-IX.pdf> (дата обращения: 04.04.2025).
164. Годовой отчёт 2023 // Институт искусственного интеллекта МГУ URL: https://iai.msu.ru/upload/Results_2023.pdf (дата обращения: 23.06.2025).
165. ГОСТ Р 71476-2024 Искусственный интеллект. Концепции и терминология искусственного интеллекта // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=263925> (дата обращения: 23.06.2025).
166. Кризис (в экономике) // Портал. Большая российская энциклопедия URL: <https://bigenc.ru/c/krizis-v-ekonomike-ef2761> (дата обращения: 05.07.2025).

167. Национальное бюро экономических исследований URL: <https://www.nber.org> (дата обращения: 11.03.2025).
168. Организация экономического сотрудничества и развития URL: <https://www.oecd.org/> (дата обращения: 11.03.2025).
169. Устав ООН Глава VII: Действия в отношении угрозы миру, нарушений мира и актов агрессии // Официальный сайт ООН URL: <https://www.un.org/ru/about-us/un-charter/chapter-7> (дата обращения: 11.03.2025).
170. Федеральный резервный банк Сент-Луиса URL: <https://www.stlouisfed.org/> (дата обращения: 11.03.2025).
171. Aircraft operations — Restrictive measures Russia // Официальный сайт Европейского агентства по безопасности полетов URL: <https://www.easa.europa.eu/en/the-agency/faqs/aircraft-operations-restrictive-measures-russia> (дата обращения: 11.03.2025).
172. Business Cycle Dating Procedure // NBER URL: <https://www.nber.org/research/business-cycle-dating/business-cycle-dating-procedure-frequently-asked-questions> (дата обращения: 25.03.2025).
173. Commerce Implements Sweeping Restrictions on Exports to Russia in Response to Further Invasion of Ukraine // Официальный сайт Министерства торговли США URL: <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2022/02/commerce-implements-sweeping-restrictions-exports-russia-response> (дата обращения: 11.03.2025).
174. Council Regulation (EU) 2022/328 of 25 February 2022 amending Regulation (EU) No 833/2014 concerning restrictive measures in view of Russia's actions destabilising the situation in Ukraine // Официальный сайт Европейского Союза URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022R0328> (дата обращения: 11.03.2025).
175. Council Regulation (EU) 2022/428 of 15 March 2022 amending Regulation (EU) No 833/2014 concerning restrictive measures in view of Russia's actions destabilising the situation in Ukraine // Официальный сайт Европейского Союза URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2022/428/oj/eng> (дата обращения: 11.03.2025).
176. Energy Institute URL: <https://www.energyinst.org/> (дата обращения: 11.03.2025).
177. EU sanctions against Russia explained // Официальный сайт Совета Европейского союза URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/sanctions-against-russia-explained/> (дата обращения: 11.03.2025).

178. FACTBOX-U.S., European bank write downs, credit losses — Текст: электронный // Reuters. — 2009. — 5 ноября — URL: <https://www.reuters.com/article/banks-writedowns-losses-idCNL554155620091105/?rpc=44>(дата обращения: 07.03.2025).
179. Generative AI could raise global GDP by 7% // Goldman Sachs URL: <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/generative-ai-could-raise-global-gdp-by-7-percent.html> (дата обращения: 04.07.2025).
180. Generative artificial intelligence in finance (EN) OECD ARTIFICIAL INTELLIGENCE PAPERS December 2023 No. 9 // OECD URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/12/generative-artificial-intelligence-in-finance_37bb17c6/ac7149cc-en.pdf(дата обращения: 19.08.2025).
181. Global trade has nearly flatlined. Populism is taking a toll on growth // World Bank Blogs URL: <https://blogs.worldbank.org/en/voices/global-trade-has-nearly-flatlined-populism-taking-toll-growth> (дата обращения: 11.03.2025).
182. Great Recession/ Brian Duignan — Текст: электронный // Britannica. — 2023. — 27 декабря — URL: <https://www.britannica.com/money/topic/great-recession>(дата обращения: 07.03.2025).
183. How the U.S. Public and AI Experts View Artificial Intelligence // Pew Research Center URL: <https://www.pewresearch.org/internet/2025/04/03/how-the-us-public-and-ai-experts-view-artificial-intelligence> (дата обращения: 05.07.2025).
184. Introducing ChatGPT // OpenAI URL: <https://openai.com/index/chatgpt/> (дата обращения: 05.07.2025).
185. Iran Sanctions // Официальный сайт Государственного департамента США URL: <https://www.state.gov/iran-sanctions/> (дата обращения: 11.03.2025).
186. North Korea Sanctions // Официальный сайт Министерства финансов США URL: <https://ofac.treasury.gov/sanctions-programs-and-country-information/north-korea-sanctions> (дата обращения: 11.03.2025).
187. Rate of Profit Stats // FRED — URL: <https://fredaccount.stlouisfed.org/public/dashboard/53250>(дата обращения: 22.04.2025).
188. Reciprocal Trade and Tariffs // Официальный сайт Белого дома URL: <https://www.whitehouse.gov/articles/2025/02/reciprocal-trade-and-tariffs/> (дата обращения: 11.03.2025).
189. Sanctions against individuals, companies and organisations // Официальный сайт Европейской Комиссии URL: <https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu->

sanctions-against-russia-following-invasion-ukraine/sanctions-against-individuals-companies-and-organisations_en (дата обращения: 11.03.2025).

190. Stock Prices in the Financial Crisis/Gerald P. Dwyer — Текст: электронный // Federal Reserve Bank of Atlanta. — 2009. — URL: <https://www.atlantafed.org/cenfig/publications/notesfromthetvault/0909>(дата обращения: 07.03.2025).

191. Syria Sanctions // Официальный сайт Министерства финансов США URL: <https://ofac.treasury.gov/sanctions-programs-and-country-information/syria-sanctions> (дата обращения: 11.03.2025).

192. Treasury Intensifies Sanctions Against Russia by Targeting Russia's Oil Production and Exports // United States Department of the Treasury URL: <https://home.treasury.gov/news/press-releases/jy2777> (дата обращения: 11.03.2025).

193. Trump pauses tariffs on Mexico and Canada, but not China // Reuters URL: <https://www.reuters.com/world/us/trump-says-americans-may-feel-pain-trade-war-with-mexico-canada-china-2025-02-03/> (дата обращения: 11.03.2025).

194. Two Years of Anti-Russian Sanctions in Numbers // Sputnik News URL: <https://sputnikglobe.com/20240223/two-years-of-anti-russian-sanctions-in-numbers-1116926607.html> (дата обращения: 11.03.2025).

195. U.S. Mortgage Delinquencies Reach a Record High / David Streitfeld — Текст: электронный // The New York Times. — 2009. — 19 ноябрь — URL: <https://www.nytimes.com/2009/11/20/business/20mortgage.html>(дата обращения: 07.03.2025)

196. U.S. Prohibits New Investment in Russian Energy Sector by U.S. Persons and Importation into the United States of Certain Russian-Origin Energy Products; EU and UK Issue Supplemental Russia and Belarus Sanctions // Covington URL: <https://www.cov.com/en/news-and-insights/insights/2022/03/us-prohibits-new-investment-in-russian-energy-sector> (дата обращения: 11.03.2025).

197. US Business Cycle Expansions and Contractions // National Bureau of Economic Research — URL: <https://www.nber.org/research/data/us-business-cycle-expansions-and-contractions>(дата обращения: 19.08.2025).

198. US imposes export controls on chips for AI to counter China // Financial Times URL: <https://www.ft.com/content/f83f30be-d673-4f00-b9e5-9e9293512010> (дата обращения: 05.07.2025).

199. Yahoo Finance URL: <https://finance.yahoo.com/quote> (дата обращения: 11.03.2025).

Приложение А. Экономические кризисы США с 1980 по 2020 год

Высшая точка цикла	Низшая точка цикла	Подъём в месяцах	Спад в месяцах
Январь 1980	Июль 1980	58	6
Июль 1981	Ноябрь 1982	12	16
Июль 1990	Март 1991	92	8
Март 2001	Ноябрь 2001	120	8
Декабрь 2007	Июнь 2009	73	18
Февраль 2020	Апрель 2020	128	2

Источник: составлено автором на основе данных комитета по циклам Национального бюро экономических исследований⁴⁵

⁴⁵ US Business Cycle Expansions and Contractions // National Bureau of Economic Research — URL: <https://www.nber.org/research/data/us-business-cycle-expansions-and-contractions>(дата обращения: 19.08.2025).

Приложение Б. Норма прибыли нефинансового сектора США с 1951 по 2024 год

Начало периода	Конец периода	Средняя норма прибыли
1951	1954	6.76
1955	1960	6.58
1961	1965	7.52
1966	1970	7.43
1971	1975	5.95
1976	1980	5.79
1981	1985	5.45
1986	1990	5.68
1991	1995	6.11
1996	2000	6.46
2001	2005	5.71
2006	2010	6.48
2011	2015	7.46
2016	2020	6.38
2021	2024	7.75



Источник: составлено автором на основе расчётных данных Федерального резервного банка Сента-Луиса⁴⁶

⁴⁶ Rate of Profit Stats // FRED — URL: <https://fredaccount.stlouisfed.org/public/dashboard/53250>(дата обращения: 22.04.2025).

Приложение В. Математическое описание релевантных моделей ИИ

Деревья принятия решений

Деревья принятия решения — это непараметрический метод контролируемого обучения, используемый как для задач классификации, так и для задач регрессии. Модель рекурсивно разбивает пространство признаков для минимизации выбранной функции потерь, создавая древовидную структуру, где каждый внутренний узел соответствует правилу решения, основанному на входных признаках.

$$D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$$

где:

- $x_i \in R^d$ - вектор факторов
- y_i - целевая переменная, $y_i \in R$ для регрессии или $y_i \in \{1, \dots, C\}$ для классификации
- n - количество наблюдений.

Цель заключается в построении дерева, которое рекурсивно разбивает пространство D для минимизации одной из функций, например, индекс Джини для классификации или квадратичной ошибки для регрессии.

На каждом шаге алгоритм выбирает наилучший фактор j и порог t для разбиения оставшегося пространства на две части:

Левая ветвь дерева: $\{(x_i, y_i), \text{ если } x_{ij} \leq t\}$,

Правая ветвь дерева: $\{(x_i, y_i), \text{ если } x_{ij} > t\}$

Существует множество функций для минимизации. Для классификации верно следующее. Если обозначить за D пространство наблюдений на шаге, а p_k — это пропорция класса k в D :

$$p_k = \frac{1}{|D|} \sum_{i \in D} 1_{y_i=k}$$

то, Критерием Джини называется:

$$G(D) = 1 - \sum_{k=1}^C p_k^2$$

Энтропией:

$$H(D) = - \sum_{k=1}^C p_k \log_2 p_k$$

Критерием прироста информации:

$$IG(D,t) = H(D) - \left(\frac{|D_L|}{|D|} H(D_L) + \frac{|D_R|}{|D|} H(D_R) \right)$$

Для регрессии наиболее популярной функцией является среднеквадратичная ошибка (MSE):

$$MSE(D) = \frac{1}{|D|} \sum_{i \in D} (y_i - y)^2, y = \frac{1}{|D|} \sum_{i \in D} y_i$$

В качестве функции потерь критерия разбиения можно использовать:

$$Loss(t) = \frac{|D_L|}{|D|} MSE(D_L) + \frac{|D_R|}{|D|} MSE(D_R)$$

Далее, выбрав специфичную функцию разбиения, запускается следующий алгоритм для каждого шага:

1. Алгоритм проходит через все признаки j и значения порога t для нахождения лучшего разбиения (j,t) , минимизирующего ошибку.
2. На каждом шаге разбиение пространства данных на левые и правые ветви повторяется рекурсивно.
3. Процесс останавливается, если выполнено одно из условий:
 - Достигнута максимальная глубина дерева;
 - Размер датасета на шаге содержит меньше необходимого количества наблюдений;
 - Дальнейший прирост качества меньше необходимого.

В целом, процесс обучения дерева решений можно свести к максимизации следующей функции:

$$\sum_{\text{шаг} \ell} \sum_{i \in \ell} L(y_i, y_{\ell})$$

где:

- L — это функция потерь
- y_{ℓ} представляет из себя предсказанное значение на шаге ℓ .

Бустинг

Бустинг — это ансамблевый метод обучения, который объединяет несколько слабых моделей для формирования сильной модели. Основная идея заключается в последовательном обучении слабых моделей таким образом, чтобы каждая новая модель фокусировалась на ошибках, допущенных предыдущими.

В качестве обучающего датасета можно взять:

$$D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n, x_i \in R^d, y_i \in R \text{ or } \{1, \dots, C\}$$

Бустинг строит сильную модель на основе M слабых моделей:

$$F_M(x) = \sum_{m=1}^M \gamma_m h_m(x)$$

где:

- $h_m(x)$ - слабая модель под номером m
- γ_m - коэффициент обучения слабой модели под номером m

Градиентный бустинг строит модель поэтапно, минимизируя риск.

На первом этапе происходит инициализация системы:

$$\sum_{i=1}^n L(y_i, y)$$

Далее запускается итеративный процесс для всех $m = 1$ до M :

1. Вычисляется негативный градиент:

$$r_i^{(m)} = - \left[\frac{\partial L(y_i, F(x_i))}{\partial F(x_i)} \right]_{F=F_{m-1}}$$

1. Проводится обучение слабой модели $h_m(x)$ на остаточном градиенте:

$$h_m(x) \approx r_i^{(m)}$$

2. Вычисляется оптимальный коэффициент γ_m

$$\sum_{i=1}^n L(y_i, F_{m-1}(x_i) + \gamma h_m(x_i))$$

3. Обновляется модель:

$$F_m(x) = F_{m-1}(x) + v \cdot \gamma_m h_m(x)$$

где $0 < v \leq 1$ представляет из себя коэффициент обучения.

В качестве функции потерь наиболее часто используются:

$$L(y, F(x)) = (y - F(x))^2 \text{ для регрессии}$$

$$L(y, F(x)) = \log(1 + \exp(-2yF(x))), y \in \{-1, 1\} \text{ для бинарной классификации}$$

$$L(y, F(x)) = -\log\left(\frac{\exp(F_y(x))}{\sum_{k=1}^C \exp(F_k(x))}\right) \text{ для мультиклассовой классификации}$$

Многоагентные системы

Многоагентная система состоит из множества автономных сущностей — агентов, взаимодействующих в общей среде. Эти агенты действуют на основе внутренних правил или механизмов обучения и влияют друг на друга и на окружающую среду своими действиями.

Многоагентную систему можно определить набором состояний

$$MAS = \langle A, E, I, R, O \rangle$$

где:

- $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ - множество агентов

- E - окружение
- I – множество протоколов взаимодействия между агентами
- R – множество ролей
- O – правила коммуникации между агентами.

Каждый агент a_i описывается:

$$a_i = \langle S_i, A_i, \pi_i, u_i \rangle$$

Где

- S_i - пространство убеждений агента,
- A_i - множество действий агента,
- $\pi_i: S_i \rightarrow A_i$ - стратегия принятия решений
- u_i - функция полезности

Окружение E содержит в себе глобальное состояние $s \in S$ и функция перехода

$$T: S \times A_1 \times \dots \times A_n \rightarrow S$$

Следующее состояние зависит от совместных действий всех агентов.

Каждый агент стремится максимизировать свою функцию полезности

$$u_i(s, a_i, a_{-i})$$

где a_{-i} описывает действие других агентов

Стратегия $(a_1, \dots, a_n)$ находится в состоянии равновесия по Нэшу, если

$$u_i(s, a_i, a_{-i}) \geq u_i(s, a_i, a_{-i}) \forall a_i \in A_i$$

Многоагентные системы с подкреплением описываются следующим набором

$$\langle S, \{A_i\}, P, \{R_i\}, \gamma \rangle$$

Каждый агент выбирает действие $a_t \in A$ в состоянии $s_t \in S$ и при переходе в состояние $s_{t+1} \sim P(s_{t+1} | s_t, a_t)$ получает вознаграждение $r_t = R(s_t, a_t)$.

Цель применения обучения с подкреплением заключается в нахождение такой стратегии π , которая максимизирует ожидаемую награду

$$J(\pi) = E_{\pi} \left[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r_t \right]$$

При этом

$V^{\pi}(s) = E_{\pi} \left[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r_t \mid s_0 = s \right]$ выражает текущее состояние, а

$Q^{\pi}(s, a) = E_{\pi} \left[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r_t \mid s_0 = s, a_0 = a \right]$ Q-функцию, описывающую варианты выбора действий

В основе обучения с подкреплением лежит оптимизация Q-функции, при этом существуют различные типы такой оптимизации.